

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ
БЕЗПРОВОДОВОЇ ОФІСНОЇ МЕРЕЖІ»**

Виконав: студент 6 курсу, групи РТДМ-61
спеціальності

172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Бзенко Б.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Гетьманець О.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____

(прізвище та ініціали)

Київ – 2021

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра	Мобільних та відеоінформаційних систем
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	172 Телекомунікації і радіотехніка
	(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
«Мобільних та відеоінформаційних технологій»
Руденко Н. В.

_____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бзенко Богдану Олександровичу

1. Тема роботи: «Дослідження методів підвищення продуктивності безпроводової офісної мережі», керівник роботи Гетьманець Олексій Володимирович, к.т.н., проф, затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ року №. ____ .
2. Строк подання студентом роботи _____ 2021 р.
3. Вихідні дані до роботи:
 1. Рекомендації Y-1540, Y-1541
 2. Технічна література з питань магістерської роботи.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 1. Системи радіодоступу на основі технології Wi-Fi
 2. Аналіз шляхів підвищення продуктивності mesh-мереж
 3. Проектування мережі на базі 802.11S та 802.11AC
5. Графічна частина роботи представлена на __ слайдах презентації.
6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	10.07. - 19.07.	Викон.
2.	Робота над першим розділом	20.08. - 12.08.	Викон.
3.	Робота над другим розділом	13.09. - 28.09.	Викон.
4.	Робота над третім розділом	01.10. - 31.10.	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	01.11. - 20.11.	Викон.
6.	Розробка презентації	28.11. - 30.11.	Викон.

Студент _____
(підпис)

Бзенко Б.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Гетьманець О.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської роботи: 55 с., 21 рис., 16 табл., 1 додаток, 22 джерел.

Мета роботи полягає в дослідженні методів підвищення продуктивності безпроводової мережі на базі технології Wi-Fi Web-відділу компанії «ВиЯр».

Об'єкт дослідження - процес дослідження безпроводової мережі Web - відділу компанії «ВиЯр».

Предмет дослідження - безпроводова мережа Web-відділу компанії «ВиЯр».

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати магістерської роботи доповідалися на ІЗ Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми інформатизації” 11-12 квітня 2021 року за темою: “Принципи планування безпроводових мереж на базі технологи Wi-Fi”, яка проходила в Державному університеті телекомунікацій.

Дана магістерська кваліфікаційна робота відноситься до галузі дослідження методів підвищення продуктивності безпроводової офісної мережі. Одним з перспективних напрямків цих досліджень сьогодні є проектування мережі на базі 802.11S та 802.11AC. В даній роботі розглянуті загальні характеристики та архітектура стека протоколів сімейства IEEE 802.11. У магістерській роботі проведено аналіз шляхів підвищення продуктивності mesh-мереж.

Також, розроблено проектування мережі на базі 802.11S та 802.11AC.

Поставлено завдання на проектування, та виконано.

Виявлено вимоги до якості передачі даних в мережі, також вивчено особливості приміщення і розташування користувачів. В даній роботі проведено моделювання точок в заданих умовах, аналіз покриття мережі та зроблено розрахунок вартості обладнання наведеної мережі.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 СИСТЕМА РАДІОДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ WI-FI	10
1.1 Загальна характеристика стандартів сімейства IEEE 802.11	10
1.2 Компонент та структура безпроводової локальної мережі.....	14
1.3 Архітектура стека протоколів сімейства IEEE 802.11	19
1.4 Організація мережі на фізичному рівні	20
2 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ MESH-МЕРЕЖ.....	28
2.1 Огляд існуючих і перспективних технологій безпроводового зв'язку	28
2.2 Класифікація архітектур безпроводових мереж	35
2.3 Аналіз способів підвищення продуктивності безпроводових мереж.....	38
2.4 Класифікація та аналіз методів розподілу каналів у багатоканальній mesh- мережі.....	42
3 ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ НА БАЗІ 802.11S ТА 802.11AC	45
3.2 Вивчення вимог до якості передачі даних в мережі.....	46
3.3 Вивчення особливостей приміщення і розташування користувачів	47
3.4 Огляд і вибір устаткування для мережі	48
3.5 Моделювання роботи точок в заданих умовах та аналіз покриття мережі ...	51
3.6 Розрахунок вартості обладнання наведеної мережі	54
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	57
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ	59

ВСТУП

Компанія «ВиЯр» є одним з лідерів на українському ринку меблевої фурнітури і комплектуючих. Компанія надає всі виробничі послуги: порізку, присадку, фрезерування, обробку плитних матеріалів або натурального дерева, підприємство засновано в 2002 році, динамічно розвивається і сьогодні представлено філіями в дев'ятьох містах - Києві, Харкові, Дніпрі, Львові, Рівному, Вінниці, Полтаві, Черкасах та Мінську.

Інтенсивний розвиток технологій безпроводового зв'язку (ТБЗ) багато в чому продиктований їх необхідністю на ринку телекомунікація, особливо в сфері широкої підтримки послуг, пов'язаних з мобільністю абонентів. При цьому технології безпроводового зв'язку, традиційно займаючи важливе місце в системах радіодоступу, все більше закріплюються на ниві технологій транспортних радіомереж. Прикладом цього можуть служити mesh-мережі, які функціонують з використанням стандартів серії IEEE 802.11 [1]. Mesh-мережі є новим перспективним класом широкосмугових безпроводових мереж, який останнім часом знайшов широке застосування. Одним з головних аспектів їх побудови є принцип самоорганізації архітектури, що забезпечує стійкість мережі при відмові або перевантаженні окремих її елементів і підмереж, масштабування і контроль стану мережі, знижене енергоспоживання [2].

Однак важливим стримуючим фактором у розвитку mesh-мереж стандарт IEEE 802.11 є їх невисока (порівняно зі стандартами проводового зв'язку IEEE 802.3) пропускна здатність, що обмежує підтримку сервісів, орієнтованих на передачу мультимедійної інформації. Підвищення продуктивності багатоканальної безпроводової mesh-мережі ґрунтується на зниженні кількості станцій, які одночасно працюють на одному і тому ж каналі. Це здійснюється шляхом розподілу каналів між радіоінтерфейсом (PI) mesh-станцій, безліч яких в мережі розбивається на домени колізій, а зв'язність mesh-мережі в цілому (доменів колізій між собою) досягається за допомогою mesh-станцій, які одночасно працюють на двох або більше каналах. Виходячи з цього, завдання розподілу каналів

багатоканальної mesh-мережі є досить важливим і сприяє підвищенню рівня їх структурної самоорганізації.

На сьогоднішній день відома досить велика кількість методів рішення задачі розподілу каналів у багатоканальних mesh-мережах [6-8], основними з яких є Rate-Adaption Channel Algorithm, C-Hyacinth, D-Hyacinth, CoMTaC. Однак до основних недоліків відомих рішень варто віднести, насамперед, відсутність узгодженості в рішеннях підзадач кластеризації, закріплення радіоінтерфейсів і виділення їм відповідних каналів, а також недостатній облік апаратурних і технологічних особливостей побудови багатоканальних mesh-мереж стандарту 802.11. територіальної віддаленості і активності mesh-станцій.

У зв'язку з ним у роботі сформульована і досліджена актуальна наукова задача, яка направлена на дослідження методів підвищення якості побудови офісних телекомунікаційних мереж за стандартом 802.11.

1 СИСТЕМА РАДІОДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ WI-FI

1.1 Загальна характеристика стандартів сімейства IEEE 802.11

Безпроводові локальні мережі (Wi-Fi) задовольняють вимогам, що ставляться до безпроводових з'єднань для реалізації зв'язку в будівлях і офісах. Маючи характеристики і рівень захисту, еквівалентні з такими в проводових мережах, рішення на основі безпроводових локальних мереж використовуються в домашніх умовах, невеликих офісах, на підприємствах і в громадських місцях. Принципи побудови і функціонування безпроводових локальних мереж були стандартизовані рядом стандартів сімейства IEEE 802.11.

Як видно з таблиці, протоколами передачі даних є 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n. Перший стандарт 802.11 (без буквенного індексу) описує протокол організації безпроводової локальної мережі в діапазоні 2,4 ГГц зі швидкостями I і 2 Мбіт/с. Він передбачає використання технології FHSS або технології розширення спектра за методом прямої послідовності (DSSS). У зв'язку з невисокою пропускною здатністю він не одержав широкої підтримки з боку виробників.

Протокол IEEE 802.11b є розширенням базового протоколу 802.11 і окрім швидкостей I і 2 Мбіт/с передбачає швидкості 5,5 і 11 Мбіт/с. Для роботи на швидкостях 1 і 2 Мбіт/с використовуються технологія розширення спектра з використанням кодів Баркера, а для швидкостей 5,5 і II Мбіт/с — комплементарні коди (ССК): кодування 8 бітів на один інформаційний символ при швидкості 11 Мбіт/с і 4 бітів на символ при швидкості 5,5 Мбіт/с.

Офіційно стандарту 802.11b+ не існує, проте це розширення стандарту підтримується багатьма виробниками безпроводових пристроїв. У цьому стандарті передбачається ще одна швидкість передачі даних — 22 Мбіт/с з використанням технології двійкового пакетного згорткового кодування РВСС (Packet Binary Convolutional Coding).

Стандарт IEEE 802.11a передбачає використання нового, без вимог ліцензування частотного діапазону 5 ГГц і модуляції за методом ортогонального

мультиплексування з розподілом частот OFDM. Застосування цього стандарту дозволяє збільшити швидкість передачі в кожному каналі до 54 Мбіт/с. Стандарт 802.11a в діапазоні 5 ГГц використовує смугу частот шириною 300 МГц, розділяючи її на три ділянки по 100 МГц кожна: 5,15—5,25 ГГц (нижній), 5,25 — 5,35 ГГц (середній) і 5,725—5,825 ГГц (верхній). У кожному з них можуть бути організовані чотири канали, що не перекриваються, тобто у всій смузі — 12 частотних каналів. Сумарна ширина доступного спектра в ньому приблизно в чотири рази вища, ніж у діапазоні 2,400—2,48354 ГГц (83 МГц). У кожній зі смуг спектра допускається своя максимальна потужність випромінювання: 50 мВт (нижня), 250 мВт (середня) і 1000 мВт (верхня) (рис. 1.1) При використанні вищих частот відповідно збільшується загасання сигналу і як наслідок — менший радіус дії пристроїв. В Україні цей стандарт не використовується, оскільки діапазон 5 ГГц поки що не дозволений для даних систем.

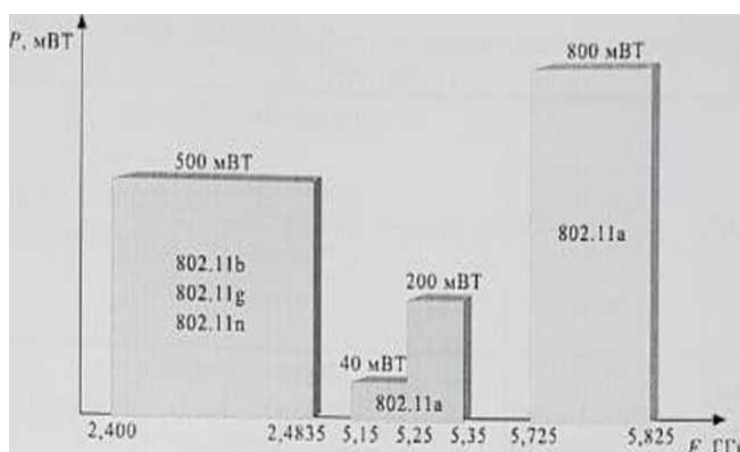


Рис. 1.1. Частотний план і потужність роботи сімейства стандартів IEEE 802.11

Стандарт IEEE 802.11g є розвитком стандарту 802.11b/b+ і припускає передачу даних у тому самому частотному діапазоні, але з вищими швидкостями. Крім того, стандарт 802.11g повністю сумісний з 802.11b. У стандарті передбачено передачу на швидкостях 1, 2, 5,5, 6, 9, 11, 12, 18, 22, 24, 33, 36, 48 і 54 Мбіт/с. Деякі з цих швидкостей є обов'язковими, а деякі — необов'язковими. Крім того, одна й та сама швидкість може реалізовуватися за допомогою різних технологій

кодування.

У смузі частот 2,400—2.48354 ГГц можна організувати до 13 каналів. Як можна бачити з табл. 1.2, для стандартів IEEE 802.11b; 802.11b/g; 802.11n потужність випромінювання передавача не перевищує 500 мВт.

Таблиця 1.2.

Технічні характеристики сімейства стандартів IEEE 802.11

Параметр	Стандарт			
	IEEE 802.11a	1 IEEE	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n
Частота, ГГц	5,15—5,25 5,725—5,825	2,400— 2,483	2,400—2.483	2,400—2,48
Швидкість передачі (шах), Мбіт/с	54	11	54	540
Швидкість, Мбіт/с	25	6,5	25	200
Радіус дії, км	0,1—0,5	0,1—0,5	0,1—0,5	0,1—0,5
Потужність передавача, мВт	40 (2.5 мВт/МГц) (5,15—5,25) 200	30—500	30—500	30—500
Методи модуляції сигналу	FHSS, OFDM, 16QAM, 64QAM. BPSK, QPSK	DSSS, BPSK, QPSK	OFDM, 16QAM. 64QAM	OFDM, 16QAM, 64QAM
Стрибків частоти за секунду	2,5	—	—	
Відношення «сигнал - завада і шум», дБ	11	11	11	1)
Ймовірність помилки	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}
Ширина смуги каналу передачі, МГц	20 5,15—5,25	22	22	22

Стандарт 802.11n забезпечує удвічі більшу швидкість, ніж в «g» і «a». Ця швидкість від 100 Мбіт/с. У стандарті 802.11n пропонується використовувати вже впроваджені технології, а також разом з ними нові розробки, що дозволяють досягти високих швидкостей передачі даних. Пропонується також використати модуляції сигналів OFDM і QAM. Подібний підхід забезпечить зворотну сумісність і знизить вартість розробки, а також використання технології з множинним введенням/виведенням MIMO (multiple input multiple output).

Дальність дії абонентського обладнання стандарту 802.11b і g не перевищує 100 м і залежить від швидкості передачі, рівня й характеру завад, а також від вимог до якості обслуговування. Щоб забезпечити прийнятну якість з'єднання, у специфікаціях передбачено можливість автоматичного зниження швидкості інформаційного обміну.

Енергія сигналів стандарту 802.11a, який використовує діапазон 5 Гц, інтенсивніше поглинається стінами будівель та іншими перешкодами, отже, втрати при поширенні сигналів в цьому діапазоні вищі. З цієї причини радіус дії станцій за інших однакових умов удвічі менший, ніж для діапазону 2,4 Гц. Тому для організації такої самої за покриттям мережі потрібна більша кількість точок доступу, ніж для мережі на базі стандарту 802.11b (рис. 1.2).

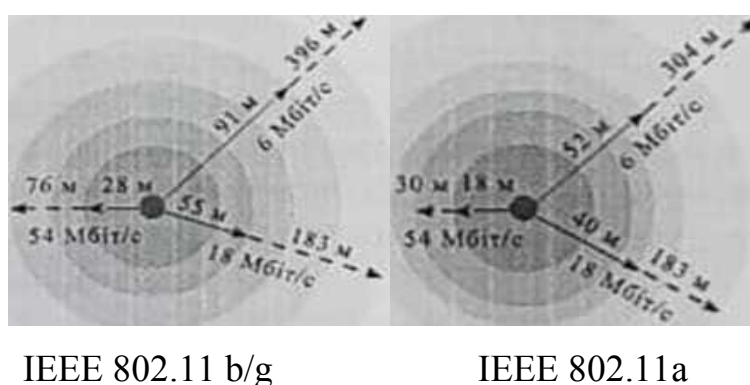


Рис. 1.2. Порівняння радіусів дії стандартів 802.11b і 802.11a

1.2 Компонент та структура безпроводової локальної мережі

Стандарт 802.11 визначає два типи обладнання — клієнт, в якості якого може виступати комп'ютер, укомплектований безпроводовою мережною інтерфейсною картою (Wireless Network Interface Card, WNIC), і точка доступу (Access point, AP), що виконує роль містка між безпроводовою та проводовою мережами. Також використовуються нестандартизовані мережні пристрої, що розширюють стандарт 802.11.

Безпроводовий мережний адаптер (Network Interface Card, NIC) — призначений для пристрою користувача, який являє собою комп'ютерну плату, складається з приймача-передавача та інтерфейсного чипа. Останній може організувати роботу адаптера як по засобах стандартного комп'ютерного інтерфейсу (PCI, USB і т. п.), так і з'єднуючись напряму з чипсетом системи через власний канал або будучи інтегрованим у нього. Адаптер оснащено антеною. Найпоширенішими є адаптери зовнішнього виконання.

Точка доступу (Access Point, AP) - інфраструктури типу пристрій, що забезпечує доступ до локальної мережі за допомогою персонального комп'ютера або безпроводового телефону. AP виконує ролі, містка між безпроводовою і проводовою мережами. Точка доступу складається з приймача-передавача, інтерфейсу проводової мережі (802.3), а також програмного забезпечення. Конструктивно точки доступу можуть бути виконані як для зовнішнього (захищений варіант), так і для внутрішнього офісного використання. У різних AP набір функцій може істотно відрізнятися: засоби діагностики і контролю мережі, віддаленого налаштування й усунення несправностей; а також інтегрувати в собі функції маршрутизатора.

Точка доступу - повторювач ретранслює всі пакети, які були прийняті на безпроводовий інтерфейс. Ця ретрансляція здійснюється через той самий канал, через який пакети було одержано. Точка доступу — повторювач розширює базову зону обслуговування, а також домен колізій. Її застосування може мати небажані наслідки: накладення ширококомовних доменів може призвести до скорочення

пропускної здатності каналу удвічі, оскільки початкова точка доступу також приймає сигнал, що ретранслюється. Ця проблема може мати ще більший вплив при використанні ланцюжка точок доступу — повторювачів. Крім того, точка доступу — повторювач обмежує кількість клієнтів з розширеннями, які дозволяють підтримувати прив'язку до служб і їх використання через точки доступу — повторювані. Не зважаючи на обмеження, безпроводові повторювані широко використовуються в мережах. Їх використання ефективно у випадках, коли з'єднання точки доступу з проводовою інфраструктурою є неефективним, або неможливим через перешкоди. На рис. 1.3 наведено приклад використання безпроводового повторювача. Станція 1 перебуває за межами зони видимості точки доступу 2 (AP2), але видима для точки доступу 3 (AP3), яка для неї виконуватиме роль повторювача.

Універсальний клієнт або міст робочої групи інкапсулює одержані пакети з проводової мережі в пакети безпроводової і таким чином надає для точки доступу інтерфейс стандарту 802.11. Термін «універсальний клієнт» найчастіше використовується, коли йдеться про підключення одного проводового пристрою: термін «міст робочої групи» використовується, якщо підключається невелика мережа, що складається з декількох пристроїв (рис. 1.4).



Рис. 1.3. Застосування точки доступу — повторювача

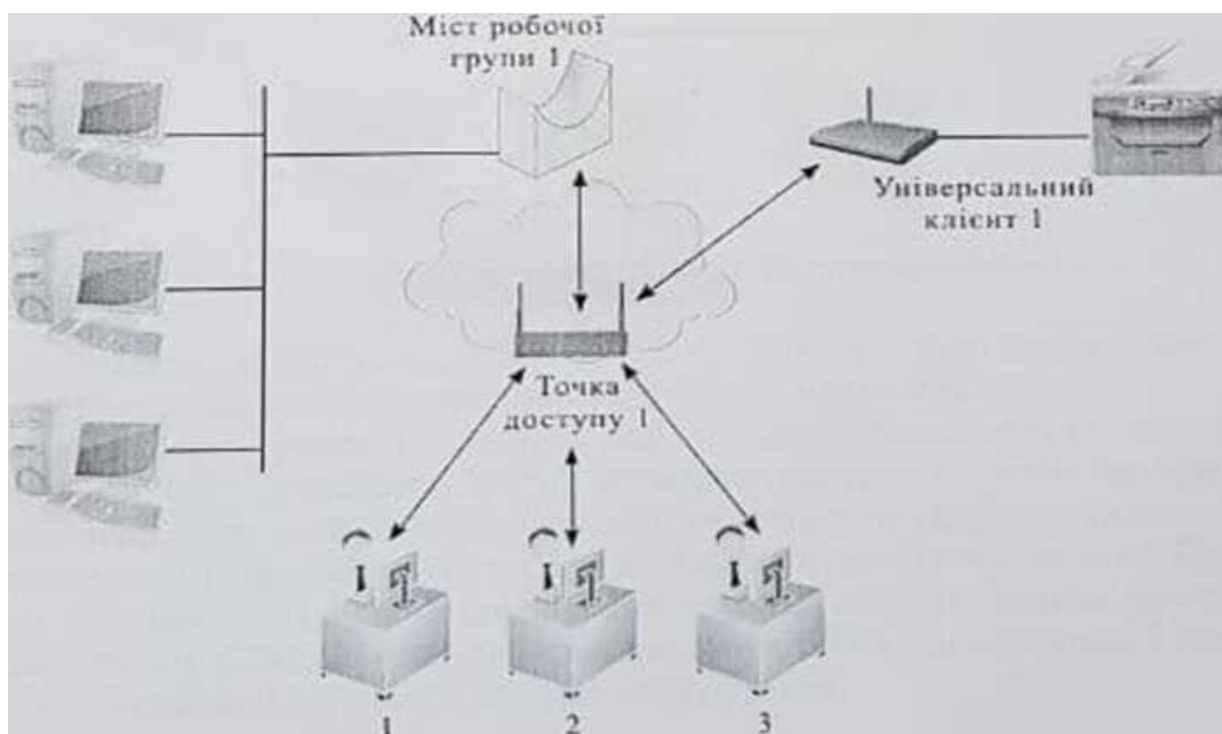


Рис. 1.4. Застосування універсального клієнта і моста робочої групи

Прикладами пристроїв, що належать до цієї категорії, можуть бути касові термінали магазинів, принтери, застарілі ПК, копіювальні пристрої та невеликі мобільні мережі. На сьогодні не існує стандартного підходу до інкапсуляції або пересилання даних, отриманих через проводований інтерфейс, тому при роботі з універсальними клієнтами або мостом робочої групи необхідно упевнитися в сумісності їх з точкою доступу.

Безпроводові мости забезпечують взаємозв'язок проводових і безпроводових мереж, розміщених на одній території або рознесених на відстані. Основна відмінність між мостами і мостами робочої групи полягає в тому, що останні забезпечують безпроводовий доступ тільки до невеликої робочої Групи проводових пристроїв, тоді як перші здатні сполучати великі мережі, рознесені на відстані, набагато більші, ніж характерні для безпроводових локальних мереж. На рис. 1.5 наведено приклад використання безпроводових мостів.

У стандарті 802.11 визначено два способи організації мережі: інфраструктури (Infrastructure) і незалежний (Independent), що інколи згадується як одноранговий (Ad-Hoc).

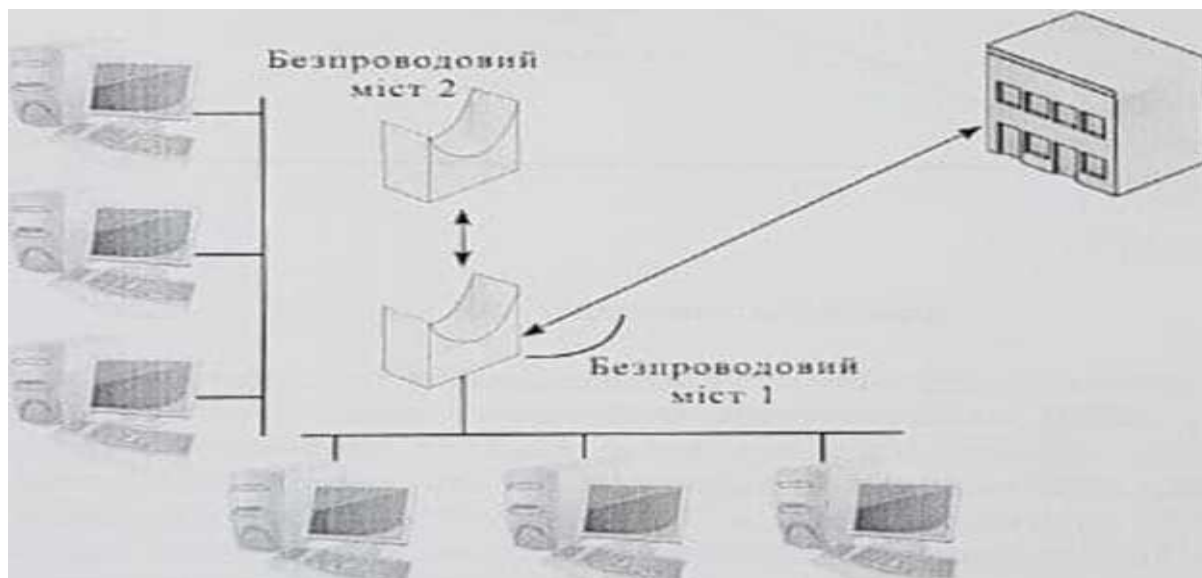


Рис. 1.5. Приклад використання безпроводових мостів

Сукупність станцій, що взаємодіють одна з одною в межах дії однієї точки доступу або однорангової мережі, називається базовим набором обслуговування (Basic Service Set, BSS) або незалежним базовим набором послуг (Independent Basic Service Set, IBSS). IBSS також називають неплановою (Ad-Hoc) мережею, тому що вона по суті є простою одноранговою WLAN. В одноранговій мережі центральний вузол відсутній, усі станції є рівноправними членами системи (рис. 1.6).

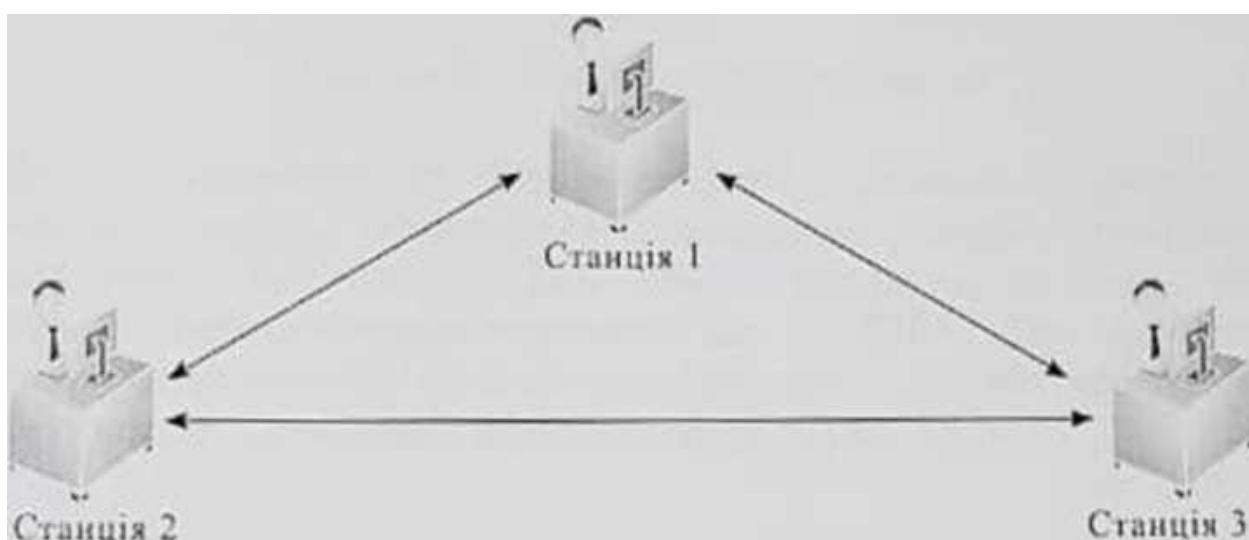


Рис. 1.6. Одноранговий режим

Клієнти безпосередньо встановлюють з'єднання один з одним, внаслідок чого створюється тільки одна базова зона обслуговування (BSS), що не має інтерфейсу для підключення до провідної локальної мережі (тобто відсутня будь-яка розподільна система, яка необхідна для об'єднання BSS). Обмежень на кількість пристроїв, які можуть входити в одну незалежну базову зону обслуговування, в стандартах не визначено. Але, оскільки кожний пристрій є клієнтом, часто певна кількість членів BSS не може встановити зв'язок внаслідок проблеми прихованого вузла (hidden node issue).

В інфраструктурному режимі функції координації передачі даних виконує спеціальний виділений вузол, точка доступу. Безпроводові станції користувачів через неї взаємодіють один з одним і пристроями в провідній мережі. Точка доступу може мати порт висхідного каналу (uplink port), через який BSS підключається до провідної мережі (зокрема, висхідний канал Ethernet). Схему такої мережі наведено на рис. 1.7.

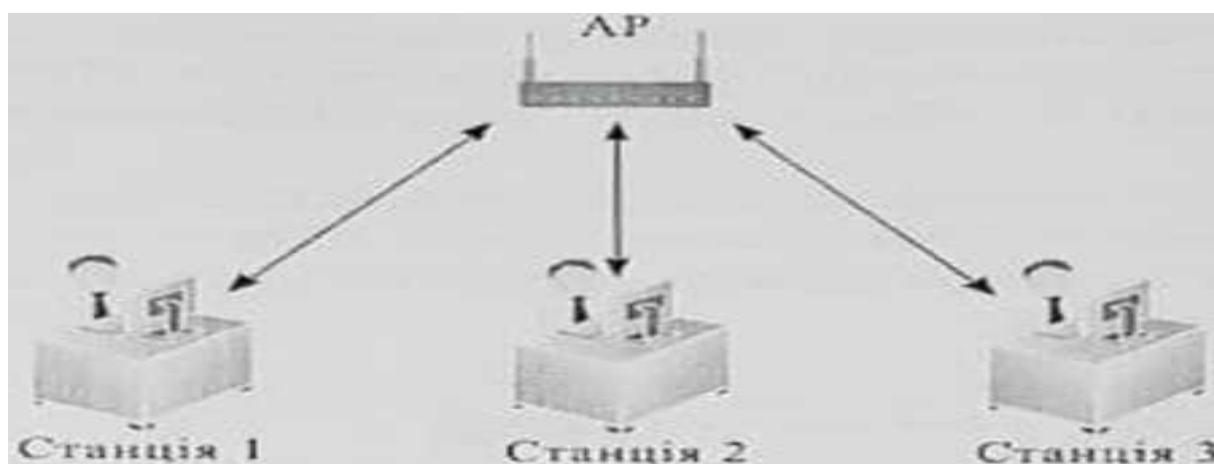


Рис. 1.7. Інфраструктурний режим

Декілька інфраструктур BSS, об'єднаних за допомогою провідної або безпроводової мережі, називаються розширеним набором обслуговування (Extended Service Set, ESS). У ESS можуть об'єднуватися тільки BSS, які працюють в інфраструктурному режимі, але не IBSS. Для такої взаємодії використовуються пристрої канального (мережний міст) або мережного рівня (маршрутизатори). Схему такої мережі наведено на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Розширений набір обслуговування

1.3 Архітектура стека протоколів сімейства IEEE 802.11

Сімейство стандартів IEEE 802.11 є частиною сімейства стандартів для локальних і міських мереж і функціонує на фізичному і каналному рівнях моделі OSI. Архітектуру протоколу 802.11 подано на рис. 1.9.

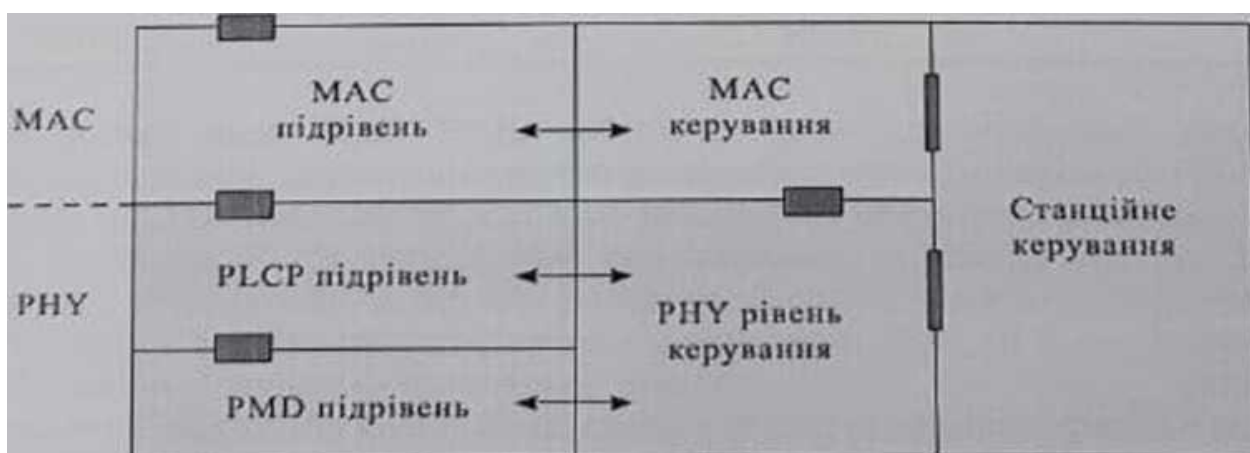


Рис. 1.9. Архітектура протоколу 802.11

Протокол визначає функціонування на двох нижніх рівнях — фізичному та каналному, в яких виділено підрівні. MAC-рівень — рівень доступу до

середовища (взаємодіє з фізичним рівнем), і LLC-рівень — рівень управління логічним каналом. Підрівень MAC виконує функції, необхідні для забезпечення пакетної передачі даних між станціями, визначає базові механізми доступу до середовища, фрагментацію/дефрагментацію, кодування/декодування кадрів. Система управління MAC-підрівнем визначає процеси синхронізації, управління живленням, роумінг, підтримує інформаційну базу MAC-підрівня.

Фізичний рівень забезпечує передачу бітів між двома фізичними пристроями, підтримує обмін даними між двома MAC-рівнями, забезпечує передачу й прийом модульованих сигналів на певному частотному каналі або у всій доступній смузі частот, виконує функцію адаптації до характеристик радіоканалу параметрів фізичного рівня. У стандарті 802.11 на фізичному рівні виділено три підрівні:

- протокол конвергенції фізичного рівня (Physical Layer Convergence Protocol, PLCP): PHY-специфіка фізичного рівня, підтримка PHY SAP, забезпечення зайнятості каналу (виявлення носійпої);
- підрівень, що визначається фізичним середовищем (Physical Medium Depend SubLayer, PMD): модуляція/демодуляція, кодування/декодування;
- система управління фізичним рівнем: перебудова каналів, інформаційна база фізичного рівня.

У окремий підрівень віднесена система управління станцією, яка визначає взаємодію з системами управління фізичним і MAC підрівнем. Взаємодія між рівнями відбувається через точки доступу сервісів (Service Access Points).

1.4 Організація мережі на фізичному рівні

Принципи формування сигналів, основні параметри обладнання визначаються на фізичному рівні. Для кожного стандарту сімейства IEEE 802.11 цей рівень підтримує специфічні технології розширення спектра, кодування.

Безпроводові локальні мережі стандарту 802.11b. Цей стандарт регламентував правила використання високошвидкісної технології DSSS (HR-DSSS), що забезпечує швидкість передачі в локальних безпроводових мережах

ISM-діапазону 2,4 ГГц аж до 5,5 і II Мбіт/с. При цьому використовується кодування з використанням комплементарних кодів (complementary code keying, CCK) або технологія двійкового пакетного згорткового кодування (packet binary-convolutional coding, PBCC). У технології HR-DSSS використовується схема організації каналів, подібній, що використовується в технології DSSS, — смуга частоти шириною 22 МГц, 11 каналів. З них не перекриваються, ISM-діапазон 2,4 ГГц.

Підрівень PLCP технології HR-DSSS використовує кадри PPDU двох типів: довгий і короткий. Преамбула і заголовок довгого кадру підрівня PLCP технології HR-DSSS завжди передаються зі швидкістю 1 Мбіт/с — в забезпечення зворотної сумісності з технологією DSSS. І дійсно, довгий кадр підрівня PLCP технології HR-DSSS майже такий само, як кадр підрівня PLCP в технології DSSS, але з невеликими розширеннями, покликаними забезпечити підвищені швидкості передачі даних. Ці розширення такі:

- у підполі «Сигнал» можуть бути зазначені додаткові швидкості передачі даних (табл. 1.3);
- підполе «Послуги» визначає попередньо зарезервовані біти;
- підполе «Довжина», як і раніше, показує кількість мікросекунд, необхідних для передачі PSDU.

Таблиця 1.3.

Значення допоміжною підполя «Сигнал»

Сигнал	Швидкість передачі даних
0x37	5,5 Мбіт/с
0x6E	<u>11 Мбіт/с</u>

Короткий кадр PLCP PPDU забезпечує засіб для мінімізації кількості службових сигналів. Короткий кадр, що використовується в технології HR-DSSS стандарту 802.1 Іь, наведено на рис. 1.10. Він містить преамбулу, заголовок і дані PSDU, заголовок PLCP передається на швидкості 2 Мбіт/с, тоді як PLCP передається зі швидкістю 2, 5,5 або 11 Мбіт/с. Довжина поля Sync скорочена до 56

бітів; воно є рядком, що складається з одних нулів. Поле SFD має ширину 16 бітів і виконує функцію покажчика початку кадру, але також указує на використання довгих або коротких заголовків. У разі коротких заголовків 16 бітів передається в порядку, зворотному щодо довгих заголовків.

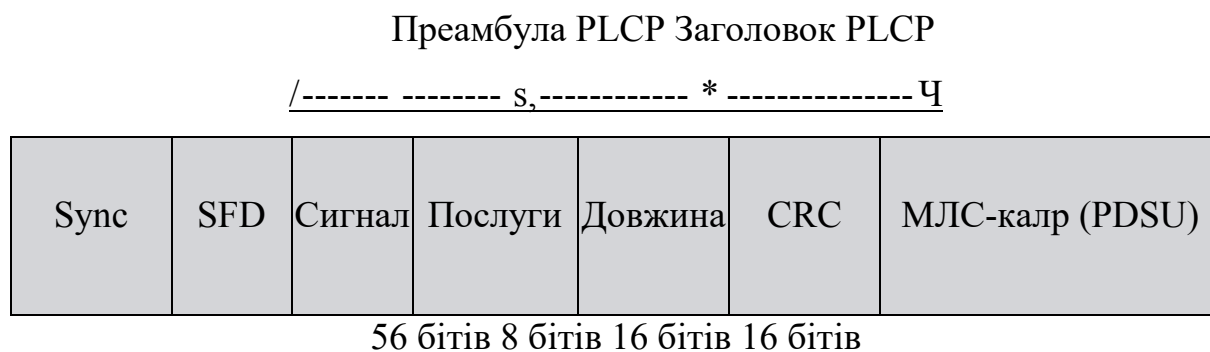


Рис. 1.10. Короткий PPDU технології I IR-DSS.S

На підрівні PMD різні підполя передаються з відповідною швидкістю і з використанням відповідного методу модуляції: ССК або PBSS.

Хоча механізм розширення спектра, що використовується для отримання швидкостей 5,5 і 11 Мбіт/с із застосуванням ССК, належить до методів, які застосовуються для швидкостей 1 і 2 Мбіт/с, він по-своєму унікальний. В обох випадках застосовується метод розширення, але при використуванні модуляції ССК код розширення є кодом з 8 комплексних чинів (complex chip), тоді як при роботі зі швидкостями 1 і 2 Мбіт/с застосовується І-розрядний код. 8-чиповий код визначається або 4-ма, або 8-ма бітами, залежно від швидкості передачі даних. Швидкість передачі чинів — 11 Мбіт/с, тобто при 8 комплексних чипах на символ і 1 або 8 бітах на символ можна досягти швидкості передачі даних 5,5 і 11 Мбіт/с.

Для того щоб передавати дані зі швидкістю 5,5 Мбіт/с, потрібно згрупувати скрембльований потік бітів у символи по 4 біти. Останні два біти використовуються для визначення 8 послідовностей комплексних чинів, як показано в таил. 1.4, де {с₁, с₂, с₃, с₄, с₅, с₆, с₇, с₈) є чипами послідовності, / — уявним числом, корінь квадратний з -1, і відкладається по уявній, або осі квадратури комплексної площини.

Послідовність чипів ССК 8

(Б2, Б3)	<	С2	С3	С4	< -	С6	С7	С8
00	\cdot/\blacksquare	-1	j	-1	j	1	-i	<u>11</u>
01	-y	1	- J	1	J	1		1
П»	- J	1	- J	-1	- J	1	J	¹ 1
11		-1	J	1	- j	1		1

Тепер, маючи послідовність чинів, визначену другим і третім бітами, можна використовувати перші 2 біти (b_0 , b_1) для визначення повороту фази, здійснюваного при модуляції за методом DQPSK, який застосовуватиметься до послідовності (табл. 1.5). Слід пам'ятати, то йдеться про використання DQPSK, а не QPSK, і тому представлені в таблиці зміни фази відлічуються щодо попереднього символу або, у разі першого символу PSDU, відносно останнього символу попереднього DQPSK символу, передаваного зі швидкістю 2 Мбіт/с.

Таблиця 1.5.

Поворот фази при модуляції ССК

(Б2, Б3)	Зміна фази парних символів	Зміна фази непарних символів
00	0 (0 градусів)	π (180°)
01	$\pi/2$ (90 градусів)	$-\pi/2$ (-90°)
10	π (180 градусів)	0 (0°)
11	$\pi/2$ (-90 градусів)	<u>$\pi/2$ (90°)</u>

Це обертання фази застосовується щодо K комплексних чипів символу, потім здійснюється модуляція на відповідній постійній частоті.

Щоб передавати дані зі швидкістю 11 Мбіт/с, скрембльована послідовність бітів PSDU розбивається на групи по 8 символів. Останні 6 бітів обирають одну послідовність, що складається з 8-ми комплексних чинів, з числа M можливих послідовностей, майже так само, як використовувалися біти (Б2, Б3) для вибору

однієї з чотирьох можливих послідовностей. Біти (ЬО, ЪІ) використовуються таким само чином, як при модуляції ССК на швидкості 5,5 Мбіт/с для обертання фази послідовності і подальшої модуляції на відповідній постійній частоті.

Безпроводові локальні мережі стандарту 802.11a. У проекті стандарту 802.11b у 1999 р. було описано фізичний канал з технологією HR-DSSS, у проекції стандарту 802.11a було запропоновано використовувати фізичний канал технологією мультиплексування з розподілом за ортогональними частотами (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) у діапазоні 5 ГГц. Він узаконював швидкості передачі до 24 Мбіт/с і додатково — до 54 Мбіт/с у неліцензованих діапазонах 5,15—5,25 ГГц, 5,25—5,35 ГГц і 5,725—5,825 ГГц. Стандарт 802.11 а регламентує використання каналів шириною 20 МГц і визначає по 4 канали для кожної з трьох діапазонів.

На підрівні PLCP фізичного рівня стандарту 802.11 а застосовується власний унікальний формат кадру PPDU.

Кадр PPDU складається з 3-х основних частин: преамбули **OFDM**, поліна «Сигнал» і «Дані». Преамбула OFDM складається з короткої синхронізуючої послідовності (Training Sequence), Short Sync, і довгої синхронізуючої послідовності символів, Long Sync. Перша використовується приймачем для автоматичного регулювання посилення (APU), таймінгу (timing) і грубої оцінки частоти, друга — для оцінки параметрів каналу, гаймінгу і точної оцінки частоти. Механізм, за допомогою якого це виконується, розглядається нижче.

Поле «Сигнал» складається з 5-ти підполів:

Чотирирозрядне підполе «Швидкість», то показує швидкість передачі поля даних кадру. У табл. 1.6 подано співвідношення між значеннями цих бітів (R1 R4) і швидкістю передачі поля даних кадру:

- біт R зарезервовано для майбутніх застосувань;
- підполе «Довжина» містить беззнакове 12-розрядне ціле число, то показує кількість октетів в PSDU;
- біт P' с бітом перевірки на парність для 17 бітів підполів «Швидкість», R і «Довжина»;

- підполе Tail містить 6 нескрембльованих бітів зі значенням 0.

Таблиця 1.6.

Біти підполя «Швидкість» і відповідні швидкості передачі

RI—R4	Швидкість передачі даних (Мбіт/с)
1101	6
1111	9
0101	12
0111	18
1001	24
1011	36
0001	48
0011	54

Поле даних складається з таких підполів:

- «Послуги», сім бітів якого мають значення, що дорівнює 0, за ними йдуть 7 зарезервованих бітів, значення яких поки що також дорівнюють 0. Це підполе дозволяє приймачу синхронізувати свій дескремблер (дешифратор псевдовипадкових послідовностей);
- PSDU, що містить корисні дані, які підлягають передачі;
- fail, що замінює 6 завершальних скрембльованих нулів нескрембльованими нулями для реініціалізації (повторної установки в початковий стан) згорткового кодера з кінцевою пам'яттю;
- Pad дозволяє додати біти для отримання необхідного числа кодуєчих бітів на символ OFDM.

На рис. 1.12 подано узагальнену схему передавача OFDM, що використовується на підрівні PMD технології OFDM стандарту 802.11a. Як і на інших фізичних каналах, біти даних пропускаються через скремблер, а після нього через згортковий кодер, внаслідок чого формуються каналні біти. Швидкість їх передачі визначається швидкістю передачі даних, що застосовується. Далі каналні біти розбиваються на групи, що за розмірами дорівнюють числу каналних бітів,

які використовуються для одного символу.

Розподілені на групи каналні біти перетворюються на 48 символів з кількістю бітів на символ, що залежить, від швидкості передачі даних. Символи розташовуються на 48 підносійних OFDM-символу, а па 4 підносійних переляються пілот-сигнали.

Виконується зворотне швидке перетворення Фурьє, після чого формується циклічний префікс. Результуюча послідовність модулює відповідну носійку.

Згортковий кодер → Усунення чергування → Перетворення Символів → IFFT → Циклічний префікс → Модуляція →

Рис. 1.12. Узагальнена схема передавача OFDM стандарту 802.11a

У табл. 1.7 показано швидкість передачі даних, що відповідно до параметрів вузлів передавача OFDM буде закодовано в символ.

Поле «Сигнал» передається в одному OFDM-символі на швидкості 6 Мбіт/с, що дозволяє передана і 24 біти даних. Це пояснює, чому існує 6 бітів підполя Tail у кінці даного поля. Поле даних передається як ряд послідовних OFDM-символів зі швидкістю передачі даних, зазначеною в підполі швидкості.

Таблиця 1.7.

Параметри передавача стандарту 802.11a

Швидкість передачі даних (Мбіт/с)	Сигнальне сузір'я	Показник кодування	Кількість каналних бітів на ПІДНОСІ НІІV	Кількість каналних бітів на СИМВОЛ	Кількість бітів даних на символ OFDM
6	BPSK	1/2	1	1/2	24
9	BPSK	3/4	1	3/4	36
12	QPSK	1/2	2	1/2	48
18	QPSK	3/4	2	3/4	72
24	16-QAM	1/2	4	1/2	96
36	16-QAM	3/4	4	3/4	144
48	64-QAM	2/3	6	2/3	¹⁹² 1
54	64-QAM	3/4	<u>1</u> ⁶	3/4	216 <i>r</i> 1

Пристрій передавача стандарту 802.11n містить скремблер, то використовує поліноміальний генератор, як і у всіх інших схемах модуляції стандарту 802.11. Згортковий кодер використовує дещо відмінний ступінь кодування. Ефективні ступені кодування 2/3 і 3/4 досягаються за рахунок

«проколювання» (puncturing) або пропускання деяких її закодованих бітів в передавачі і заміни їх нульовими бітами в приймачі. Така заміна приводить до підвищення ефективності кодування.

Таблиця 1.8.

Преамбули

Тип преамбули	Швидкість передачі даних підтримують/взаємодіють
Довга	1,2, 5,5 та 11 Мбіт/с DSSS — OFDM на всіх швидкостях OFDM ERP — PBCC па всіх швидкостях ERP — PBCC
Коротка	2, 5,5 і 11 Мбіт/с DSSS — OFDM на всіх швидкостях OFDM ERP — PBCC на всіх швидкостях ERP — PBCC
ERP —OFDM	ERP — OFDM на всіх швидкостях
Довга DSSS — OFDM	DSSS — OFDM на всіх швидкостях
Коротка DSSS — OFDM	DSSS — OFDM на всіх швидкостях

2 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ MESH-МЕРЕЖ

2.1 Огляд існуючих і перспективних технологій безпроводового зв'язку

Технології безпроводового зв'язку все глибше проникають практично в усі сфери життя сучасного суспільств, насамперед, завдяки розширенню переліку послуг, що надаються за допомогою подібного роду технологій. Спільні зусилля розробників мережевого обладнання та організацій по стандартизації в галузі телекомунікацій також спрямовані на активне просування на ринку зв'язку саме безпроводових технологій, зважаючи на цінову доступність та зручність їх використання, особливо за відсутності провідної інфраструктури.

Найбільшою популярністю серед користувачів в даний час користуються ТЕЗ стандарту IEEE 802.11 a/b/g/n [1], що обумовлено широкою підтримкою цього стандарту в різноманітних мережевих і термінальних пристроях - настільних і портативних комп'ютерах, комутаторах і маршрутизаторах, точках доступу і т.д. При цьому, залежно від призначення і місця в сучасній телекомунікаційній інфраструктурі, що розвивається в напрямку створення мереж наступного покоління (Next Generation Network, NGN) [2], безпроводові технології можуть виступати як у ролі протокольної бази мереж доступу (Access network) (рис. 2.1), так і в якості системоутворюючої основи для так званих Ad- Нос і mesh-мереж, станції яких здатні одночасно виконувати функції терміналів, маршрутизаторів і серверів послуг.

Якщо порівнювати провідні та безпроводові мережі, то зважаючи на можливість швидкого розгортання, гнучкої конфігурації мережі, мобільності і т.д. безпроводові мережі мають безперечну перевагу, безпроводова технологія володіє великим ступенем оперативності і для установки безпроводового з'єднання не потрібні трудомістки і тривалі часові витрати, які пов'язані з прокладанням кабелю і налаштуванням мережі. Зона покриття безпроводової точки доступу коливається від сотні метрів до 30 км при використанні спеціального обладнання [3-5]. Крім

того, безпроводову мереж}легко розширити, підключивши до неї додаткові безпроводові пристрої.

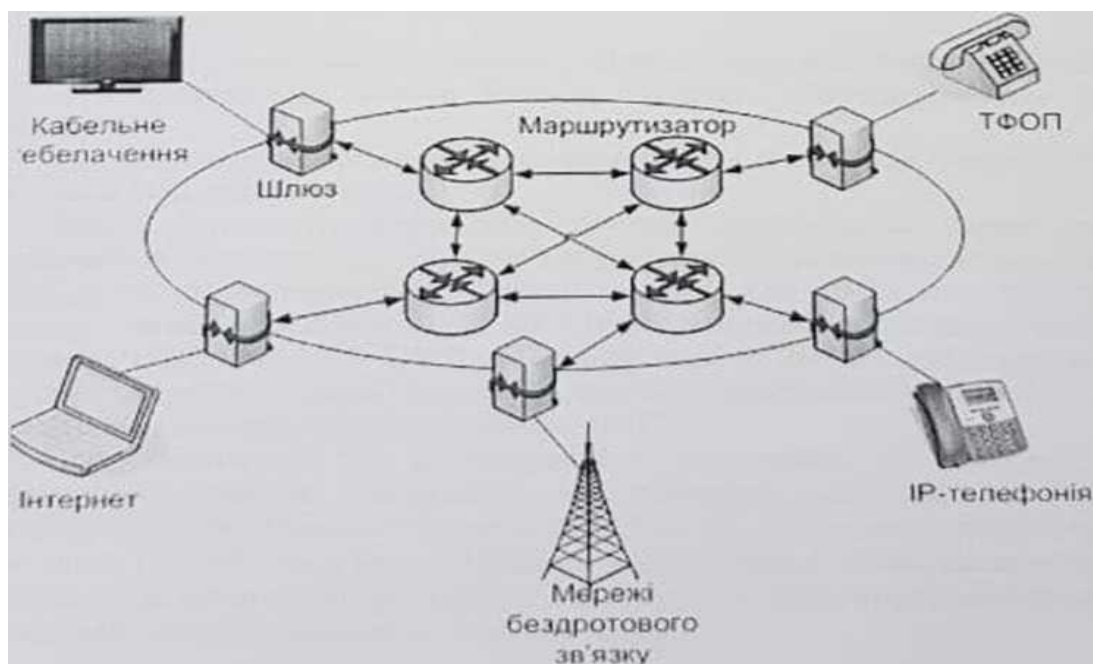


Рис. 2.1. Варіант архітектури мережі зв'язку наступного покоління NGN

Гнучкість конфігурації безпроводових мереж досягається завдяки підтримці таких режимів підключення, як інфраструктура (підключення через точку доступу) і режим незалежної конфігурації «peer-to-peer» (Ad Hoc мережі), що дозволяє підключати нових користувачів і встановлювати нові станції (вузли) мережі в будь-якому місці [6, 7]. Безпроводові мережі можуть бути встановлені для тимчасового використання в приміщеннях, де немає інсталюваної дротяної мережі або якщо прокладка мережевих кабелів ускладнена. Дані фактори викликають зростаючий інтерес до безпроводових технологій, стимулюючи їх розвиток і зниження вартості.

Виходячи з того, що сфера використання безпроводових технологій постійно розширюється, на сьогоднішній день в залежності від області застосування безпроводових мереж і розмірів фізичної зони, зв'язок в якій вони здатні забезпечити, безпроводові мережі поділяються на кілька категорій [7, 8] (табл. 2.1):

- безпроводова персональна мережа (Wireless Personal-Area Network, WPAN);

- безпроводова локальна мережа (Wireless Local-Area Network, WLAN):
- безпроводова міська мережа (Wireless Metropolitan-Area Network, WMAN);
- безпроводова територіально -розподілена мережа (Wireless Wide-Area Network, WWAN).

Якщо розглядати детальніше сучасні безпроводові мережі за своїм призначенням і по радіусу дії, то до персональних мереж відносять системи з радіусом дії від сантиметрів до кількох метрів (до 10-15 м) і з потужністю випромінювання передавачів 1-Ю мВт. Найбільш перспективними технологіями стандарту IEEE 802.15 є UWB (Ultrawideband) і ZigBee, які призначені для передачі даних на короткі відстані з високою пропускнуою здатністю (до 480 Мбіт/с) і низькою споживаною потужністю [7, 8].

При порівнянні з персональними мережами, в основу міських безпроводових мереж, заснованих на стандарті IEEE 802.16 (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX) [9], покладена телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального безпроводового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів).

Таблиця 2.1.

Основні характеристики безпроводових мереж за моделями застосування

Характеристики	Модель застосування	Технології
WPAN	Заміна проводів периферійних пристроїв	Стандарт IEEE 802.15 Bluetooth. UWB. ZigBee
WLAN	Мобільні розширення проводових мереж	Стандарт IEEE 802.11 WI-FI
WMAN	Широкосмуговий безпроводовий доступ	Стандарти IEEE 802.16, 802.20 WiMAX
WWAN	Мобільний доступ в Інтерне і поза приміщеннями	GPRS, WCDMA, EDGE

Взаємно віддалені пристрої на відстань до сотень метрів і потужності передавачів порядку 100 мВт [9], як правило, утворюють локальні мережі, які базуються на сімействі стандартів 802.11 (табл. 2.2), причому залежно від конкретного стандарту мережі WLAN працюють в діапазоні частот 2, 4 або 5 ГГц, забезпечують швидкість передачі даних в десятки-сотні Мбіт/с і охоплення в радіусі до 200 метрів. Так, при докладному аналізі WLAN, на сьогоднішній день найбільш часто використовуваними є такі стандарти серії 802.11:

Таблиця 2.2.

Сімейство стандартів 802.11x

Стандарт	Опис
IEEE 802.11	Стандарт, що описує передачу даних в частотному діапазоні 2,4 ГГц, на швидкостях до 2 Мбіт/с. Ратифікований в 1999 р.
IEEE 802.11a	Стандарт, що описує передачу даних в частотному діапазоні 5 ГГц, на швидкостях до 54 Мбіт/с. Ратифікований у 2001 р.
IEEE 802.11b	Стандарт, що описує передачу даних в частотному діапазоні 2.4 ГГц, на швидкостях 5,5 і 11 Мбіт/с. Ратифікований в 1999 р.
IEEE 802.11e	Стандарт, що описує роботу мережевих мостів, включений в IEEE 802.11d ратифікований у 2001 р.
IEEE 802.11d	Стандарт, що описує розширення роумінгу. Ратифікований у 2001 р.
IEEE 802.11e	Стандарт, то описує, функції забезпечення якості обслуговування (QoS). Ратифікований в 2005р.
IEEE 802.11f	Стандарт, що описує протокол взаємодії між точками доступу Inter-Access Point Protocol, опублікований в 2003 р., відкликаний в 2006 р.

Сімейство стандартів 802.11x

IEEE 802.11b	Стандарт, що описує зміну використовуваного діапазону частот 5 ГГц стандарту 802.11a для сумісності з європейськими вимогами. Ратифікований у 2004 р.
IEEE 802.11i	Стандарт, що описує функції безпеки. Ратифікований у 2004
IEEE 802.11j/x/o/q	Стандарти зарезервовані
IEEE 802.11n	Стандарт, що описує високошвидкісні безпроводові мережі. Підтримувана швидкість до 300 Мбіт/сек. Ратифікований в 2008 р. ' _____
IEEE 802.11p	Стандарт, що описує мобільний доступ пересувних пристроїв (Wireless Access for the Vehicular Environment, WAVE)
IEEE 802.11r	Стандарт, що описує швидкий роумінг, тобто перехід клієнта від однієї зони прийому до іншої.
IEEE 802.11s	Стандарт, що описує mesh-мережі (ESS Mesh)
IEEE 802.11t	Стандарт, що описує управління пропускнуою спроможністю безпроводової мережі (Wireless Performance Prediction, WPP).
IEEE 802.11u	Стандарт, що описує взаємодію з мережами інших стандартів (наприклад, стільникові мережі)
IEEE 802.11v	Стандарт, що описує управління в безпроводовій мережі
IEEE 802.11w	Стандарт, що описує захист керуючих фреймів в безпроводовій мережі.

- Стандарт IEEE 802.11a, який орієнтований на роботу в діапазоні 5 ГГц з використанням в радіоканалі ортогонального частотного мультиплексування (OFDM) з різними видами модуляції в підканалах OFDM і з пропускною здатністю до 54 Мбіт/с;
- Стандарт IEEE 802.11b, який па підміну від 802.11a, орієнтований на роботу в діапазоні 2,4 ГГц (2402...2483 МГц) з використанням кодування за допомогою комплементарних кодів (ССК), з використанням двійкової фазової (BPSK) або квадратурної фазової (QPSK) модуляції, залежно від виду якої пропускна здатність може досягати 11 Мбіт/с;
- Стандарт 802.11g, який є розвитком стандарту IEEE 802.11b і також орієнтований на роботу' в діапазоні 2,4 ГГц (2402...2483 МГц). У радіоканалі 802.11g використовується ортогональное частотне мультиплексування с різними видами модуляції [7] в підканалах, і пропускна здатність може досягати 54 Мбіт/с.
- Стандарт IEEE 802.11n, який був прийнятий для збільшення пропускної здатності пості безпроводової мережі, і з появою якого теоретично пропускна здатність WLAN може досягати 300 Мбіт/с [8], але, як показує практика, варіюється від 150-200 Мбіт/с [10]. Основні характеристики стандартів представлені в табл. 2.3.

Крім класифікації безпроводових мереж по області застосування і розмірів зони покриття існує також класифікація за використання архітектур безпроводових мереж, яка визначає такі показники, як кількість користувачів, завадостійкість, дальність зв'язку, принципи управління в безпроводової мережі і т.д.

Основні характеристики стандартів серії 802.11

Параметр	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n
Діапазон частот, ГГц	5.15-5,25 5.725-5.825	2.400 - 2.483	2,400-2.483	2,400 - 2.483
Швидкість передачі ;максим.). Мбіт/с	54	11	54	300
Швидкість (практ.), Мбіт/с	25	6.5	25	200
Радіус дії, км	0,1-0,5	0.1-0,5	0,1 0,5	0,1-0.5
Потужність передавач, мВт	40(2,5 мВт/МГц) (5.15-5,25) 200 (12,5м ВТ/М Гц) (5,725-5.825) 800 (50 мВт/МГц) (5725- 5.825)	30 -500	30 -500	30 -500
Методи модуляції (сигнал)	FI-ISS, OFDM, 16QAM, 64QAM. BPSK, QPSK	DSSS, BPSK. QPSK	OFDM. 16QAM, 64QAM	OFDM. 16QAM. 64QAM
Відношення сигнал/ шум. дБ	11	11	11	11
Ймовірність помилки	10*	10 ⁶	10 ⁶	10 ^{ft}
Ширина каналу, МГц	20 (5,15-5,25)	22	22	20,40

2.2 Класифікація архітектур безпроводових мереж

При аналізі безпроводових мереж з точки зору їх архітектури залежно від поставленого завдання (області застосування і ситуації) використовується два варіацій: незалежна конфігурація (Ad-Hoc) і інфраструктурна конфігурація [11, 12]. Відмінності між ними координально впливають на такі показники, як кількість підключаються користувачів, дальність зв'язку, завадостійкість і т. д. (створення мережі в режимі інфраструктури підходить в ситуації, коли до мережі необхідно підключити досить велику кількість користувачів. Крім того, саме цей режим застосовують для з'єднання двох мереж в одну або підключення точки доступу до маршрутизатора. А основною перевагою створення мереж Ad Hoc є можливість встановлення з'єднання між терміналами звідусіль і в будь-який момент часу.

Крім того, одним з класів безпроводових мереж з використанням незалежної конфігурації є мобільні мережі Ad Hoc MANET (Mobile Ad Hoc NETWORKS), відомі як спеціальні мережі, в яких вузли знаходяться в межах досяжності один одного, і динамічно довільним чином зв'язуються між собою [13,14]. Як правило, в таких мережах відсутнє будь яке централізоване управління, всі вузли є рівноправними і кожен мобільний вузол діє і як хост і як маршрутизатор, беручи участь у відкритті та обслуговуванні маршрутів до інших вузлів. Сформована таким чином мережа, є динамічною мережею, що має непередбачувану топологію, залежну від швидкості пересування мобільних вузлів, що є однією з проблем маршрутизації потоків даних в мережі з урахуванням необхідної якості обслуговування. У результаті аналізу безпроводових мереж з використанням незалежної конфігурації, варто відзначити, що найбільш перспективним класом безпроводових мереж з самоорганізованою архітектурою, є безпроводові mesh-мережі (Wireless Mesh Networks, WMN) [15-18], які завдяки своїй комірчастій структурі дозволяють маршрутувати дані, голос і команди між вузлами, враховуючи безперервні підключення та зміни конфігурації мережі при виникненні проблем (несправний вузол або заблокований шлях). Mesh-мережі описує стандарт IEEE 802.11s. WMN характеризують як динамічно самоорганізовані і самостійно настроювані мережі з надлишковими

mesh -з'єднаннями і самостійним вибором оптимальних каналів.

Проаналізувавши WMN, варто відзначити такі їх переваги:

1. Велика площа і рівномірність радіочастотного покриття, тобто створення зон суцільного інформаційного покриття великої площі.
2. Стійкість мережі до втрати окремих mesh-станцій, тобто здатність мережі швидко самовідновлюватися при втраті окремих mesh -з'єднань.
3. Дешеві і доступні абонентські пристрої. Практично будь-який власник Wi-Fi-адаптера (ноутбука, КПК, смартфона) є потенційним абонентом mesh-мережі.
4. Використання безпроводових транспортних каналів (backhaul) для зв'язку точок доступу в режимі «реєг-іо-реєг».
5. Сумісність і взаємодія з WiMax, Zig-Bee, мережами стільникового зв'язку та ін.

Крім перерахованих переваг, використання mesh-мереж дозволяє mesh-станціям мережі, рівним за статусом, забезпечувати двосторонній зв'язок з іншими станціями в цій мережі й автоматично вибирати оптимальний шлях для проходження пакетів [16, 17]. Гака можливість дозволяє ефективно розширювати існуючу інфраструктуру безпроводової мережі, використовувану для спільного доступу, з одночасним збільшенням її можливостей і значно знизити обмеження по пропускній здатності, пов'язані із збільшенням числа підключених mesh - станцій, які притаманні звичайним безпроводовим мережам.

Слід врахувати, що просторове розділення - ще одна перевага мереж комірчастої топології в порівнянні з безпроводовими мережами, в яких всі пристрої спільно використовують одну точку доступу і в яких можуть виникати черги для виходу в радіоефір, що уповільнюють роботу мережі в цілому. На відміну від цього, в мережах комірчастої топології безліч mesh-станцій можуть підключатися одночасно через різні станції. Більш короткі відстані передачі даних в мережах комірчастої топології дозволяють зменшити вплив перешкод і здійснити одночасну передачу просторово розділених потоків інформації. Крім того, mesh-станції залишаються цілком автономними пристроями, здатними самостійно керувати

своїм функціонуванням, і в той же час є компонентом загальної мережі, що допускає управління з центральної точки.

Топологія mesh заснована на децентралізованій схемі організації мережі, на відміну від мереж IEEE 802.11a/b/g, які створюються централізованим принципом [19]. Точки доступу, що працюють в mesh-мережах, не тільки надають послуги абонентського доступу, а й виконують функції маршрутизатора/ретрансляторів для інших точок доступу тієї ж мережі. Завдяки цьому з'являється можливість створення самовстановлюючого і самовідновлюючого сегмента широкопasmової мережі.

У зв'язку з перерахованими перевагами і широкою сферою застосування використання mesh - мереж є найбільш перспективним напрямком розвитку на ринку безпроводового зв'язку.

Залежно від варіант)- архітектури WMN можна класифікувати на три великі групи (рис. 2.2, рис. 2.3):

- Інфраструктурна архітектура WMN [20], в якій здійснюється передача даних на швидкостях в сотні і тисячі Мбіт/с, обслуговуючи інші, менш продуктивні, канали зв'язку (рис. 2.2, а);
- Клієнтська архітектура WMN, яка має на увазі з'єднання mesh-станцій між собою за принципом «peer-to-peer» і є найбільш часто застосованою, з огляду на те, що в цьому типі архітектури mesh-вузли виконують функції і маршрутизатора, і клієнтської mesh-станції (рис. 2.2, б), тобто всі mesh-станції стають вузлами мережі і можуть брати участь в передачі даних, що, природно, робить всю структуру більш гнучкою і продуктивною за рахунок появи додаткових шляхів проходження інформації [21];
- Гібридна архітектура WMN передбачає використання як клієнтського устаткування, так і mesh-маршрутизаторів (рис. 2.2, в) [22]. Mesh-клієнти, в такій архітектурі можуть отримати доступ до мережі через маршрутизатора а також безпосередньо через інших mesh -клієнтів.

На сьогоднішній день зважаючи на низку переваг, область застосування mesh-мереж досить широка [3]. Mesh-мережі можуть бути розгорнуті як в рамках

офісу, корпорації, медичних установах, так і в рамках кампусів і селищ.

2.3 Аналіз способів підвищення продуктивності безпроводових мереж

Як показав аналіз [22], існує ряд способів підвищення продуктивності безпроводових мереж на різних рівнях ЕМВОС (табл. 2.4).

Використання стандарту 802.11n, в основу якого покладена технологія Multiple-Input Multiple-Output (MIMO), дозволяє збільшити пропускну здатність теоретично до 300 Мбіт/с. Проте використання даної технології тягне за собою ускладнення антенних систем, що, в свою чергу, призводить до збільшення габаритів пристроїв, збільшення числа передавачів, яке призведе до зменшення часу роботи від батарей портативних пристроїв. Крім того, істотне збільшення продуктивності безпроводових мереж доступно тільки в діапазоні 5 ГГц зважаючи на кількість використовуваних каналів. В цілому, MIMO дає збільшення продуктивності в середньому в 1,5-1,8 разів [6, 7].

Таблиця 2.4.

Способи підвищення продуктивності безпроводової мережі

Рівні моделі OSI	Способи підвищення продуктивності Маршрутизація	Підвищення продуктивності до 1.5-2 рази
Мережевий рівень	Використання багатоканальних mesh-мереж	до 2-3 рази
Канальний рівень	Використання технології MIMO Об'єднання каналів	до 1,5 -1,8 рази
Фізичний рівень	Використання технологій інтелектуальних антенних решіток Зміна територіального місцезнаходження станцій	до 1,3-1,7 рази

Розширення спектру сигналу шляхом об'єднання двох 20 МГц каналів в один 40 МГц, робить спектр сигналу більш широкосмуговим, при цьому зберігаючи обмеження на випромінену потужність і дозволяючи збільшити продуктивність безпроводової мережі, так само як і технологія МІМО, в 1,5-1, 8 рази [16, 17]. Відповідно до формули Шеннон, мається на увазі, що теоретична межа пропускної здатності каналу зростає прямо пропорційно використовуваній смузі частот (рис. 2.5).

Використання технології інтелектуальних або фазованих антенних решіток [17, 18] завдяки вузькій діаграмі спрямованості дозволяє сфокусувати енергію сигналу в певному напрямку, що збільшує відношення «сигнал/шум» і дозволяє підвищити продуктивність безпроводової мережі в 0,5-0,8 рази.

Крім того, при використанні вузького антенного променя зменшуються перешкоди і підвищується ефективність використання спектра. Також, продуктивність мережі можна підвищити, використовуючи секторні антени. Даний підхід сприяє збільшенню ємності безпроводової мережі в силу того, що, працюючи в стандарті 802.11b і використовуючи три секторні антени на каналах 1,6, II і відповідно три точки доступу, потенційна кількість абонентів в одній і тій же місцевості фактично потроюється [8]. Крім того, секторні антени мають більше посилення, ніж антени з круговою спрямованістю, можуть бути спрямовані в бік обслуговуваних клієнтських станцій і нахилені відносно землі, тим самим, регулюючи зону покриття безпроводової мережі.

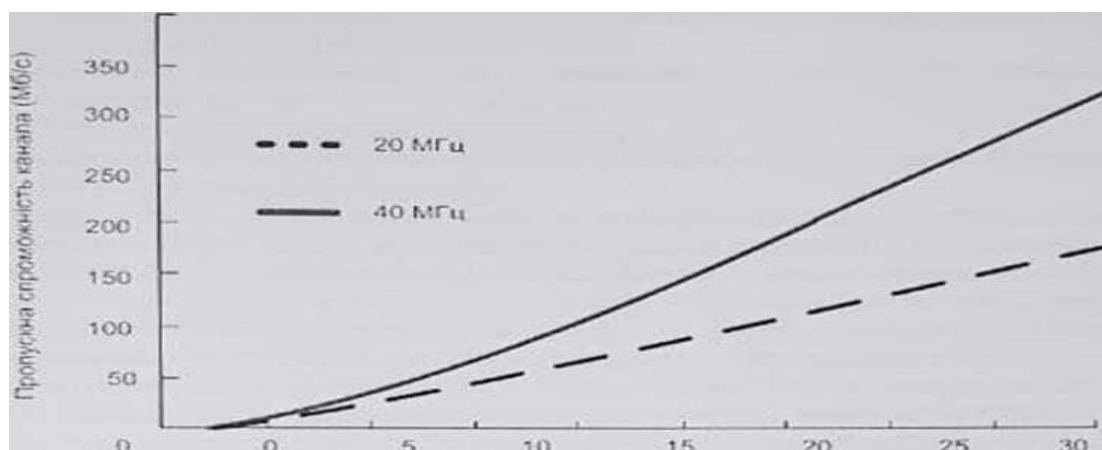


Рис. 2.5. Залежність пропускної здатності каналу від смуги частот

Зміна територіального розташування станцій дозволяє домогтися поліпшення видимості станцій, що в свою чергу, забезпечує високий рівень сигналу. тому що при організації безпроводової локальної мережі необхідно враховувати такі особливості навколишнього середовища як рельєф, місцевість і т.д. На якість і дальність зв'язку також впливає безліч фізичних факторів: число стін, перекриттів та інших об'єктів, через які повинен пройти сигнал [17]. У підсумку, при поліпшенні видимості станціями одна одної продуктивність підвищується в 0.5 рази.

Удосконалення методів модуляції і кодування сигналів дозволяє збільшити швидкість передачі [9], а в результаті, і продуктивність мережі в 0,6-0,8 рази. Це пов'язано з тим, що при використанні технології OFDM використовується згортальне кодування з різними пунктурними кодерами, що призводить до різної швидкості згортального кодування. Так, при використанні BPSK-модуляції зі швидкістю згортального кодування 1/2 інформаційна швидкість становитиме 6 Мбіт/с, а при використанні згортального кодування зі швидкістю 3/4-9 Мбіт/с.

Рознесення сигналу по поляризації для зниження впливу багатопроменевих віддзеркалень і перешкод [19, 20] дозволяє зменшити вплив від сусідніх безпроводових мереж завдяки використанню різної поляризації антен (вертикальну, горизонтальну, кругову, корисну для безпроводових мереж усередині офісів і т.д.) і за рахунок цього, підвищити продуктивність безпроводової мережі в 0,7 рази.

Найбільш високою результату при підвищенні продуктивності безпроводової мережі (2-3 рази) можна досягти при використанні багатоканальних mesh-мереж [11, 12], що припускають використання як одного, так і декількох радіоінтерфейсів на кожній mesh-станції, кожен з яких налаштований на окремий канал. Наявність декількох радіоінтерфейсів і розподіл між ними каналів відповідним чином дозволяє:

- Зменшити інтерференцію, яка призводить до серйозного уповільнення роботи з'єднання або навіть до його відмови;
- Збільшити пропускну здатність мережі;

- Знижує затримки при передачі пакетів і ймовірність їх втрати, що особливо важливо для мультимедійного трафіку.

Таким чином, при аналізі існуючих способів підвищення продуктивності безпроводових мереж слід зазначити, що найбільш перспективним напрямком є використання багатоканальних mesh-мереж. Однак їх використання не виключає спільного застосування з іншими способами зважаючи на їх приналежності різним рівням ЕМВОС. У зв'язку з цим, в роботі вибрано напрямок підвищення продуктивності на основі використання багатоканальних mesh-мереж.

Для підвищення продуктивності безпроводової мережі специфікація IEEE 802.11s. визначальна mesh-технологію, рекомендує використовувати кілька каналів і застосовувати пристрої з двома або більше радіоінтерфейсом (рис. 2.6), вирішуючи при цьому завдання оптимальної розподілу каналів між радіоінтерфейсом mesh-станцій у мережі. Класифікація mesh-мереж [2] в залежності від кількості використовуваних радіоінтерфесов і каналів mesh-мережі на рис. 2.6. Mesh-мережі, що використовують один радіоінтерфейс і один канал (SingleRadio Single-Channel Wireless Mesh Networks, SR SC WMN) (рис. 2.7) [20-22] для організації абонентського доступу і транспортного каналу між точками. Mesh-мережі даного типу функціонують аналогічно з існуючими безпроводовими мережами стандарту 802.11, тобто всі mesh-станції працюють між собою по одному каналі.

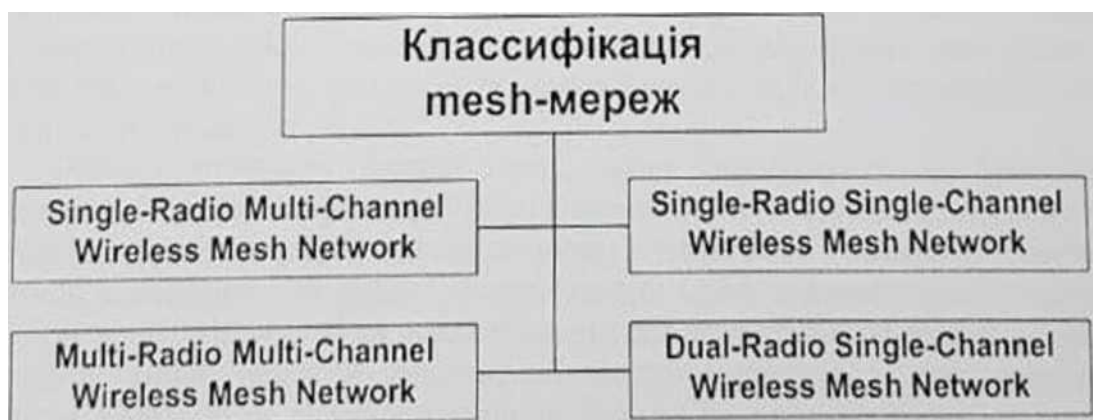


Рис. 2.6. Класифікація mesh-мереж по кількості використовуваних каналів і радіоінтерфейсів

2.4 Класифікація та аналіз методів розподілу каналів у багатоканальній mesh-мережі

Залежно від поставленого завдання з розподілу каналів у багатоканальній mesh-мережі існує обширна класифікація методів розподілу каналів (рис. 2.8). За способом управління виділяють методи з централізованим управлінням, при якому весь контроль за призначенням каналів здійснюється єдиною станцією (наприклад, шлюзом), з децентралізованим управлінням, коли кожна зі станцій приймає рішення про призначення каналів на свої радіоінтерфейси самостійно, а також гібридний метод, при якому за розподіл каналів відповідають всього кілька станцій у mesh-мережі [13, 14].

Методи розподілу каналів можна також класифікувати по тривалості прив'язки до радіоінтерфейсу [14]. І при використанні статичного методу розподіл каналів відбувається рідко, при динамічному - часто, і при гібридному - частина каналів розподіляються рідко і частина часто. Одна з переваг даних методів полягає у швидкій реакції на перевантаження або завантаженість mesh-станцій. У випадках зміни топології mesh-мережі використовуються методи розподілу каналів, засновані на швидкості адаптації каналів до зміни мережевої структури і ефективної розсіпки при зміні топології. Одними з основних недоліків даних методів є висока тимчасова затримка при повторному розподілі каналів між радіоінтерфейсом mesh-станцій у мережі і збільшення в мережі службової інформації.

Крім того, більшість методів можна розділити на два класи по виду розглянутої топології [5]. У методах з першого класу пропонується будувати деревоподібну топологію мережі, коли кожна станція пов'язана тільки зі своїми нащадками і своїм батьком. У методах з другого класу все більше станцій розбивається на кластери, усередині яких виділяється станція-лідер. Таким чином, усередині кластера всі станції за винятком лідера рівноправні.

Як приклад більш досконалих підходів розглянемо три методи (С- Nyacinth, D-Nyacinth і CoMTaC) [6, 7]. Один з них (С-Nyacinth) є однією з перших спроб

використати потенціал багатоінтерфейсного багатоканального підходу, в той час як два інших з'явилися дещо пізніше, з урахуванням вже накопиченого досвіду. Тому вибір цих методів дозволяє простежити напрямок розвитку в даній області. Крім цього, кожен з даних методів вкладається в одну або більше з описаних вище класифікацій, що дозволяє те більш чітко усвідомити відмінності механізмів, що відповідають різним категоріям.

Аналіз централізованого методу розподілу каналів (C-Huacinth).

Одним з найбільш відомих методів розподілу каналів в мережах IEEE 802.11s є C-Huacinth, що визначає схему розподілу каналів, незалежну від використовуюваного алгоритму маршрутизації. Як показали дослідження [15. 16], навіть при використанні всього двох радіоінтерфейсів на кожній з mesh-станцій вдасться домогтися збільшення пропускної здатності мережі в 4-6 разів [15] у порівнянні з мережею, в якій всі станції працюють тільки на одному каналі. Даний метод був створений для мереж з переважаючим вертикальним трафіком і описує як централізований, так і розподілений механізми. При механізмі з централізованим управлінням розглядається типова mesh-мережа, в якій кожна зі станцій може одночасно працювати як точка доступу для мобільних пристроїв (ноут буків. PDA), так і в якості mesh-станції. Кожне з mesh-пристроїв містить в собі кілька радіоінтерфейсів, кожен з яких налаштований на певний канал на відносно довгий час (хвилини, години, дні).

Слід зазначити, що при використанні методу C-Huacinth задача розподілу каналів розбивається на дві підзадачі:

1. Розподіл радіоінтерфейсів між mesh-станціями.
2. Закріплення каналу за кожним з інтерфейсів mesh-станціями.

Крім того, спосіб розподілу каналів [16] з урахуванням навантаження на з'єднання припускає, що кожен вузол має з'єднання з усіма станціями, які перебувають в його області стійкого прийому. Варго зауважити, що алгоритм маршрутизації залежить від пропускної здатності кожного з'єднання, які, в свою чергу, залежать від способу розподілу каналів, а спосіб розподілу каналів залежить від очікуваного навантаження на з'єднання, яка залежить від маршрутизації. Для

дозволу даної залежності спочатку оцінюється очікуване навантаження без врахування пропускної здатності, а потім ітеративно повторюється процес розподілу каналів і маршрутизації до моменту, коли пропускні спроможності кожного із з'єднань будуть максимально близькі до передбачуваного навантаження.

Іншими словами, спочатку при розподілі каналів за допомогою даного методу надходить оцінка навантаження на з'єднання, а виходом є пропускна здатність з'єднань. Алгоритм маршрутизації використовує їх для обчислення шляхів, які використовуються для обчислення очікуваного навантаження. Якщо наприкінці ітерації виявилось, що очікуване навантаження більше пропускної здатності, то процес повторюється і закінчується, якщо подальшого покращення не відбувається.

Аналіз децентралізованого методу розподілу каналів (D- Hyacinth).

При аналізі децентралізованого методу розподілу каналів необхідно відзначити, що даний метод має деревоподібну топологію [18, 19], причому корінь кожного з дерев знаходиться в шлюзі, провідному в провідову мережу. Основна проблема даного методу полягає в тому, що якщо прийнято рішення про перерозподіл каналу на одному із з'єднань, то не перерозподіл може торкнутися і сусідні з'єднання (в силу обмеженого числа радіоінтерфейсів).

3 ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ НА БАЗІ 802.11S ТА 802.11AC

3.1 Постановка завдання на проектування

В цій роботі завданням є спроектувати безпроводну мережу Web-відділу компанії «ВиЯр» з використанням технології 802.11s та 802.11ac (стандарт передачі даних до 1 Гбіт/с), в цілях забезпечення надійної і безперебійної роботи, забезпечення користувачів можливістю спільного використання ресурсів усіх комп'ютерів і периферійних пристроїв, можливість доступу до корпоративної інформації з будь-якого робочого місця (локального, видаленого або мобільного), необхідно спроектувати і побудувати безпроводну мережу Wi - Fi Mesh, передбачаючи можливість масштабування, що забезпечує високу надійність.

Була обрана типова задача конструювання безпроводної мережі, для забезпечення безперебійної роботи Web-відділу компанії «ВиЯр», який займає один з поверхів бізнес-центру.

Загальні вимоги до мережі:

- Розширюваність: можливість простої інтеграції окремих компонентів мережі (користувачів, комп'ютерів, застосунків, служб).
- Масштабованість: можливість збільшення кількості вузлів і протяжність зв'язків, а також продуктивності мережевого устаткування і вузлів.
- Продуктивність: забезпечення необхідних значень параметрів продуктивності (час реакції, швидкість передачі даних, затримка передачі і варіація затримки передачі) мережевих вузлів і каналів зв'язку.
- Керуваність: забезпечення можливостей централізованого управління, моніторингу стану мережі і планування розвитку мережі.
- Надійність: забезпечення безвідмовної роботи вузлів мережі і каналів зв'язку, збереження, узгодженості і доставки даних без спотворень вузлу призначення.
- Безпека: забезпечення захисту даних від несанкціонованого доступу.

Вимоги до устаткування:

- Підтримка стандарту 802.11 n та ac, підтримка 802.11 s mesh;
- Підтримка MIMO;
- Максимальні швидкість безпроводного з'єднання до 300 Мбіт/с;
- Керована архітектура;
- Невисока ціна.

Планована користь від впровадження безпроводної мережі - підвищення мобільності і збільшення продуктивності співробітників, за рахунок ефективного використання робочої сили, а так само офісного простору, стане ефективнішим оперативне управління інформацією.

Етапи проектування :

- вивчення потоків даних і застосувань, для яких застосовуватиметься мережа;
- вивчення особливостей приміщення і розташування користувачів;
- вибір устаткування;
- планування мережі і моделювання покриття.

3.2 Вивчення вимог до якості передачі даних в мережі

Інформаційні потоки - сукупність передаваної інформації між двома і більше об'єктами.

Інформаційні ресурси - окремі документи і окремі масиви документів в інформаційних системах.

Інформаційна система - організаційно впорядкована сукупність документів і інформаційних технологій, у цьому числі з використанням обчислювальної техніки і зв'язку.

При розгляді інформаційних потоків в організації - усі потоки даних передаю і ься між серверами, комп'ютерами та смартфонами, вказані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Потоки в проектованій мережі

	Зовнішній трафік	Внутрішній трафік
Керівництво	20 МБ/с	200 МБ/с
Конференц-зал	30 МБ/с	150 МБ/с
Web-відділ	100 МБ/с	500 /с

3.3 Вивчення особливостей приміщення і розташування користувачів

На даному поверсі перегородки між аудиторіями зроблені з плексигласу, несучі знаходяться по центру поверху, де покриття забезпечувати не потрібно. Користувачі розміщені по кабінетах рівномірно. Схема поверху, де знаходиться учбовий центр показана на рис. 3.1.

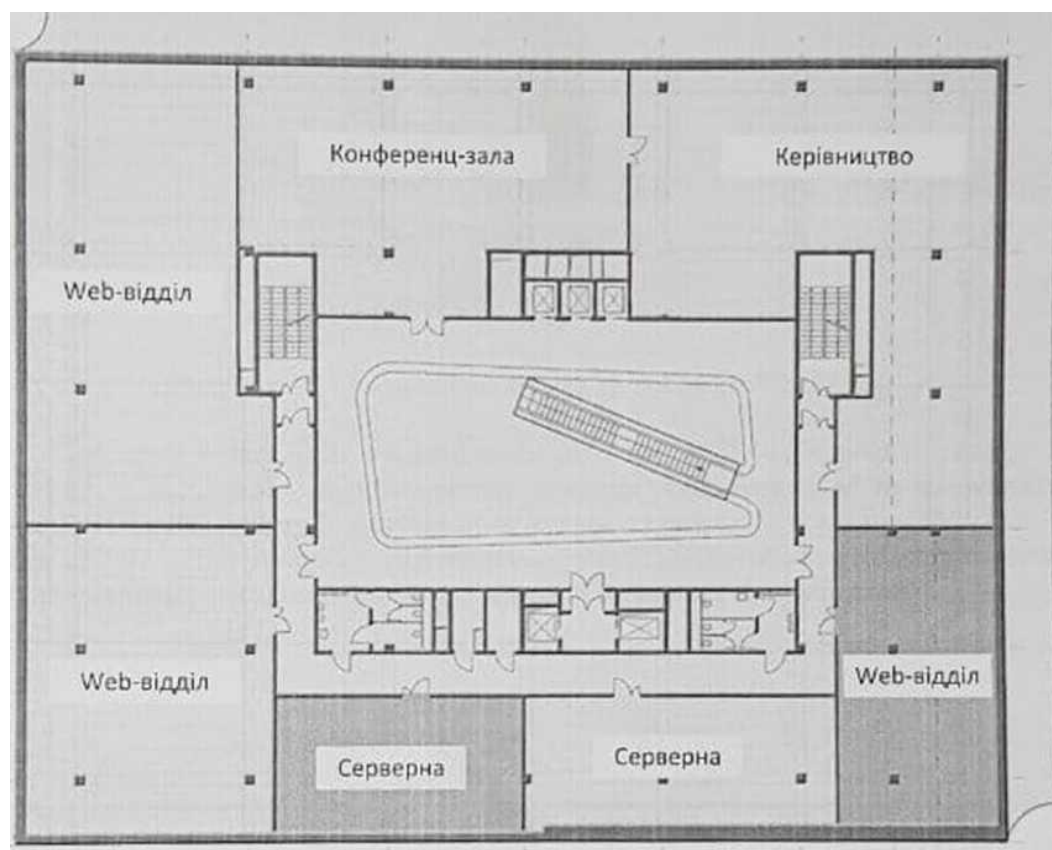


Рис. 3.1. Схема поверху, для кімнат якого проектується мережа

3.4 Огляд і вибір устаткування для мережі

Для задоволення потреб по пропускній спроможності, достатнього покриття, використання Wi-Fi mesh, роботи на двох каналах одночасно за достатньо невисоку ціну було проаналізовано ринок безпроводних точок доступу з вмонтованим контроллером, та обрано недорогу модель з простою настройкою від компанії MikroTik - MikroTik WAP ac.

MikroTik WAP ac (модель RBwAPG - 5HacT2HnD) - це всенаправлена дводіапазонна Wi-Fi точка, призначена для роздачі інтернету по Wi, - Fi усередині приміщення або на вулиці (рис. 3.2).

Пристрій підтримує одночасну роботу на частотах 2,4 і 5ГГц. а також швидкісний стандарт 802.11 ac. Цей стандарт дозволяє отримати швидкість по Wi-Fi до 867 Мбіт/с.

Mikrotik WAP AC (White) потужний безпроводний пристрій зовнішнього виконання в пластмасовому корпусі з інтегрованими антенами діапазону 21 І п. 5ГГц працює в режимі 2.4GHz 802.11b/g/n 5 GHz 802.11ac MIMO 2x2, має 1 мережевий порт Ethernet 10/100/1000 Passive POE і 802.3at (рис.3.3).

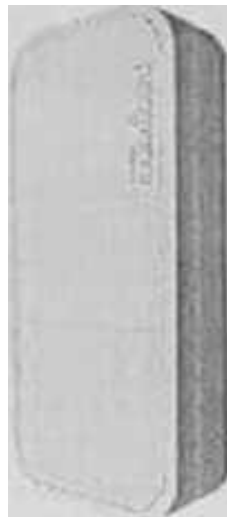


Рис. 3.2. Зовнішній вигляд точки MikroTik WAPac

Пристрій може бути змонтований на стіні, щоб забезпечити доступ в Інтернет у будь-якому місці. Пристрій виглядає непомітно щоб не привертати увагу оточення, пристрій випускається в двох кольорах - чорному (RBwAPG -

5НасТ2НnD - be) і білому (RBwAPG - 5НасТ2НnD). Має водонепроникний корпус і може бути змонтований на будь-якій зовнішній стіні або стовпі.



Рис. 3.3. Інтерфейси та індикатори точки Mikrolik WAP AC

Основне застосування - створення безпроводних мереж в офісах або готелях, котеджах і приватних будинках, учбових закладах, на виробництві і будь-яких інших місцях, де потрібно покриття великої території для доступу в інтернет.

Вуличне виконання дозволяє розширити зону дії мережі поза приміщенням і використовується спільно з точками внутрішньокімнатного виконання.

Основні призначення маршрутизатора :

- Заміна точок доступу і роутерів різних бюджетних виробників.
- Створення точки доступу.
- Доступ в інтернет для домашньої мережі.
- Доступ в інтернет для мереж малого розміру.
- Об'єднання віддалених офісів в єдину мережу.
- Пріоритезація і фільтрація трафіку.
- Створення хотепота.

Має ліцензію Router OS Level 4, що дозволяє одночасно працювати до 200 користувачів хотспота і користувачів, підключених по тунельних протоколах. Основні характеристики наведені в таблиці 3.2.

Основні характеристики точки доступу Mikrotik WAP AC

Артикул	RBwAPG - 5ПacT2ПnD
Виробник	Mikrolik
Режим	Access Point. Access Point WDS
Діапазон частот	2.40 - 2.4835 ГГц 5.18-5.24(ГГц)
Ширина каналу	20/40/60 МГц
Процесор	QCA9531 -AL3
Ядер процесора	1
Пам'ять	64 МБ
Операційна система	RouterOS
RouterOS License	4
Архітектура	MIPS - BE
Завантажувач	RouterBOOT
Мережеві порти	1x 10/100/1000 Ethernet ports
1 Модуляція	OFDM: BPSK. QPSK, 16 QAM. 64QAM DSSS: DBPSK, DQPSK. CCK
Безпроводний контроллер	QCA9531 -AL3A
Стандарти переламі	2.4GI Iz 802.11 b/g/n 5 GI Iz 802.11 ac
Дальність роботи	до 200 м.
Швидкості передачі даних	До 1 Гбіт/с
Безпроводних клієнтів	до 200
Шифрування даних	WPA, WPA2, AES - CCM & TRIP Encryption. 802.1x.64/128/152bit WEP
Потужність випромінювання	До 25 дБм
Служби	TCP/IP, HTTP. DHCP. DNS, DDNS, RTP. RTSP, PPPoE. SMTP.
Управління	Winbox. WEB
Напруга живлення	10-57 V
Живлення PoE па Вхід	ТАК
Тип живлення Poї:	PoE- IEEE 802.3af/at (Дрпї 1. 2+; 3. 6 -) 24VDC Passive PoE (Дрїт 4, 5-1 : 7, 8 -) 1 la вихід.
Індикація	LAN, Runge signal
Антенa	2dBiMIMO2x2
Діапазон робочих темперні рівні	-35°C.. -70° C
Виконання	Зонні
Розміри, мм.	113 x89 x28mm
Вага	1.1 КГ

Оскільки роутери від Mikrotik працюють на RouterOS і вже мають необхідний набір функцій, то контроллер безпроводних точок можна не використовувати, так як одна з переваг mesh-технологій - обробка і маршрутизація потоків виконується децентралізовано. Також цей роутер підтримує зразу дві робочі частоти, тому для зв'язку між точками, для збільшення пропускної спроможності, буде використовуватись 5 ГГц та 802.11n. Нас, з налаштованим WDS та протоколом HWMP4-, модифікацією звичного гібридного протоколу HWMP, то входить до 802.11s, створеного для роботи з обладнанням Mikrotik, а для підключення клієнтів використовуватиметься більш поширений 802.11p на частоті 2.4 ГГц.

3.5 Моделювання роботи точок в заданих умовах та аналіз покриття мережі

Після вибору обладнання, потрібно вирахувати місця монтажу та кількість точок доступу. Для цього буде використовуватись пробна версія ПО TamoGraph Site Survey.

TamoGraph Site Survey - потужний і зручний інструмент для збору, візуалізації аналізу даних в мережах Wi-Fi стандарту 802.11 a/b/g/n/ac. Для впровадження і експлуатації безпроводних мереж потрібні професійні програмні продукти, які дозволяють значно спростити виконання таких складних і трудомістких завдань як побудову карт покриття, аналіз інтерференції і рівня сигналу, розподіл Wi-Fi-каналів, і тому подібне.

Ключові особливості:

- Простий і швидкий збір даних.
- Пасивні, активні і предиктивні інспекції.
- Спектральний аналіз.
- Усебічний аналіз безпроводних мереж із зручною і наочною візуалізацією рівня сигналу, перешкод, зон покриття точок доступу, швидкості передачі цих, мережевих проблем.
- Автоматичне знаходження точок доступу.

- Детальна інформація про кожну точку доступу: робочий канал, максимальна швидкість передачі даних, дані про компанію-виробника, тип шифрування і так далі.
- Повна підтримка мереж стандартів, 802.11a/b/g/n/ac.

Для початку, потрібно побудувати схему поверху, за допомогою панелі віртуальних об'єктів, що показано на рис. 3.4, де синіми лініями вказані плексигласові стінки, голубим зовнішні стіни, помаранчевим - ведучі стіни, в яких затухання найбільше.

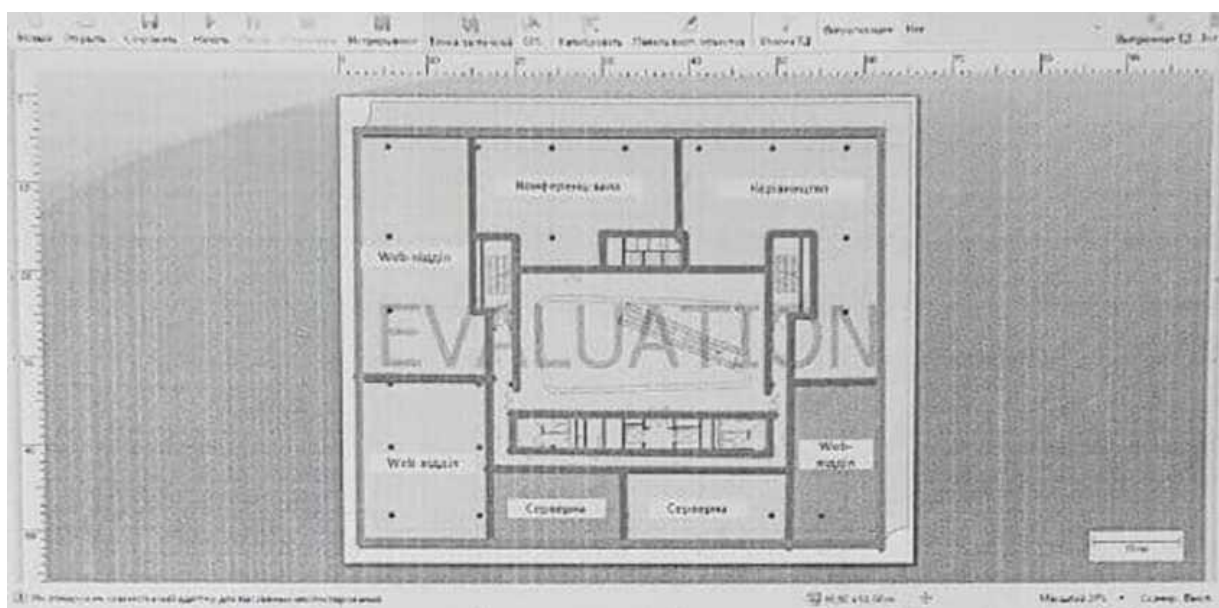


Рис. 3.4. Розстановка віртуальних стін в програмі TamoGraph Site Survey

Після цього, потрібно додати віртуальні точки доступу, та встановити параметри основні характеристики, такі як використовувані радіомодулі, стандарти, вихідну потужність та підсилення антени та її направленість, що відповідають характеристикам MikroTik wAP ac.

Методом ручної розстановки точок, можна вирахувати мінімальну кількість та їх оптимальне місце розташування. Результати, та карта покриття зображені на рис. 3.6 та рис. 3.7.

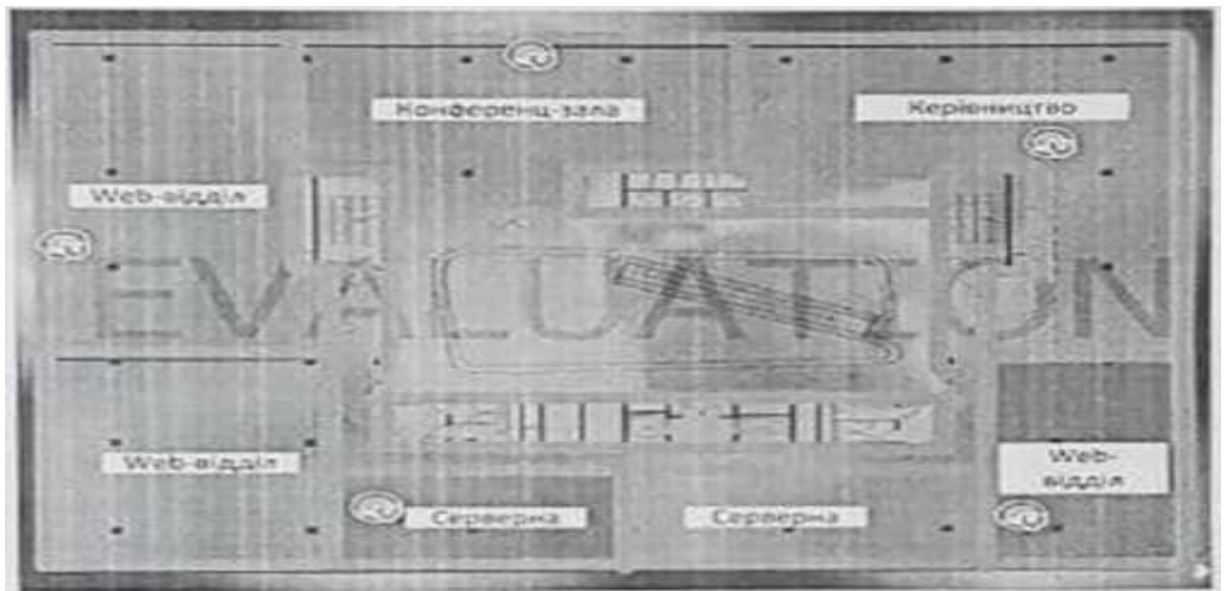


Рис. 3.6. Розстановка та покриття території 5 віртуальними точками MikroTik wAP ас при роботі на частоті 5ГГц стандарту 802.11ac

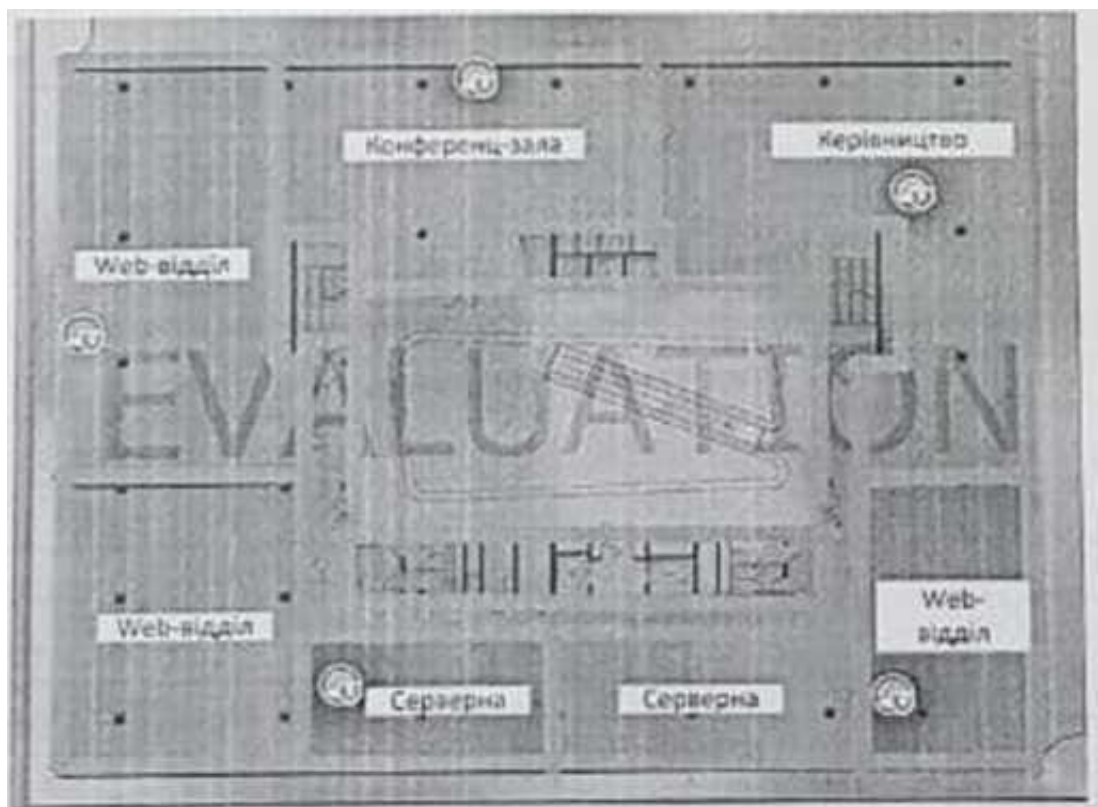


Рис. 3.7. Покриття території 5 віртуальними точками MikroTik wAP ас при роботі на 2.4 ГГц стандарту 802.11n

Потрібно зазначити, що для стандарту 802.11ac 5ГГц не було обов'язковим покриття всієї території, а лише покриття від точки до точки, так як ми

використовуємо то частоту для створення mesh -зв'язку між ними.

Аналізуючи карту покриття, можна дійти висновку, що проєктована мережа покриває всю потрібну територію, з якісним рівнем сигналу в кожному кабінеті.

Так як проєктована нами мережа працює на 802.11s PWMP-, то вона матиме наступні переваги перед звичним WDS:

Пропускна спроможність не втрачається, а навпаки зростає, так як в випадку високого навантаження на одну точку, контролер однієї з точок автоматично може запросити допомогу у інших точок, і вони зможуть додати свою пропускну спроможність зв'язком 802.11ac, лише з трішки більшою затримкою, або. використовуючи RADIUS сервер, можна налаштувати хендовер, при якому абоненти, що розмішені в зоні покриття двох точок, автоматично переключаться на інші точки з меншим навантаженням.

При додаванні та розширенні мережі, при використанні сумісних точок потрібне їх мінімальне налаштування, так як mesh-мережі автоматично конфігуруються, і нові точки будуть включати її в маршрут.

При виході з ладу однієї з точок, всі абоненти автоматично перенаправляється на сусідні точки, з мінімальною втратою пакетів.

При виході з ладу самого підключення, або при неможливості прокладки Fthemetl-кабелю, точки можна використовувати і далі - підключення до мережі вона виконуватиме по mesh-протоколу з іншими точками, через 802.11ac, а абоненти не відчують ніякої різниці, так як затримка між гонками буде менша 50 мс. Для зв'язку' точки використовують різні канали, тому зайнятість каналу' буде мінімальною, що позитивно впливає на пропускну спроможність та в майбутньому дозволить розширити ширину каналу.

3.6 Розрахунок вартості обладнання наведеної мережі

Загальний перелік необхідного основного устаткування і його вартість приведені в табл. 3.3.

Кошторис витрат на придбання основного устаткування для реалізації
проекту

Найменування	Кількість, шт.	Ціна за од., грн	Сума, грн
Безпроводна точка доступу MikroTik wAP ac	5 шт	2965	14825
Кабель Витя пара ОК-Net UTP мідь 0.50 cat. 5E	200 м	10	2000
Інші матеріали			1000
РАЗОМ: _____			17825

ВИСНОВКИ

За підсумками рішення поставленої наукової задачі зроблено такі висновки:

1. Безпроводові локальні мережі (Wi-Fi) задовольняють вимогам, що ставляться до безпроводових з'єднань для реалізації зв'язку в будівлях і офісах. Маючи характеристики і рівень захисту, еквівалентні з такими в проводових мережах, рішення на основі безпроводових локальних мереж використовуються в домашніх умовах, невеликих офісах, на підприємствах і в громадських місцях.

2. У роботі показано, то на даному етапі розвитку телекомунікаційних систем безпроводові мережі знаходять своє все більш широке використання. Проте основним стримуючим фактором у їх розвитку є невисока продуктивність. 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 (розширення спектра сигналу, об'єднання каналів, використання MIMO-систем і і. п.) має суттєві переваги. Встановлено, що ефективність офісних багатоканальних mesh-мереж багато в чому визначається якістю використаних моделей і методів розподілу каналів між радіоінтерфейсом mesh-станцій.

3. Mesh-мережа - це вид топології мережі 802.11. Основна відмінність Mesh-мережі від архітектури "точка-багатоточка" полягає в тому, що якщо в останньому випадку АС може спілкуватися тільки з БС, то в Mesh-мережі можливо взаємодія безпосередньо між ЛС. Mesh-мережа - необхідний інструмент побудови широкопasmової мережі, в якій трафік може передаватися по ланцюжку з декількох станцій, ліквідовуючи тим самим проблеми передачі за відсутності прямої видимості.

4. Проведено планування безпроводової мережі на базі технології Wi-Fi з використанням контролерів MikroTik wAP ac для Wcb-відділу компанії «ВиЯр». Для попереднього моделювання використано ПЗ TamoGraph Site Survey.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks- Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications, 802.11 - 2013.
2. Рошан П. Aggielou G. Wireless Mesh Networking // G. Agg'elou, B.Eng. - Athens, 2012. - 548 p.
3. Olwal 1.0. A multiple-Slatic Based Power Control for Multi-Radio Multi-Channel Wireless Mesh Networks.'T.O. Olwal, F.O. Aron, B.J. Van Wyk, Y. Hamam, P. Siarry, N. Ntlatlapa // international Journal of Computer Science. - Vol. 4, no. 1.-2011.- P. 53-61.
4. Kaabil F. Channel Allocation and Routing in Wireless Mesh Networks: A survey and qualitative comparison between schemes/F. Kaabil. S. Ghannay, F. Filalil // International journal of Wireless and Mobile Network. - Vol.2, №1. - Sophia-Antipolis, 2010. - P. 132 - 150.
5. Cheng W. The complexity of Channel Scheduling in Multi-Radio Multi-Channel Wireless Networks/W.Cheng, X. Znati, X. Lu // Proc. Of Infocom - 2009. - P. 1 -9.
6. Laufer R. Multirate Anypath Routing in Wireless Mesh Networks/R. Laufer, H. Dubois-Ferriere, L. Kleiruoock // IEEE In INFOCOM 2009. The 28th Conference on Computer Communications. - 2009. - P. 37 45.
7. Ватаманюк А. И. Беспроводная сеть своими руками/А. И. Ватаманюк. СПб.: Питер, 2006. - 192 с.
8. Вишневский В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G/В.М. Вишневский, Л.С. Портной, И.В. Шахнович. - М.: Техносфер, а 2009. - 472 с.
9. Гургенидзе А. Г. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа/А.Т. Гургенидзе, В.И. Кореш. СПб.: Паука и техник, а 2003. 400 с.
10. Миночкин А.И. Маршрутизация в мобильных радиосетях: проблема и пути ее решения/А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Журнал «Зв'язок». - 2006. - №6.-

С. 15-21.

11. Шиллер Й.А. Мобильные коммуникации: Пер. с англ./Й.А. Шиллер. - М.: Издат. дом «Вильямс», 2002. - 384 с.

12. Миночкин А.И. Методы множественного доступа в мобильных радиосетях/А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Журнал «Зв'язок». - 2004. -№2. - С. 46 - 50.

13. Вишневский В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации/В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. - М: Техносфер, а 2005. - 592 с.

14. Осипов И.Е. Mesh-сети: технологии, приложения, оборудование/И.Е. Осипов // Технологии и средства связи. - № 4. 2006. С. 38 - 45.

15. Ekram Hossain Wireless Mesh Networks:Archilclures and Protocols/Ekrain Hossain, Kin Leung//Springer - London, 2008. - 351 p.

16. Akyildiz I. A survey on wireless mesh networks/!. Akyildiz, W.Wang // IEEE Communications Magazine 2005. - Vol. 43. no. 9. - P. 523 - 530.

17. Merlin S. Resource allocation in multi-radio multi-channel multi-hop wireless networks/S. Merlin, N. Vaidva, M. Zorzi // In Proc. 1NFOCOM 2008. P. 610-618.

18. Faccin S.M. Mesh WLAN networks: concept and system dcsign/S.M. Faccin, C. Wijting, .1. Kenckt, A. Dam le it IEEE Wireless Communication - 2006. Vol 13, No. 2. - P. 168-179.

19. Aggielou G. Porecasting Network Disconnections in Mobile Wireless Mesh Networks/Aggielou G. U Submitted for publication, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 2008. - P. 62 - 70.

20. Akyiliciz I. F. Wireless mesh networks: a survey/!. F. Akyilidiz, X. Wang, W. Wang. It Computer Networks - Vol. 47. - 2005. - P. 445 - 487.

21. Duffy K. Modeling 802.11 mesh networks/K. Duffy, D.I. Leith, T. Li, D. Malone />' IEEE Comm. Magazine. - New York: 2007. - Vol. 10, no 6. - P. 635 637.

22. Yan Zhang Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Slandards/Yan Zhang, Jijun Luo, flonglin Hu H AuerbachPublications - 2007. – 212.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ