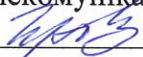


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

УДК 621.37

«Допущено до захисту»

В.о. завідувача кафедри
комп'ютерних технологій
у медицині та
телекомунікаціях

 Чухов В.В.

« 19 » 12 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему **ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ WiMAX**

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи
студент 2 курсу, гр. ТРМ-21-1

12.12.2022 
(дата, підпис)

Романчук С.Ю.

Керівник роботи
к.т.н., доц.

12.12.2022 
(дата, підпис)

Дубина О.Ф.

Житомир
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ WiMAX

Виконав: студент 2 курсу,
групи ТРм-21-1 спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Романчук С.Ю.

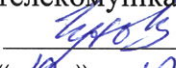
Керівник Дубина О.Ф.

Рецензент Андрєєв О.В.

Житомир
2022

«Затверджено»

В.о. завідувача кафедри комп'ютерних
технологій у медицині та
телекомунікаціях


« 10 » 12 2022 р. В.В. Чухов

Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу

Романчук Сергій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження бездротової мережі WIMAX від
«12» 10 2022 р. № 460/с

2. Мета дослідження Дослідження бездротової мережі WIMAX у порівнянні з
мережею Wi-Fi.

3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження
та ін.)

1. Параметри мережі WIMAX. 2. Параметри мережі Wi-Fi.

4. Основні задачі дослідження 1. Аналіз мережі WIMAX.

2. Аналіз широкосмугового доступу.

3. Дослідження мережі бездротового зв'язку стандарту WIMAX у порівнянні з
WIFI.

5. Термін подання роботи до захисту 12.12.2022

6. Дата видачі завдання « 10 » 05 2022 р.

Науковий керівник

Завдання прийняв
до виконання

12.05.2022

(підпис)


(підпис)

Дубина О.Р.

(прізвище, ініціали)

Романчук С.Ю.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Темою дипломної роботи є дослідження бездротової мережі WIMAX. Проведено аналіз мережі WIMAX, а саме: принципів побудови, режимів роботи обладнання стандарту WiMAX, частотно-територіального плану та технічних характеристик обладнання базової та абонентської станцій. Проаналізовано поняття широкосмугового доступу, його структури, видів, принципів організації. Наведено дані щодо загального стану із поширенням широкосмугового доступу в Україні. Проведено дослідження мережі бездротового зв'язку стандарту WIMAX у порівнянні з WIFI, а також дослідження співіснування бездротових мереж WIMAX і WIFI. Крім того, було проведено аналіз поточного стану бездротових мереж.

ANNOTATION

The topic of the thesis is the study of the WIMAX wireless network. An analysis of the WIMAX network was carried out, namely: construction principles, operating modes of the WiMAX standard equipment, frequency-territorial plan and technical characteristics of the base and subscriber station equipment. The concept of broadband access, its structure, types, principles of organization are analyzed. Data on the general situation with the spread of broadband access in Ukraine are presented. A study of the wireless communication network of the WIMAX standard in comparison with WIFI was conducted, as well as a study of the coexistence of WIMAX and WIFI wireless networks. In addition, an analysis of the current state of wireless networks was carried out.

РЕФЕРАТ

Дана робота присвячена дослідженню мережі бездротового зв'язку стандарту WiMAX.

Атестаційна робота містить 55 сторінок, 22 рисунків, 12 таблиць, 28 джерел посилань.

У першому розділі проведено аналіз мережі WiMAX, а саме: принципів побудови, режимів роботи обладнання стандарту WiMAX, частотно-територіального плану та технічних характеристик обладнання базової та абонентської станцій.

Другий розділ присвячено аналізу поняття широкосмугового доступу, його структури, видів, принципів організації. Наведено дані щодо загального стану із поширенням широкосмугового доступу в Україні.

У третьому розділі проведено дослідження мережі бездротового зв'язку стандарту WiMAX у порівнянні з WIFI, а також дослідження співіснування бездротових мереж WiMAX і WIFI. Крім того, було проведено аналіз поточного стану бездротових мереж.

Ключові слова: широкосмуговий зв'язок; бездротовий зв'язок; базова станція; OFDM; FDMA; WiMAX; WIFI.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕРЕЖІ WiMAX	10
1.1.Принципи побудови мережі WiMAX.....	10
1.2 Режими роботи обладнання стандарту WiMAX	13
1.3 Розробка частотно-територіального плану.....	19
1.4 Розрахунок технічних характеристик обладнання базової та абонентської станцій	24
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ	31
2.1 Поняття широкосмугового доступу.....	31
2.2 Загальний стан із поширенням широкосмугового доступу в Україні.....	35
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ WiMAX У ПОРІВНЯННІ З WIFI	40
3.1 Дослідження мережі бездротового зв'язку стандарту WiMAX у порівнянні з WIFI	40
3.2 Дослідження співіснування бездротових мереж.....	44
3.3 Аналіз поточного стану бездротових мереж	48
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	53

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

БС - базова станція;

КС – клієнтська станція;

DSL - Digital subscriber line;

USB - Universal Serial Bus;

PC - Personal computer;

ШСД – Широкополосний доступ;

CDMA - Code Division Multiple Access;

MIMO - Multiple-Input Multiple-Output;

MAC - Medium Access Control;

FDMA - Frequency Division Multiple Access;

OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing;

QAM - Quadrature Amplitude Modulation;

QoS - Quality of Service;

QPSK - Quadrature Phase-Shift Keying;

TDMA - Time Division Multiple Access.

.

ВСТУП

На теперішній час, завдяки розвитку мережевих технологій, відбулися певні зміни на ринку телекомунікацій. Найважливішими тенденціями стали взаємопроникнення та інтеграція сучасних комп'ютерних та традиційних мереж зв'язку. Розширюється номенклатура послуг, що виникають на стику технологій телефонії, передачі даних і телебачення. У ході розгляді проблем широкосмугового доступу активно обговорюється питання про роль провідних, безпроводних і космічних засобів зв'язку. За даними досліджень, широкосмугові бездротові мережі на базі технологій стільникового зв'язку третього покоління, а також технологій Wi-Fi і WiMAX володіють винятковими перевагами по оперативності розгортання, охопленням території, мобільності, надаючи в багатьох випадках не тільки найбільш ефективне, але іноді і єдино можливе виправдане рішення. Існуючі системи дротового цифрового зв'язку вже не можуть в повній мірі задовольняти зростаючим потребам високошвидкісного широкосмугового доступу. найважливішими їх недоліками є тривалі терміни прокладання, складності розширення, високі витрати, проблема "останньої милі". Основною є так звана проблема "останньої милі". WiMAX - одна з технологій, покликаних вирішити проблему широкосмугового доступу до транспортних мереж, а до того ж позбавити користувачів від необхідності провідного підключення.

Мета роботи: Дослідження бездротової мережі WIMAX у порівнянні з мережею Wi-Fi.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити наступні основні завдання:

1. Проналізувати мережі WIMAX.
2. Проаналізувати широкосмуговий доступ.
3. Провести дослідження мережі бездротового зв'язку стандарту WIMAX у порівнянні з WIFI

Предметом дослідження є мережа бездротового зв'язку стандарту WiMAX.

Об'єкт дослідження – бездротовий зв'язок.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕРЕЖІ WiMAX

1.1. Принципи побудови мережі WiMAX

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) - телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального безпроводного зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до смартфонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який так само називають WirelessMAN. Назва «WiMAX» було створено організацією WiMAX Forum, яка була заснована в червні 2001 року з метою просування та розвитку стандарту[2].

WiMAX дозволяє здійснювати доступ в інтернет на високих швидкостях, з набагато більшою пропускнуою здатністю і покриттям, ніж у Wi-Fi мереж. Це дозволяє використовувати технологію в якості «магістральних каналів», продовженням яких виступають традиційні DSL і виділені лінії, а так само локальні Wi-Fi мережі. В результаті подібний підхід дозволяє створювати масштабовані високошвидкісні мережі масштабів цілих міст. Технології сімейства 802.16 дозволять економічно більш ефективно (порівняно з провідними технологіями) не тільки надавати доступ в мережу новим клієнтам, але і розширювати спектр послуг і охоплювати нові важкодоступні території. Бездротові технології багатьом більш прості у використанні, ніж традиційні дротові канали. WiMAX і Wi-Fi мережі прості в розгортанні і по мірі необхідності легко масштабуються. В сумі всі ці переваги дозволять знизити ціни на надання відповідних послуг високошвидкісного доступу в Інтернет як для бізнес структур та юридичних осіб, так і для приватних осіб. Обладнання для використання мереж WiMAX поставляється кількома виробниками і може бути встановлено як в приміщенні (пристрої розміром із звичайний DSL модем), так і поза нього (пристрої розміром з ноутбук). З винаходом мобільного WiMAX все більший акцент робиться на розробці мобільних пристроїв.

У загальному вигляді WiMAX мережі складаються з двох основних частин — базової станції і приймача. Для з'єднання базової станції та клієнтського обладнання використовується високочастотний діапазон від 2 до 11 ГГц. В ідеальних умовах швидкість обміну даними може досягати 20 Мбіт/с, при цьому не вимагається забезпечення прямої видимості між базовою станцією і приймачем.

Між базовими станціями, що використовують діапазон частот від 10 до 66 ГГц, встановлюється з'єднання прямої видимості, швидкість обміну даними може досягати 120 Мбіт/с. При цьому, принаймні одна базова станція підключається до мережі провайдера з використанням класичних дротових з'єднань. Однак, чим більше число БС підключено до мереж провайдера, тим вища швидкість передачі даних і надійність мережі в цілому [3].

Структура мереж сімейства стандартів IEEE 802.16 наведена на рис. 1.1. Для з'єднання базової станції з користувачем необхідна наявність абонентського обладнання. Далі сигнал може надходити за стандартним Ethernet-кабелем, як безпосередньо на конкретний комп'ютер, так і на точку доступу стандарту 802.11 Wi-Fi або в локальну дротову мережу стандарту Ethernet.

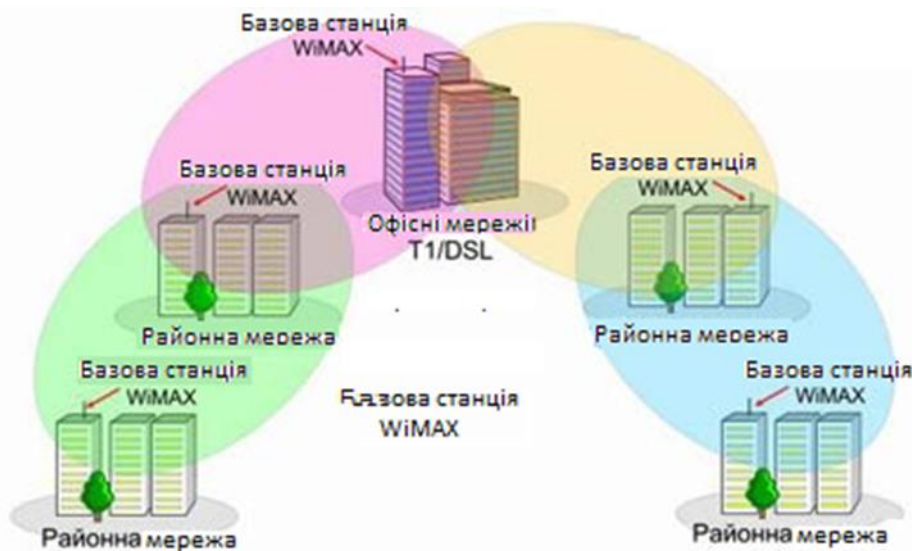


Рисунок 1.1 – Районна мережа WiMAX

Конструктивно базові станції всіх виробників є багатосекторними, обладнаних антенами з діаграмою спрямованості 60-90°, тобто для забезпечення кругового огляду необхідно 4-6 антен. Термінальні системи складаються, як правило, з зовнішнього блоку, що представляє антену, поєднану з радіоблоком, і внутрішнього блоку-терміналу.

У всіх типах обладнання використовується технологія OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), при якій дані кодуються за допомогою алгоритму швидкого інверсного перетворення Фур'є (FFT) і передаються пакетами (символами) за допомогою безлічі частотних підканалів. OFDM забезпечує високу спектральну щільність і надзвичайну стійкість до перешкод від багатопроменевої інтерференції і до частотним випаданням, а також режим роботи NLOS (Non Line of Sight) — поза зоною прямої видимості. Режим OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiply Access) передбачає роботу відразу з декількома абонентами в режимі OFDM, а режим SOFDMA (Scalable OFDMA) — масштабування режиму роботи OFDMA[4].

Використовуються два методи багатостанційного доступу для передачі від абонентського терміналу до базової станції: DAMA (Demand Assignment Multiple Access) — доступ за запитом — і TDMA (Time Division Multiple Access) — доступ з тимчасовим поділом. Для підтримання максимально можливої швидкості для кожного з'єднання застосовується автоматична адаптація типу модуляції під стан каналу, виходячи з набору закладених у виріб типів: BPSK, QPSK, 8 QAM, 16 QAM, 64 QAM. Передача від базової станції до абонентської може вестися як в режимі часового дуплексу TDD (Time Division Duplex), так і в режимі частотного поділу каналів FDD (Frequency Division Duplex). Базова станція відповідає за планування трафіку в обох напрямках. Вона передає дані на абонентські комплекси та розсилає запити та підтвердження на передачу, ґрунтуючись на аналізі агрегатного потоку від всіх абонентів.

Для корекції помилок у всіх типах обладнання використовується метод ARQ (Automatic Repeat Request) — автоматичного запиту на повторну передачу пакета даних при відсутності підтвердження прийому після закінчення певного

проміжку часу, та метод прямої корекції помилок FEC (Forward Error Correction) на основі кодування даних за допомогою коду Ріда—Соломона, що дозволяє виявляти і виправляти помилки в байтах.

1.2 Режими роботи обладнання стандарту WiMAX

Основні режими роботи обладнання наведені в табл 1.1 [3].

Таблиця 1.1 Основні режими стандартів IEEE 802.16

Режим	Частотний діапазон	Опції	Дуплекс
WirelessMAN-SC	10÷66 ГГц		TDD/FDD
WirelessMAN-SCa	<11 ГГц	AAS/ARQ/STC/256-QAM	TDD/FDD
WirelessMAN-OFDM	<11 ГГц	AAS/ARQ/STC/MESH	TDD/FDD
WirelessMAN-OFDMA	<11 ГГц	AAS/ARQ/STC	TDD/FDD
WirelessMAN-HUMAN	<11 ГГц (неліцензований)	DFS/AAS/ARQ/Mesh/STC	TDD

Відмітимо, що всі режими діапазону менше 11 ГГц відрізняються трьома характерними деталями: механізми автоматичного запиту повторної передачі (ARQ – Automatic Repeat Request), підтримка роботи з адаптивними антенними системами (AAS – Adaptive Antenna System) і просторово-часове кодування (STC – Space Time Coding). Крім того, поряд з централізованою архітектурою —точка-мультиточка в режимі WirelessMAN-OFDM передбачена підтримка архітектури Mesh - мережі (децентралізована мережа взаємодіючих систем, вузли якої забезпечують не тільки доступ до середовища передачі, а й підтримують ретрансляцію трафіку). Розроблений стандарт IEEE 802.16-2004 представляє собою розраховану на інтеграцію в міські безпроводні мережі (WirelessMAN) технологію безпроводного широкосмугового радіодоступу операторського класу. В останньому – його основні відмінності від групи стандартів 802.11, що

орієнтовані на роботу в безліцензійному діапазоні. Цей стандарт описує принципи побудови мереж регіонального масштабу в діапазоні до 66 ГГц, точніше їх фізичні та MAC-рівні (радіоінтерфейси, методи модуляції і доступу до каналів, системи управління потоками, структура передачі даних, механізми спраження протоколів передачі даних верхніх рівнів з протоколами фізичного рівня). Для цього в стандарті передбачено п'ять режимів роботи. Бачимо, що тільки один з них – WirelessMAN-SC призначений для роботи в діапазоні 10÷66 ГГц. Він орієнтований на магістральні мережі (точка-точка, —точка багатоточка) в умовах прямої видимості, з типовими швидкостями потоку даних (bit stream) 120 Мбіт/с і шириною каналу порядку 25 МГц. Решта режимів роботи розроблені для діапазонів менше 11 ГГц. Один з них – WirelessMAN-SCa – це —низькочастотний|| варіант WirelessMAN-SC (з рядом додаткових механізмів). Режим WirelessHUMAN представляє собою адаптацію решти методів для роботи в безліцензійному діапазоні. Інші два режими – WirelessMAN-OFDM і WirelessMAN-OFDMA – це зовсім нові методи роботи (раніше входили в затверджений в 2003 р. стандарт IEEE 802.16a, але з того часу отримали ряд змін). Ще одна особливість стандарту – в ньому передбачений режим роботи в безліцензійному діапазоні Wireless HUMAN (High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network). Фактично мова йде про адаптацію описаних методів в смузі частот порядку 5÷6 ГГц. Основні відмінності Wireless HUMAN – це використання тільки часового дуплексу, режим динамічного розподілу частот DFS (Dynamic Frequency Selection) і механізм наскрізної нумерації частотних каналів.

В даних стандартах застосовується: часове розділення каналів TDMA для радіоінтерфейсів WMAN-SC на лінії —вверх|| (при передачі на лінії —вниз|| використовується часове розділення, при якому кожному активному абоненту виділяються часові вікна (слоти); часове розділення каналів TDMA для радіоінтерфейсів WMAN-SC2, WMAN-OFDM; ортогональне часове розділення каналів WMAN-OFDMA за рахунок надання для окремої АС декількох піднесучих в загальній смузі частот.

Тип модуляції визначається радіоінтерфейсами, які використовуються: WMAN-SC, WMAN-SC2, WMAN-OFDM, WMAN-OFDMA. В таблиці 1.2 приведені дані видів модуляції, які використовують ці радіоінтерфейси.

Таблиця 1.2 Види модуляції, які використовуються радіоінтерфейсами

Вид радіоінтерфейсу	Види модуляції
WMAN-SC	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
WMAN-SC2	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
WMAN-OFDM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
WMAN-OFDMA	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM

Кількість бітів на символ визначається видом модуляції, яка використовується. Спочатку модулююча двійкова послідовність відображується в послідовність символів, кожен з яких містить один, або декілька бітів. Стандарт підтримує багаторівневі види модуляції QPSK, 16-QAM (рис. 1.2), 64-QAM, 256-QAM (рис. 1.3), які містять відповідно 2, 4, 6 або 8 бітів на символ. Виходячи із вибраної схеми модуляції (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM), блок представляється у вигляді послідовності груп бітів, що відповідають символам модуляції (по 1, 2, 4, 6 біт) [3,4].

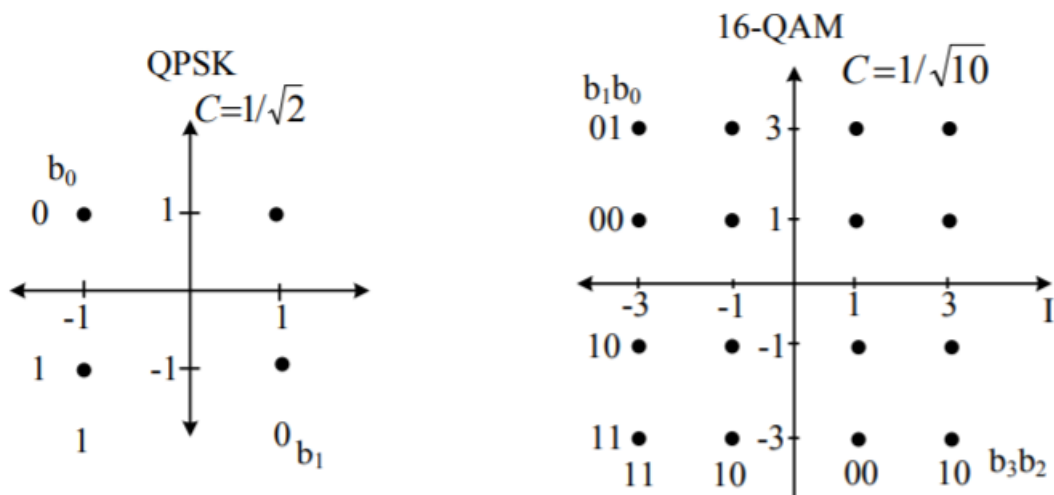


Рисунок 1.2 – Багаторівневі види модуляції QPSK, 16-QAM

Виходячи із вибраної схеми модуляції (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM), блок представляється у вигляді послідовності груп бітів, що відповідають

символам модуляції (по 1, 2, 4, 6 біт). Кожній групі ставляться у відповідність значення квадатурних складових I і Q , які потім використовуються безпосередньо при модуляції несучої.

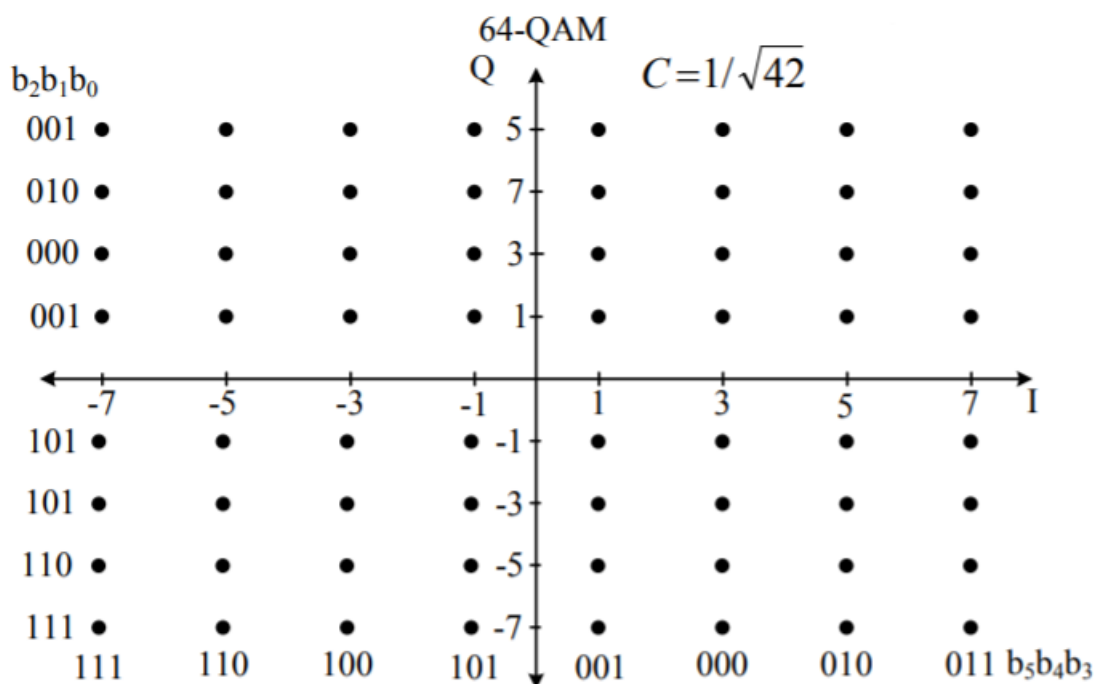


Рисунок 1.3 – Багаторівневі види модуляції 64-QAM

Технологія передачі на одній несучій Single Carrier версії а (SCa) передбачена для створення безпроводних мереж в ліцензованих (WirelessMAN – Wireless Metropolitan Area Network) і не ліцензованих (WirelessHUMAN – Wireless High speed Unlicensed MAN) діапазонах частот нижче 11 ГГц. Передбачено використання модуляцій BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM (додатково). Для WirelessMAN розроблені профілі для смуг частот 3.5 і 7 МГц. Передбачено використання в режимі частотного дуплексу FDD наступних ліцензованих діапазонів частот: 2523 ÷ 2593 МГц, 2597 ÷ 2667 МГц; 3410 ÷ 3445 МГц, 3460 ÷ 3495 МГц; 3500 ÷ 3549 МГц, 3550 ÷ 3599 МГц; 3600 ÷ 3649 МГц, 3650 ÷ 3699 МГц; 3700 ÷ 3749 МГц, 3750 ÷ 3799 МГц. Для WirelessHUMAN розроблені профілі для режиму часового дуплексу TDD в смугах частот 10 і 20 МГц в не ліцензованих у більшості країн частотних діапазонах: 5270 ÷ 5340 МГц; 5735 ÷ 5835 МГц; 5730 ÷ 5850 МГц. Одним з основних для діапазону 2÷11ГГц стандарту 802.16 є радіоінтерфейс, який використовує ортогональну частотну

модуляцію (OFDM), що передбачає наявність багатьох піднесучих. Значення швидкостей передачі для технології SC з OFDM наведені в табл 1.3.

Таблиця 1.3 - Значення швидкостей передачі для технології OFDM

Модуляція кодова швидкість	Швидкість передачі, Мбіт/с при ширині каналу, МГц					
	1.75	3.5	7	3	5.5	10
BPSK 1/2	0.7	1.5	2.9	1.3	2.3	4.2
QPSK 1/2	1.5	2.9	5.8	2.5	4.6	8.4
QPSK 3/4	2.2	4.4	8.7	3.8	6.9	12.6
16QAM 1/2	2.9	5.8	11.6	5.0	9.2	16.8
16QAM 3/4	4.4	8.7	17.5	7.5	13.8	25.1
64QAM 2/3	5.8	11.6	23.3	10.0	18.3	33.5
64QAM 3/4	6.5	13.1	26.2	11.3	20.6	37.7

Технологія ортогонального частотного мультиплексування (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) призначена для створення безпроводних мереж в ліцензованих (WirelessMAN) і не ліцензованих (WirelessHUMAN) діапазонах частот нижче 11 ГГц. Сам підхід до збільшення швидкості передачі OFDM аналогічний звичайному частотному розділенню каналів FDM і полягає у використанні в усій доступній смузі частот більшої кількості вузькосмугових каналів – піднесучих (subcarriers). У простішому випадку кожна піднесуча відповідає за свій окремий біт, а всі разом вони представляють кодове слово, в якому використовуються методи відновлення інформації – коди Ріда-Соломона і згорткові коди. Таким чином можна в декількох окремих частотних смугах передавати дані паралельно. При цьому важливою умовою є те, що окремі вузькосмугові сигнали даних не накладаються один на одного у вигляді завад і їх можна відділити на приймальній стороні. Ортогональність означає, що максимум однієї піднесучої співпадає з нулями всіх інших (рис. 1.4). В результаті спектри сигналів перетинаються, але при цьому не відбувається їхня взаємна інтерференція. При частотному розділенні каналів необхідно, щоб ширина окремого каналу була з одного боку достатньо вузька для мінімізації

спотворення сигналу в межах окремого каналу, а з іншого - достатньо широка для забезпечення необхідної швидкості передачі. Крім того для економного використання всієї смуги каналу, що розділяється на підканали, бажано якомога щільніше розташувати частотні підканали і при цьому уникнути міжканальної інтерференції, щоб забезпечити повну незалежність каналів один від одного. Частотні канали, що задовольняють перерахованим вимогам, називаються ортогональними [5].

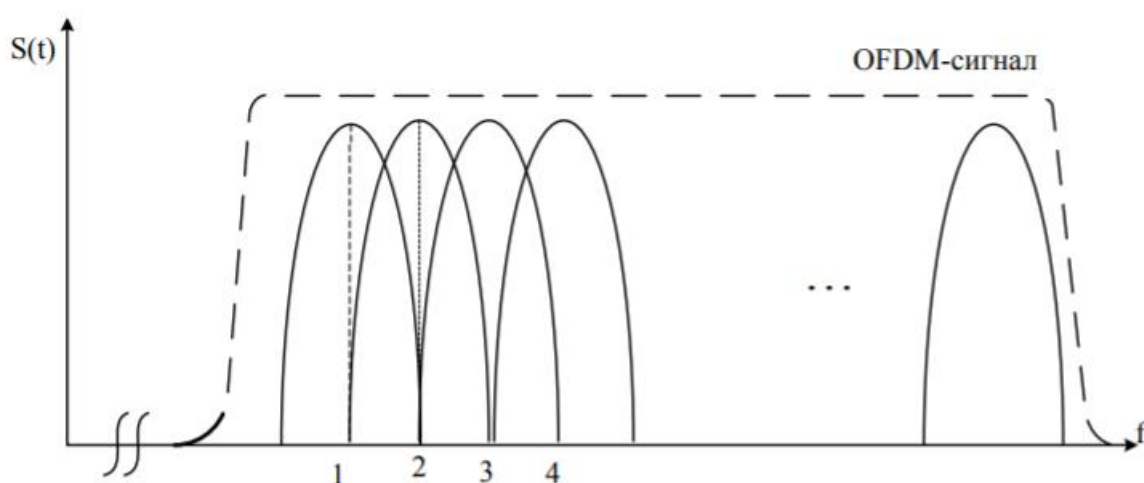


Рисунок 1.4 – Спектр сигналу при OFDM

Від Wi-Fi всі стандарти 802.16 успадкували технологію —розумних антен (Smart Antennas). Тут здійснився її подальший розвиток. В результаті стандартизовано 4 типи адаптивних —розумних антен: • застосовуються декілька приймальних антен, розміщених на відстані не менше $1/2$ довжини хвилі, адаптивних —розумних антен; • застосовуються декілька антен (антенний пул) з оцінкою рівня сигналу, який приймається на кожній; антена з найбільш чітким і потужним сигналом підключається до приймача; • застосовується система антен з оцінкою рівня шуму в ефірі; на основі цих даних за допомогою програмного керування частотою вибирається робочий —коридор з найменшими завадами; • застосовуються від 4 до 24 антен для поділу простору на сектори для багатократного використання частотного ресурсу.

Таким чином, у стандарті WiMax використовується технологія адаптивної модуляції, яка заключається в автоматичному виборі виду модуляції залежно від поточного відношення сигнал/шум в каналі передачі. Різні способи модуляції дозволяють отримати різні швидкості передачі при різних відношеннях сигнал/шум. Використання спектрально-ефективних методів модуляції забезпечує більш високу швидкість передачі, але потребує більшої величини відношення сигнал/шум. Тому такий спосіб доцільно застосовувати для користувачів, які знаходяться поблизу базової станції. При віддаленні застосовують QPSK і BPSK, що дозволяє працювати при менших значеннях сигнал/шум. Схема модуляції автоматично переходить з одного виду модуляцій на іншу при зміні умов передачі (відношення сигнал/шум – SNR). Стандарт WiMax також допускає більш гнучкий у порівнянні з 802.11 розподіл смуги частот, що використовуються для передачі даних. При чому, це досягається як за рахунок зменшення кількості піднесучих, так і за допомогою їх звуження. Мінімальна ширина сигналу, передбачена стандартом, складає 1.25 МГц, а максимальна – 20 МГц. Звичайно, зі зменшенням частотного ресурсу швидкість передачі зменшується, але сама ця можливість дозволяє використовувати частотний спектр окремими фрагментами, а не повністю, як це було в 802.11.

1.3 Розробка частотно-територіального плану

Впершу чергу будемо виконувати розрахунки для визначення кількості базових станцій та апаратури приймально-передавальних станцій. Далі визначимо топологію мережі, оцінемо інформаційні навантаження на мережу та проведемо частото-територіальне планування.

Планування мережі WiMAX буде проводитися в межах Андрушівського району, де щільність абонентів невисока і базові станції повинні встановлюватися доволі далеко один від одного, для того щоб покрити якомога більшу територію. Необхідно виконати обчислення кількості базових станцій і радіусу стільника системи бездротового зв'язку стандарту WiMAX. Для цього

спочатку визначаємо загальну кількість частотних каналів, виділених для розгортання мережі бездротового зв'язку [6]:

$$n_k = \text{int}\left(\frac{F}{\Delta f_k}\right), \quad (3.1)$$

де F – смуга частот, виділена оператору за умовами ліцензії для розгортання системи, МГц;

Δf_k – смуга частот одного радіоканалу, МГц.

Згідно вихідних даних на проектування $F = 30$ МГц, а $\Delta f_k = 5$ МГц, тоді за формулою (3.1):

$$n_k = \text{int}\left(\frac{30}{5}\right) = 6.$$

Визначаємо кількість частотних каналів для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника:

$$n_{\text{чк}_c} = \text{int}\left(\frac{n_k}{M \times C}\right), \quad (3.2)$$

де M – кількість секторів в стільнику;

C – розмір кластера.

Згідно вихідних даних на проектування $M=6$, а $C=1$, тоді за формулою (3.2):

$$n_{\text{чк}_c} = \text{int}\left(\frac{6}{6 \times 1}\right) = 1.$$

Визначаємо кількість потенційних абонентів :

$$N_a = Z \cdot \mu \cdot p \cdot S; \quad (3.3)$$

де Z – запланована частка ринку;

μ – проникнення даного типу сервісу (для WiMAX $\mu = (0,05 \dots 0,15)$, для LTE $\mu = (0,3 \dots 0,5)$);

ρ – щільність населення, осіб/км², розраховують як відношення кількості населення в місті $N_{\text{нас}}$ до площі території, зайнятої містом, $S_{\text{тер}}$;

S – площа території, на якій розгортається система стільникового зв'язку, км².

Згідно вихідних даних на проектування $Z=0.4$, $\mu=0.15$, $S=956$, $\rho=35,62$ [7].

Розрахунок згідно (3.3)

$$N_a = 0.4 \cdot 0.1 \cdot 35.62 \cdot 956 = 2.043 \cdot 10^3.$$

Далі визначаємо пропускну здатність БС в секторі (з врахуванням каналного кодування і наявності захисного інтервалу) R , Мбіт/с

$$R = \frac{n_{\text{чк.с}} \cdot N_{\text{data}} \cdot m \cdot V_{rs} \cdot V_c}{T_s(1+F_g)}, \quad (3.4)$$

де N_{data} – кількість інформаційних носійних;

m – кількість рівнів модуляції, біт/символ;

T_s – тривалість символу OFDM, мкс;

V_{rs} – швидкість коду Ріда-Соломона;

V_c – швидкість загорткового коду;

F_g – величина захисного інтервалу.

Згідно вихідних даних на проектування: $V_{rs}=96/108$, $V_c=3/4$, $F_g=1/8$; згідно таблиці 3.1, для $\Delta f = 5$ — $N_{\text{data}}=384$; значення $T_s=89.6$ мкс, $m=6$ біт/символ, вираховуємо далі в роботі з формул (3.5) та (3.6).

Розрахунок згідно (3.4)

$$R = \frac{1 \cdot 384 \cdot 6 \cdot \frac{96}{108} \cdot \frac{3}{4}}{89.6 \cdot \left(1 + \frac{1}{8}\right)} = 15250000 \text{ біт.}$$

Кількість рівнів модуляції m визначимо з виразу:

$$m = k \cdot \log_2 M'; \quad (3.5)$$

де M' – кількість можливих станів модуляції

k – коефіцієнт, що враховує застосування технології MIMO

За даними по проектуванню бездротових мереж $M=64$, $k=1$.

Розрахунок згідно (3.5)

$$m = 1 \cdot \log_2 64 = 6 \text{ біт/символ};$$

Тривалість символу OFDM T_s визначимо за формулою:

$$T_s = \frac{7}{8} \cdot \frac{N_{FFT}}{\Delta f_k}; \quad (3.6)$$

де N_{FFT} – кількість точок зворотного перетворення Фур'є (табл.1.4).

Згідно вихідних даних на проектування $\Delta f_k=5$.

Таблиця 1.4 – Залежність N_{FFT} та N_{data} від смуги частот одного радіоканалу.

Δf , МГц	5	7	10
N_{FFT}	512	1024	1024
N_{data}	384	768	768

Розрахунок за формулою (3.6)

$$T_s = \frac{7}{8} \cdot \frac{512}{5} = 89.6 \text{ мкс};$$

Визначаємо кількість абонентів в стільнику $N_{аб_с}$:

$$N_{аб_с} = \frac{M \cdot R}{R_{аб}} \cdot k_{os} \quad (3.7)$$

де $R_{аб}$ – гарантована швидкість для одного абонента, Мбіт/с;

$k_{ос}$ – коефіцієнт, який враховує, що для заданого виду трафіку кількість користувачів може бути збільшено через конкурентний доступ до середовища.

Згідно вихідних даних на проектування $M = 6$, $R = 15250000$ біт, $R_{аб} = 4$ Мбіт/с; $k_{ос}=13$.

Розрахунок за формулою (3.7)

$$N_{аб_с} = \frac{6 \cdot 15.25}{2} \cdot 13 = 297.$$

Визначаємо кількість базових станцій:

$$N_{БС} = \frac{N_A}{N_{аб_с}}; \quad (3.8)$$

Згідно попереднім розрахункам $N_A=2043$, $N_{аб_с} = 297$.

Розрахунок за формулою (3.8)

$$N_{БС} = \frac{2043}{297} = 6,9$$

Тобто, кількість базових станцій дорівнює 7.

Далі розрахуємо радіус стільника:

$$R_{ст} = \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3} N_{БС}}}; \quad (3.9)$$

Згідно попереднім розрахункам $N_{БС} = 7$.

Розрахунок за формулою (3.9)

$$R_{ст} = \sqrt{\frac{2 \cdot 956}{3\sqrt{3} \cdot 7}} = 7,3 \text{ км.}$$

Провівши дані розрахунки ми отримали що в Андрушівському районі ми будемо використовувати обладнання для забезпечення зв'язком 2043 абонентів. Для цього нам знадобиться 7 базових станцій з радіусом стільника 7,3 км (рисунок 1.5).

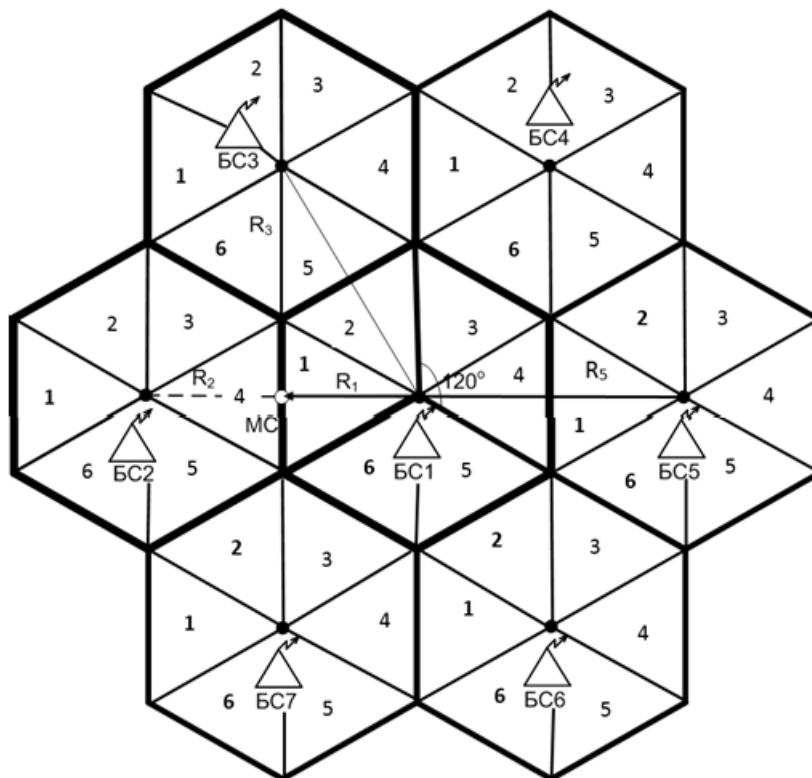


Рисунок 1.5 – Схема частотно-територіального плану

Кожна БС використовує шестисекторну антену. Цифрами 1,...,6 позначені частоти, що використовуються в стільниках (рис. 1.5). Станція клієнта позначена МС.

1.4. Розрахунок технічних характеристик базової та абонетської станцій

Розрахуємо порогову чутливість приймача базової станції та станції клієнта. Визначається потужність теплових шумів приймача [2]:

$$P_T = N_T k T_0 \Pi,$$

де N_T - коефіцієнт шуму приймача;

k - стала Больцмана;

T_0 - температура приймача;

Π - ефективна ширина шумової смуги приймача.

Рівень потужності теплового шуму в дБ:

$$p_T = 10 \lg P_T = 10 \lg (N_T k T_0 \Pi) = 10 \lg N_T + 10 \lg (k T_0) + 10 \lg \Pi$$

При $T_0 = 290 K$, значення $10 \lg (k T_0) = -174$ дБм/Гц. Тоді рівень потужності теплового шуму можна подати рівнянням:

$$p_T = n_T - 174 + 10 \lg \Pi_{\text{kHz}},$$

де $n_T = 10 \lg N_T$,

Π_{kHz} - значення Π , в кілогерцах.

Для стандарту WiMAX ефективна ширина шумової смуги приймача визначається шириною смуги каналу зв'язку Δf_k і становить $\Pi_{\text{kHz}} = 5000 \text{ kHz}$.

Типове значення коефіцієнта шуму приймача стандарту WiMAX $n_T = 5$ дБ для станції клієнта (СК) [6]. Тоді для випадку СК рівень потужності теплового шуму приймача:

$$p_T = 5 - 174 + 10 \lg 5000 = -132 \text{ дБ}.$$

Мінімально допустимий рівень потужності радіосигналу на вході приймача можна подати виразом:

$$p_C = p_T + q_{\text{CШ}}.$$

Відношення енергії біта інформації до спектральної щільності шуму для СК, що гранично необхідне для забезпечення якісної передачі даних стандарту WiMAX, складає $q_{\text{CШ}} = 2 \text{ дБ}$.

Тому мінімально допустимий рівень потужності радіосигналу на вході приймача СК:

$$p_{\text{ССК}} = -132 + 2 = -130 \text{ дБ}.$$

Тобто порогова чутливість приймача СК повинна бути не менше ніж $p_{\text{ССК}} = -100 \text{ дБм}$.

Типове значення коефіцієнта шуму приймача базової станції (БС) стандарту WiMAX та $n_T = 8$ дБ [6]. Тоді для випадку БС рівень потужності теплового шуму приймача:

$$p_T = 8 - 174 + 10 \lg 5000 = -129 \text{ дБ} .$$

Відношення енергії біта інформації до спектральної щільності шуму для БС, гранично необхідне для забезпечення якісної передачі даних стандарту WiMAX, складає $q_{CШ} = 1$ дБ. Отже мінімально допустимий рівень потужності радіосигналу на вході приймача БС:

$$p_{CБС} = -129 + 1 = -128 \text{ дБ}.$$

Тобто порогова чутливість приймача БС повинна бути не менше ніж $p_{CБС} = -98 \text{ дБм}$.

Розрахуємо коефіцієнт підсилення антени та потужність передавача станції клієнта. Рівень потужності передавача СК, з врахуванням втрат сигналу в радіолінії, можна подати наступним чином:

$$P_{MC} = p_{CБС} - G_{СК} - G_{БС} + L_{ВТР}, \quad (3.10)$$

де $p_{CБС}$ - порогова чутливість приймача БС;

$G_{СК}$ - коефіцієнт підсилення антени СК;

$G_{БС}$ - коефіцієнт підсилення антени БС;

$L_{ВТР}$ - сумарні втрати сигналу в радіолінії.

Для оцінки втрат $L_{ВТР}$ в стільниковій системі зв'язку будемо використовувати Модель Ергцега-Грінштайна, що розроблена для оцінювання значення допустимих втрат для системи WiMAX у діапазоні частот 2,...,4 ГГц для випадку рельєфу місцевості, що відповідає щільній забудові[8]:

$$L = L_{FSL} + 10\gamma \cdot \lg\left(\frac{R}{d_0}\right) + X_f + X_h ,$$

де L – максимально допустимі втрати в радіолінії;

L_{FSL} – втрати у вільному просторі для базової відстані $d_0 = 0,1$ км;

γ – експонента втрат;

R – радіус стільника, км;

X_f – корегувальний коефіцієнт для частоти;

X_h – корегувальний коефіцієнт для висоти МС.

Експоненту втрат (γ) визначають за виразом:

$$\gamma = a - b \cdot h_{BC} + \frac{C}{h_{BC}},$$

де a , b , c – константи, що залежать від типу рельєфу місцевості та наведені в табл.1.5.

Таблиця 1.5 - Значення констант відповідно місцевості

	Тип А	Тип Б	Тип С
a	4.6	4	3.6
b	0.007	0.007	0.0065
c	12.6	17.1	20

Тип А – місто (щільна міська забудова), тип В – передмістя (місто з будівлями нижче 5 поверхів), тип С – відкрита сільська місцевість[6].

Так як в Андрюшівському районі переважно сільська місцевість обираємо значення для констант з таблиці Тип С. Згідно вихідним даним таблиці 3.2 $a = 3.6$, $b = 0.0065$, $C = 20$,

Висоту підйому антени приймаємо $h_{BC}=30$ м, тоді отримуємо наступне значення експоненти

$$\gamma = 3.6 - 0.0065 \cdot 30 + \frac{20}{30} = 4,4.$$

Корегувальний коефіцієнт для частоти розраховуємо за формулою:

$$X_f = 6 \cdot \lg \left(\frac{f_{\text{МГц}}}{2000} \right); \quad (3.11)$$

Згідно вихідним даним на проектування $f_{\text{МГц}}=3500\text{МГц}$.

Розрахунок згідно (3.11)

$$X_f = 6 \cdot \lg \left(\frac{3500}{2000} \right) = 1.46.$$

Корегувальний коефіцієнт для висоти МС визначають за виразом:

$$X_h = -20 \cdot \lg \left(\frac{h_{\text{МС}}}{2} \right), \quad (3.12)$$

де $h_{\text{МС}}$ -висота підвісу антени користувацького обладнання – приймаємо $h_{\text{МС}}=3\text{м}$.

Розрахунок згідно (3.12)

$$X_h = -20 \cdot \lg \left(\frac{h_{\text{МС}}}{2} \right) = -1.9.$$

Зі зростанням відстані (радіуса сфери) площа поверхні сфери збільшується, а щільність електромагнітної енергії, яка припадає на одиницю поверхні, зменшується.

Такі втрати визначаються за формулою [8]:

$$L_{\text{FSL}} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2}, \quad (3.13)$$

де $d=0,1\text{км}$ — відстань між передавальною і приймальною антенами. Найчастіше це відношення потужностей виражають в децибелах згідно (3.13)

$$L_{\text{FSL}} = \frac{(4 \cdot 3.14 \cdot 100)^2}{0.085^2} = (4 \cdot \pi \cdot 100 / 0.085)^2 = 83,3 \text{дБ}.$$

Отже для подальших розрахунків будемо вважати, що сумарні втрати сигналу в радіолінії на відстані 7км:

$$L = 83.3 + 10 \cdot 4.4 \cdot \log \left(\frac{7}{0.1} \right) + (1.46) + (-1.9) = 160,5 \text{ дБ}.$$

Отже для подальших розрахунків будемо вважати, що сумарні втрати сигналу в радіолінії $L_{BTP} = 160,5 \text{ дБ}$.

Згідно завдання передбачається використання у стільнику шести секторів, тобто БС буде мати шість антен, діаграми спрямованості (ДС) яких мають ширину за рівнем половинної потужності 60^0 . Антенною такого типу є, наприклад, антена БС «Mti Wireless Edge LTD MT-404005/H 60» [9], яка має коефіцієнт підсилення антени $G_{BC} = 16,5 \text{ дБі}$.

Розрахуємо коефіцієнт підсилення антени станції клієнта, при умові, що базова станція використовує обладнання типу "BreezeMAX Macro Indoor" с потужністю випромінювання передавача 34дБм[10].

Тоді коефіцієнт підсилення антени станції клієнтів:

$$G_{CK} = P_{CCK} - P_{BC} - G_{BC} + L_{BTP} = -130 - 4 - 16,5 + 160,5 = 10 \text{ дБі}.$$

В даному випадку у якості антени станції клієнта може бути використана спрямована антена с коефіцієнт підсилення не менше 10дБі. У якості такої антени можливо застосувати, наприклад, антену типу ВРА 33.3400.12, яка працює у діапазоні частот 3,4,...,3,6 ГГц і має коефіцієнт підсилення $G_{CK} = 12 \text{ дБі}$. Розрахуємо потужність передавача станції клієнта згідно (3.10):

$$P_{CK} = P_{CБC} - G_{CK} - G_{BC} + L_{BTP} = -98 - 12 - 16,5 + 160,5 = 34 \text{ дБм}.$$

Тому станція клієнта повинна мати передавач с рівнем потужності 34дБм.

Таким чином, за результатами проектування було визначено, що мережа бездротового зв'язку стандарту WiMAX у Андрушівському районі Житомирської області буде складатися з сіми стільників з радіусом 7,3 км. Отримані у процесі проектування технічні характеристики базових станцій є

достатніми для забезпечення якісної передачі цифрових даних інтернет- зв'язку в мережі бездротового зв'язку стандарту WiMAX.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ

2.1 Поняття широкосмугового доступу

Широкосмуговий зв'язок – ланка, якої не вистачає на шляху до загальної доступної освіти.

Новий звіт Комісії ООН з питань широкосмугового зв'язку фокусується на стратегії використання високошвидкісних мереж з метою реалізації «Освіти для всіх».

Широкосмуговий доступ до Інтернету – доступ до Інтернету з великою швидкістю (зазвичай широкосмуговий доступ протиставляється комутованому доступу з використанням модему і телефонної мережі загального користування). Широкосмуговий зв'язок володіє безпрецедентним потенціалом. Згідно з нещодавно опублікованим звітом Комісії ООН з питань широкосмугового зв'язку, він сприяє скороченню нерівності в освіті, перетворенню процесу навчання і вдосконалення навичок, необхідних в умовах глобалізації економіки, при тому що доступність до неї забезпечується урядами. Крім того, широкосмуговий зв'язок дає можливість викладачам і студентам використовувати нові технології, полегшує публікацію матеріалів на місцевих мовах і сприяє створенню та поширенню відкритих освітніх ресурсів.

Оглядовий звіт Комісії ООН з питань широкосмугового зв'язку присвячений розвитку цифрових технологій і має назву «Технології та широкосмуговий зв'язок: на шляху до Освіти для всіх». Звіт містить аналіз того, як розширення доступу до високошвидкісних технологій з використанням стаціонарних і мобільних платформ допомагає вчителям і студентам у всьому світі користуватися перевагами такого зв'язку як у своїх власних інтересах, так і в інтересах місцевих громад.

Доповідь була представлена на відкритті Всесвітньої зустрічі на вищому рівні з питань інформаційного суспільства «ВВІО +10», яка відбулася у лютому в штаб-квартирі ЮНЕСКО в Парижі.

У доповіді Комісії, що працює під патронажем ЮНЕСКО, підкреслюється важлива роль використання широкосмугового зв'язку як засобу прискорення руху до загальної початкової освіти – однієї з Цілей розвитку тисячоліття і завдання програми «Освіта для всіх». Незважаючи на те, що до терміну досягнення цих цілей залишилося менше трьох років, 60 млн. дітей молодшого шкільного віку та 70 млн. дітей віку нижчого ступеня середньої освіти все ще не відвідують школу.

За оцінками, для досягнення цілей загальної початкової освіти необхідно додатково 1,7 млн вчителів. Крім того, у світі нараховується майже 793 млн неписьменних дорослих, 64% з яких складають жінки. Найвищий рівень неписьменності відзначається в країнах Африки на південь від Сахари, а також у Південній і Західній Азії.

«Значних успіхів було досягнуто на шляху до цілей загальної освіти до 2015 року, проте ситуація в багатьох країнах залишається незадовільною», – заявила Ірина Бокова. – «У цьому відношенні «цифровий розрив» продовжує залишатися однією з характерних рис нерівності в розвитку.

Інформаційна революція, що відбувається в наші дні завдяки мобільному зв'язку та Інтернету, відкриває безпрецедентні можливості всім країнам, особливо, країнам, що розвиваються і найменш розвиненим. Ми повинні максимально використовувати потенціал широкосмугового зв'язку для розширення доступу до якісної освіти кожній людині і для розвитку у всіх громадян знань, навичок і цінностей, необхідних для успішного життя і роботи в епоху цифрових технологій».

У доповіді зазначено, що участь у світовій економіці все більше залежить від уміння орієнтуватися в «цифровому світі». Проте автори доповіді з занепокоєнням відзначають, що традиційні навчальні програми досі спрямовані скоріше на накопичення знань, ніж на їх практичне застосування, і не здатні

прищепити учням навички у сфері ІКТ, необхідні для успішного працевлаштування в умовах економіки, заснованої на знаннях.

«Неможливо заперечувати здатність широкосмугового зв'язку підвищувати якість освіти і покращувати навчальний процес», – вважає Генеральний секретар Міжнародної спілки електрозв'язку Хамадун Туре. – «Якісна та різностороння освіта є основою майбутнього добробуту і благополуччя сімей.

Освіта розширює не тільки кругозір, але й перспективи працевлаштування. В даний час в учнів країн, що розвиваються, є можливість отримати доступ до бібліотек передових університетів у будь-якій точці світу, безробітні можуть отримати навички та можливість працевлаштування в нових областях, вчителі можуть використовувати для планування своїх занять поради, матеріали та досвід інших педагогів. Кожне з цих досягнень віртуального світу сприяє успіхам реального світу в освіті, розвитку діалогу і встановленню взаєморозуміння між народами.

Незважаючи на швидке розширення доступу до послуг стаціонарного та мобільного широкосмугового зв'язку, «цифровий розрив» залишається значним. За оцінками Міжнародної спілки електрозв'язку, на кінець 2012 року доступ до Інтернету мали близько 2,5 мільярдів осіб, проте в країнах, що розвиваються Інтернет-користувачі становили лише чверть населення. У найменш розвинених країнах їх частка ще нижче – всього 6%.

Дані останнього звіту МСЕ «Вимірювання інформаційного суспільства» свідчать про значну нерівність на світовому та регіональному рівні у відношенні як рівня розвитку ІКТ, так і щомісячної вартості доступу до широкосмугового зв'язку, яка в 17 країнах досі перевищує середню місячну зарплату.

Згідно зі звітом, до 2009 року в країнах ОЕСР 93% школярів у віці 15 років мали доступ до комп'ютерів та Інтернету в співвідношенні 8 учнів на 1 комп'ютер. Однак у країнах, що розвиваються доступ до ІКТ як і раніше залишається великою проблемою. Так, за даними дослідження, проведеного в Кенії і опублікованого в 2010 році, тільки 3% шкіл мали доступ до Інтернету, а в

більшості африканських країн у розрахунку на 1 комп'ютер припадає в середньому 150 школярів.

У той час як у багатьох країнах основну частку високошвидкісного Інтернету забезпечує стаціонарний широкосмуговий зв'язок, найбільш швидке зростання спостерігається у сфері послуг мобільного широкосмугового зв'язку. За даними МСЕ, в 2011 році темп зростання послуг мобільного широкосмугового зв'язку склав 40% по всьому світу і 78% в країнах, що розвиваються, де такий зв'язок найчастіше є єдино можливим способом підключитися до Інтернету.

Рекомендації в сфері політики

Звіт Комісії ООН з питань цифрових технологій для розвитку широкосмугового зв'язку формулює ряд стратегій, яких уряди та органи керівництва освітою, особливо в країнах, що розвиваються, повинні дотримуватися для найбільш ефективного використання ІКТ:

- Розширювати доступ до ІКТ та широкосмугового зв'язку.

Керівні органи покликані впроваджувати міжсекторальну політику, спрямовану на забезпечення недорогого та справедливого доступу до ІКТ та широкосмугового зв'язку для всіх громадян, зокрема, для жінок та дівчаток з маргіналізованих груп населення.

- Використовувати ІКТ при професійній підготовці та безперервній освіті.

Беручи до уваги швидкий темп технічного прогресу і такі проблеми, як високе безробіття серед молоді, уряди повинні передбачати фінансове стимулювання з метою впровадження ІКТ та широкосмугового зв'язку в усі види діяльності для створення нових робочих місць та здійснення безперервної професійної підготовки.

- Прививати навички в сфері ІКТ і домагатися «цифрової грамотності» у всіх викладачів та учнів.

Уряди повинні поставити перетворення системи освіти з метою її адаптації до «цифрової революції» на перше місце. Розвиток у викладачів та учнів навичок ефективного використання ІКТ є ключовим фактором вдосконалення освіти та оцінки результатів навчання.

– Сприяти навчанню з використанням мобільного зв'язку і відкритих освітніх ресурсів.

Керівним органам слід розробити систему заохочень, що сприяють поширенню відкритих освітніх ресурсів. Крім того, використання мобільного зв'язку має заохочуватися на будь-якому рівні і при будь-якій формі освіти з метою полегшення доступу до високоякісної освіти.

– Підтримувати розвиток освітніх матеріалів, адаптованих до місцевих умов і мов.

Простого встановлення ІКТ-устаткування недостатньо - необхідно також виділити кошти для створення середовища онлайнових освітніх програм та послуг з місцевим змістом і на місцевих мовах.

Скорочувати «цифровий розрив».

Керівним органам рекомендується проводити подальшу роботу щодо скорочення «цифрового розриву» між розвиненими і країнами, що розвиваються шляхом підтримки міжнародного співробітництва та партнерства.

2.2. Загальний стан із поширенням широкосмугового доступу в Україні

На сьогоднішній день послуги ШСД в Україні надаються з застосуванням:

- волоконно-оптичних ліній зв'язку–FTTx;
- мідних ліній зв'язку–xDSL;
- коаксіального (телевізійного) кабелю–DOCSIS;
- супутникових каналів–VSAT;
- бездротового доступу–Wi-Fi, WiMAX, 3G та 4G.

Станом на 2012 рік загальна кількість абонентів широкосмугового доступу до інтернету (корпоративних та приватних) в Україні перевищила 6,5 млн, з яких 5,75 млн – домашні користувачі. З початку II півріччя 2010 року до кінця 2012 року проникнення широкосмугового доступу в домогосподарства України

зросло з 18% до 34%. Станом на 2011 рік структура користування технологіями ШСД в Україні була наступна:

- FTTx–47%;
- xDSL–43%;
- DOCSIS–9%.
- VSAT – 1%.

За даними Державної служби статистики України, проникнення фіксованого доступу рівня ШСД до інтернету в Україні складає 3,558 млн абонентів та становить 7,8% від загальної кількості населення, що за значенням є близьким до розрахунку Міжнародним Союзом Електрозв'язку. Відповідні показники проникнення стали однією з причин зниження місця України у рейтингу МСЕ «Вимірювання інформаційного суспільства 2012», в якому ми змістились з 65 (2011 рік) на 67 місце. Серед причин: – низький рівень проникнення мобільного ШСД – 4,7% від загальної кількості населення (незадовільний розвиток та кількість абонентів мереж 3G та 4G); – низький рівень проникнення фіксованого ШСД – 7,8% відповідно (відсутність зацікавленості провайдерів виходити за межі великих міст, оскільки потрібні великі інвестиції на розбудову інфраструктури та низький рівень прибутку з кожного користувача). На фоні цього Україна ще у 2011 році увійшла в десятку країн, в яких найвища швидкість доступу в інтернет і вперше увійшла до рейтингу абонентів галузевої організації FTTH Council Europe.

Згідно ж із даними Всесвітнього форуму з ширококутових технологій, який пройшов у Парижі у вересні 2012 року, Україна займає 16 місце у світі за розвитком мереж FTTH. Крім того, у 2012 році (порівняно з 2011 роком) спостерігається загальне зростання як кількості абонентів інтернет в цілому (на 885,3 тис. чоловік), так і ШСД зокрема – на 474,1 тис. чоловік. Хоча і ці дані є досить суперечливими, оскільки, за даними тієї ж Державної служби статистики України, у 7 областях та місті Севастополь спостерігається, хоч і не значне, але падіння кількості абонентів ШСД, при чому в деяких з них – суттєве. Кількості показники падіння кількості абонентів ШСД за областями: Дніпропетровська –

12 тис., Полтавська – 16,4 тис., Рівненська – 10,7 тис., Сумська – 20,7 тис., Харківська – 88 тис., Херсонська – 8,8 тис., Хмельницька – 8,1 тис., Севастополь – 13,7 тис. 60.

Дані про загальне зростання кількості абонентів ШСД та пришвидшення розвитку технологій ШСД в Україні підтверджуються і тими заходами, які здійснювали компанії сфери телекомунікацій у 2012 році. Особливу активність на цьому ринку почали проявляти вітчизняні національні оператори зв'язку. Більшість з них («МТС», «Київстар», «Укртелеком»)¹¹⁸ поступово або переходять на оптичне волокно, або декларують подібні прагнення. Так «Київстар», що активно розбудовував власну ШСД мережу в 2010-2011 рр., 2012 рік присвятив її розвитку: поліпшенню якості послуг, наданню нових сервісів, популяризації послуг ШСД серед потенційних абонентів. У 2012 році побудову власної оптичної мережі розпочав і «МТС», який на початку 2012 року запустив у комерційну експлуатацію першу частину мережі у декількох районах Києва. «Укртелеком», хоч і продовжує надавати послуги ШСД передусім у форматі xDSL, однак розглядає можливість переходу на технології GPON/FTTH. GPON/FTTx вважають найбільш перспективними технологіями і фахівці НКРЗІ¹¹⁹. На їх думку, перспективними, економічно прийнятними напрямками розвитку фіксованих телекомунікаційних мереж залишається будівництво сучасних волоконно-оптичних ліній зв'язку з використанням технологій DWDM і CWDM, пакетного передавання на рівні транспортної мережі, а також розвиток мереж ШСД з використанням оптичних ліній з технологіями FTTx (в тому числі пасивними, PON) та радіотехнологій – як технологій доступу для останніх метрів у місцях високої концентрації користувачів (Wi-Fi), а також фіксованих рішень WiMAX (в перспективі – LTE) – у важкодоступних регіонах, або у випадках, де їх розгортання швидше й дешевше в порівнянні із дротовими лініями. Аналогічні тенденції у своєму листі описують і фахівці «Укртелеком», зазначаючи, що на період до 2017 року на телекомунікаційних мережах.

З всіх листів, які надійшли на запити НІСД від Київстар, МТС та Укртелеком лише Київстар не виділив GPON/FTTx в якості найперспективніших

технологій ШСД для України, обмежившись лише 3 та 4G. Застосовуватимуться технології xDSL, outdoor WiFi, WiMax, FTTx, LTE, а з 2020 по 2025 рік перевагу отримають технології FTTH, 4G та 5G. За оцінкою iKS-Consulting, обсяг доходів від послуг широкосмугового доступу до інтернету (ШСД) в Україні в 3-му кварталі 2012 року, в порівнянні з аналогічним періодом 2011 року, виріс на 13,7% і склав майже 1,37 млрд грн (без ПДВ). Інші дані наводить НКРЗІ: обсяги доходів від надання послуг широкосмугового (комп'ютерного) зв'язку у 2012 році в порівнянні з аналогічним періодом минулого року збільшились на 226,8 млн грн і становлять 4180,8 млн грн, їх питома вага в загальному обсязі доходів сфери телекомунікацій склала 8,7%. В цьому контексті цікавим є той факт, що у «The Global Information Technology Report 2013» підготовленому фахівцями Світового економічного форуму¹²³, Україна займає 6-у позицію з 144 за показником тарифів на ШСД. З відкритих джерел наразі складно встановити ступінь реальної охопленості міст за технологією FTTx, оскільки аналогічна інформація збирається не системно. За даними керівництва НКРЗІ, станом на початок 2012 року «в Україні є більше 28 тисяч населених пунктів, але оптоволоконні мережі підведені лише до 1,2 тис.», що становить лише 4% від загальної кількості міст. Можна припустити, що протягом 2012 року ця цифра якщо і зросла, то не суттєво, оскільки значна частина таких міст не є пріоритетом для приватних компаній, що діють на ринку телекомунікаційних послуг.

Кажучи про ситуацію із ШСД на важливих соціальних об'єктах, то варто констатувати таке. З більш ніж 20 тис. шкіл – 13 тис. (тобто 70%) підключені до мережі інтернет на швидкості від 256 Кбіт/с ¹²⁵, що можна вважати ШСД лише досить умовно. Проблема посилюється тим, що не всі заклади освіти 1-3 рівнів акредитації взагалі мають відповідну комп'ютерну техніку – за даними НКРЗІ рівень забезпеченості загальноосвітніх навчальних закладів I-III ступенів навчальними комп'ютерними комплексами становить 87,2% (міських – до 91%, сільських – до 73%). Ця ситуація ускладнюється і загальним станом економічного розвитку: згідно з результатів соціологічних досліджень, для значної кількості українських родин (до 75%) ціна на персональний комп'ютер

вища за 2000 гривень вже є вищою за прийнятну. Низький рівень проникнення доступності мережі інтернет і в закладах медичної сфери. Станом на 2012 рік було підключено 6 обласних лікарень та 5 провідних закладів охорони здоров'я, хоча в планах до кінця 2012 року було підключення як мінімум всіх обласних лікарень.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ БЕЗДРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ WIMAX У ПОРІВНЯННІ З WIFI

3.1. Дослідження мережі бездротового зв'язку стандарту WIMAX у порівнянні з WIFI

WiFi — це технологія бездротової мережі, яка базується на IP-адресації. Завдяки високій пропускній здатності має варіанти зв'язку переважно на невеликих відстанях. Як результат, він в основному використовується для бездротового зв'язку малого діапазону, який визначається як бездротова локальна мережа для задоволення вимоги різних бездротових користувачів.

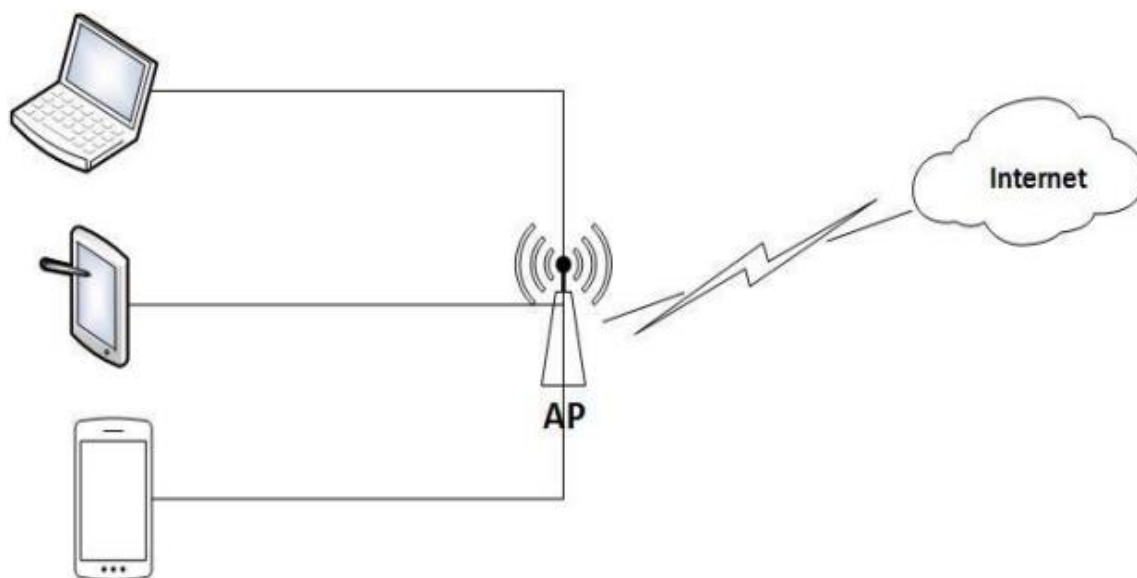


Рисунок 3.1. Розгортання мережі WiFi

Просте розгортання WLAN здійснюється через точку доступу або маршрутизатор для доступу до Інтернету. Мобільні кінцеві пристрої можуть отримувати сигнал WiFi від точки доступу або маршрутизатора. Функція точки доступу або маршрутизатора полягає в тому, щоб змінити дротову мережу на бездротову та підтримувати підключення більшої кількості користувачів інтернет. На рис.3.1 показано просте розгортання мережі WiFi за допомогою бездротових пристроїв (ноутбук, планшет і смартфон), формуючи з'єднання з точкою доступу, наче дротові мережі.

Точка доступу завжди повинна бути частиною існуючої локальної мережі, через яку вона може підключатися до Інтернету, забезпечуючи таким чином підключення вузла до Інтернету.

На рис.3.2 показано сумісну мережу стільникового зв'язку, WiMAX і WiFi. Стільниковим технологіям (наприклад, 3G, оскільки 4G зараз не настільки добре охоплено) бракує пропускної здатності мережі WiFi, але має кращу мобільність, тоді як WiFi має кращу пропускну здатність із меншою мобільністю.

Основні недоліки технології WiFi, коли передбачається велике бездротове покриття:

(1) Характеристики WiFi визначають, що точки доступу повинні мати власні канали в зоні або в ній спричинить перешкоди. Серед багатьох операторів білінг і роумінг стали обмеженнями фактор розвитку.

(2) Через невелике обмеження відстані передачі кожна точка доступу WiFi стає мережею острів. Тому важко охопити все місто.

(3) Він не може використовуватися сам по собі з високошвидкісним транспортним засобом, таким як метро, залізниця або система автобусного транспорту. Таким чином, мережа не зможе по-справжньому підтримати мрію про мобільне місто.

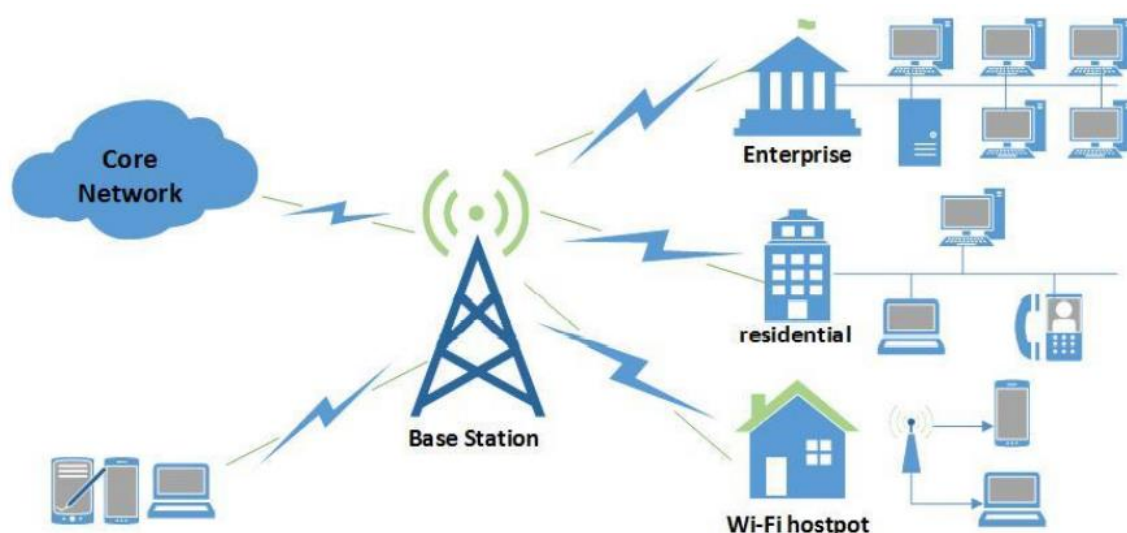


Рисунок 3.2. Бездротове співіснування (WiFi, WiMAX і 2G/3G)

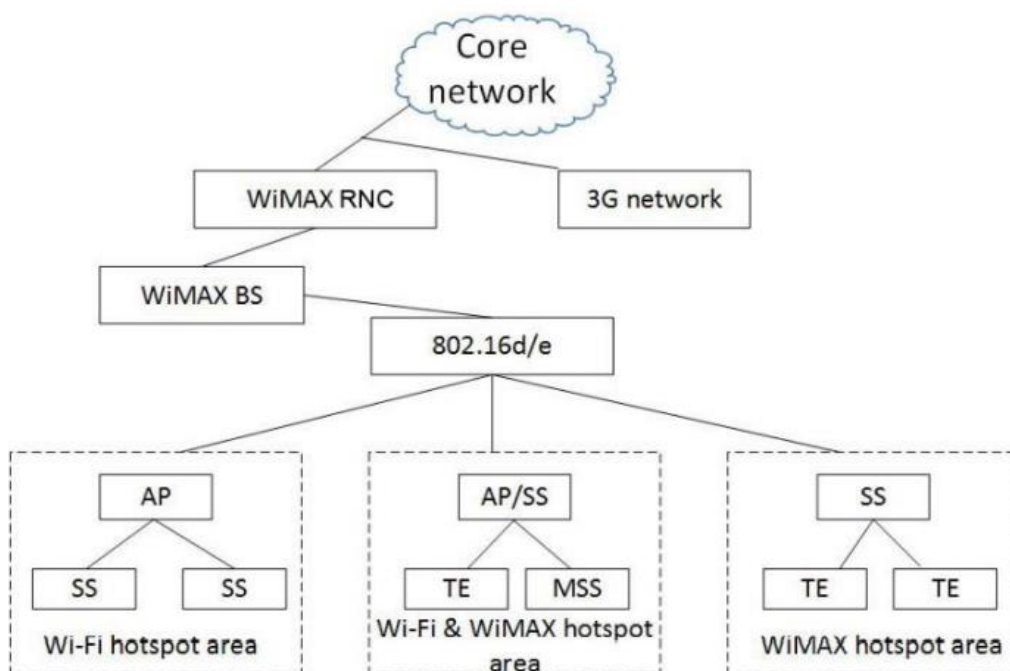


Рисунок 3.3 - Гібридна мережа (WiFi і WiMAX)

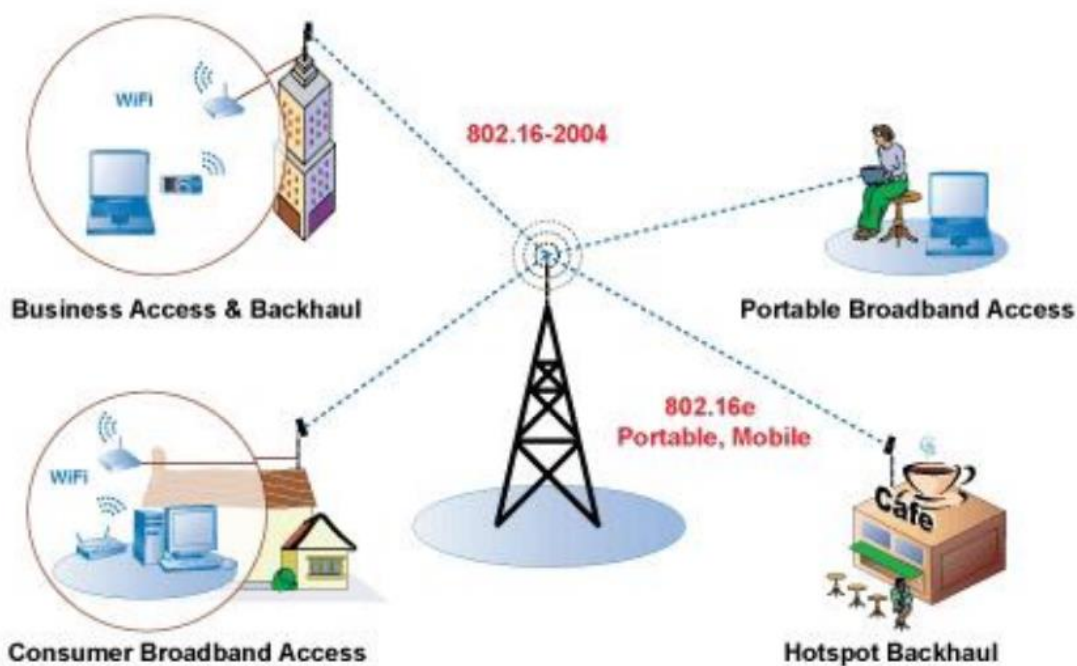


Рисунок 3.4 - Мережа WiMAX (Шаббір Ахмед, 2014)

Найконструктивніший підхід полягає в тому, що WiMAX і WiFi є найсильнішими при роботі спільно. Тому багаторежимні карти (для багаторежимних пристроїв) зроблять революційний досвід користувача точки доступу в роумінгу. Крім того, технології співіснуюватимуть у творчий спосіб (Marzuki and Baba, 2011). Співіснування WiMAX і WiFi може вирішити

обговорювані проблеми WiFi, як на рис. 3.3. Розвиток WiMAX і WiFi є додатковим трендом. Останнім часом вони співіснували один з одним і добре координувалися з технологією 3G.

Спільна мережа WiMAX, WiFi і 3G використовує уніфіковану платформу керування для спільного використання інформації даних користувачів. Тим часом продуктивність існуючих мереж може бути значно покращена.

WiMAX (див. рис.3.4) розгортався в три етапи. Перший етап – використання внутрішнього приміщення антена для розгортання стандартної технології WiMAX IEEE802.16d. Цільовий користувач відомий, абонент у фіксованому місці. Другий етап має розгорнути значні кімнатні антени.

Технологія WiMAX розширить привабливість для операторів, які прагнуть спростити установку точок користувача.

На третьому етапі запускається стандарт IEEE802.16e. Сертифікація WiMAX апаратне забезпечення цього стандарту використовуватиметься в портативному рішенні для тих користувачів, які хочуть переміщатися в зони обслуговування, яка підтримує подібні до сьогоденішніх можливостей WiFi, але з більшою стійкістю та стабільністю підключення.

Якщо проаналізувати продуктивність WiMAX з голосовим зв'язком, то результати показують, що чим вища базова частота, тим вище співвідношення сигнал/шум, що забезпечує високу пропускну здатність і низьку затримку між кінцевими пакетами. WiMAX Очікується, що системи надаватимуть послуги широкосмугового доступу для житлових і корпоративних установ клієнтів економним способом.

Залишаючи осторонь стільникові мережі, практичним способом створення спільної мережі WiMAX і WiFi є використовувати WiMAX для підключення точок доступу WiFi. Він може забезпечити двоканалний бездротовий зв'язок E1/T1 та IP передачі для WLAN AP і досягнення ширшого діапазону високошвидкісного бездротового доступу. Таким чином, WiFi може збільшити область доступу та надати користувачам кращі послуги передачі даних.

3.2. Дослідження співіснування бездротових мереж

Цей експеримент було проведено із простою топологією, яка включала суміш компонентів WLAN і WiMAX. На рис. 3.5 показана топологія, яка використовується з використанням технології WiMAX як магістральна мережа точки доступу WLAN.

На невеликій території розташовані як базова станція WiMAX (BS), так і точка доступу (AP) WLAN-WiMAX присутні. Вузли WLAN (клієнти) ліворуч підключаються до серверів мережі за допомогою WiMAX з'єднання.

Деякі з параметрів моделювання WiMAX такі:

Antenna Gain	14 to 15 dBi
Maximum Transmission Power	0.5 to 3W
Receiver Sensitivity	-200 dBm
Maximum number of nodes	100
PHY Profile/Characteristics	OFDM

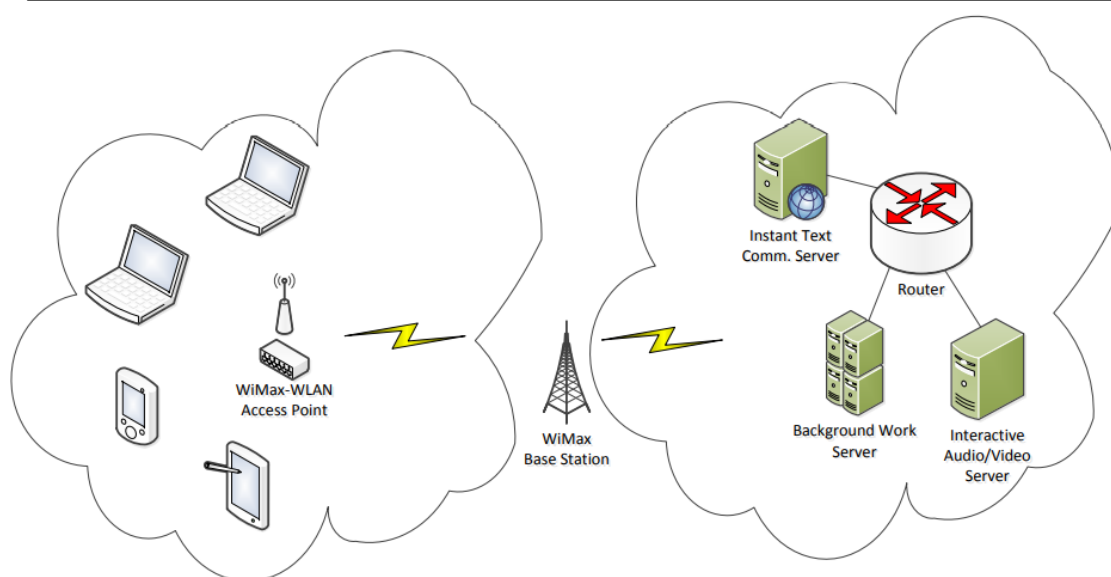


Рисунок 3.5 - Бездротова (WLAN-WiMAX) топологія співіснування

Нижче наведено деякі з параметрів моделювання WiFi:

Data Rate	11 – 54 Mbps
Packet reception Power Threshold	-95 dBm
CTS-to-self option	enabled
AP Beacon Interval	0.02 sec
PHY Profile/Characteristics	Direct Sequence
Large packet processing	drop

Симуляція тривала 30 хвилин (1800 секунд). Мережі використовували RIP для маршрутизації. Вимірюючи трафік на стороні клієнта та сервера. На рисунках 7, 8 і 9 показано отриманий трафік користувачами бездротового зв'язку, який містить сервер фонові роботи, сервер миттєвого текстового зв'язку і інтерактивний аудіо/відео сервер. Час представлено на осі абсцис графіків у секундах.

Деякі спостереження, які було зроблено, такі: перший графік на малюнку 7 показує робочий сервер надсилання стабільного трафіку (для фонових процесів) зі швидкістю приблизно 80–100 байт на секунду, тобто отримані користувачем з деякими втратами. Однак тенденції цифр 8 і 9 сильно відрізняються від малюнок 7. Вони показують непостійний і зростаючий трафік; максимальні значення миттєвого тексту, комунікаційний сервер та інтерактивний аудіо/відеосервер мають швидкість 90 байт/с і 90 000 байт/с відповідно. Трафік також залежить від трансляцій WiFi і WiMAX. Бездротові користувачі можуть підключатися до магістральної мережі за допомогою WiMAX BS і точки доступу WLAN.

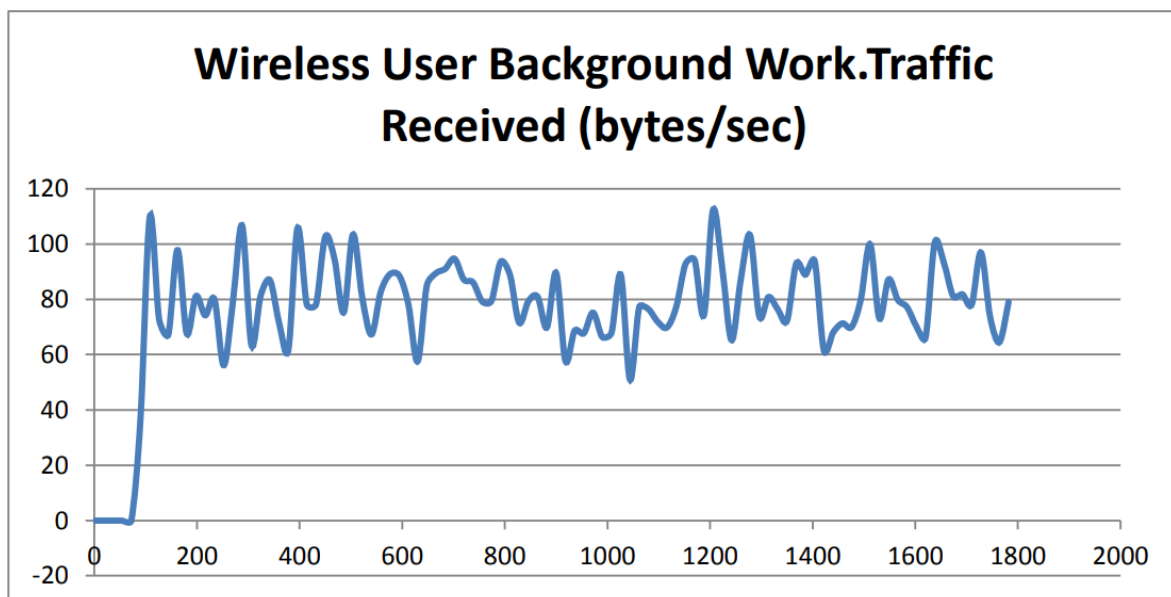


Рисунок 3.6 - Фоновий робочий трафік бездротового користувача

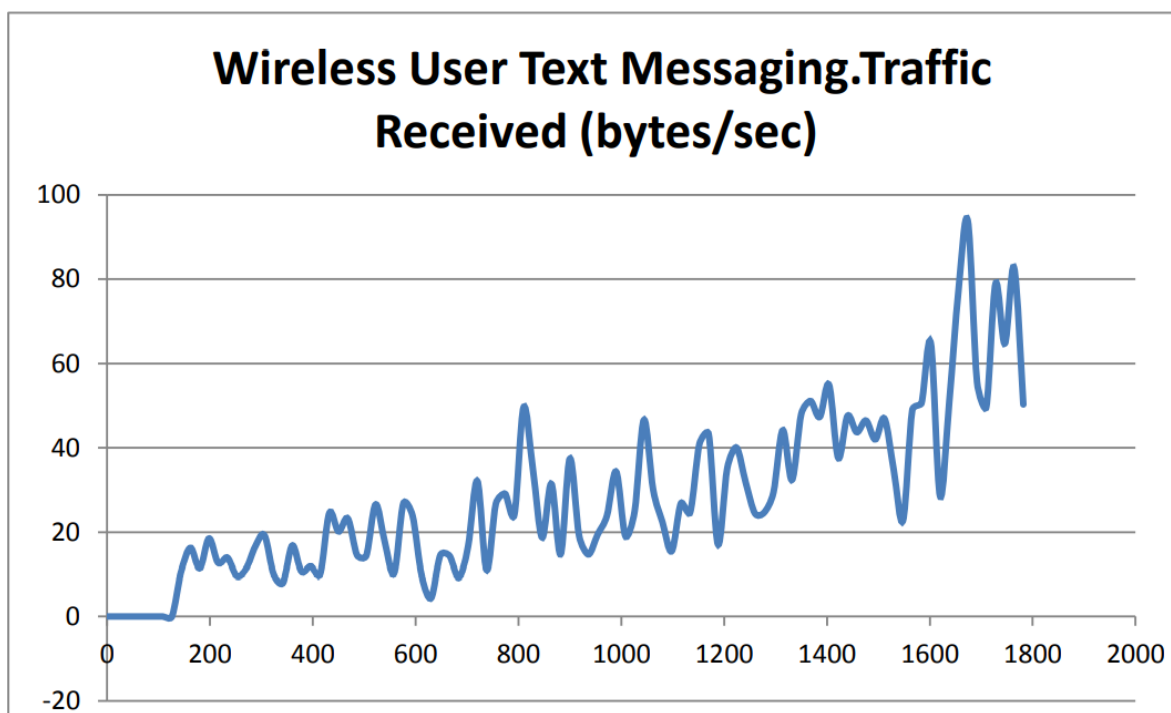


Рисунок 3.7 - Миттєвий текстовий трафік бездротового користувача

На рис. 3.9 пропускна здатність WLAN і WiMAX дала однаковий результат, виміряний на обох сторонах точки доступу WiMAX-WiFi. Для них обох виміряний трафік генерується з інтерактивним аудіо/відео сервер, і результат виглядає цілком розумно.

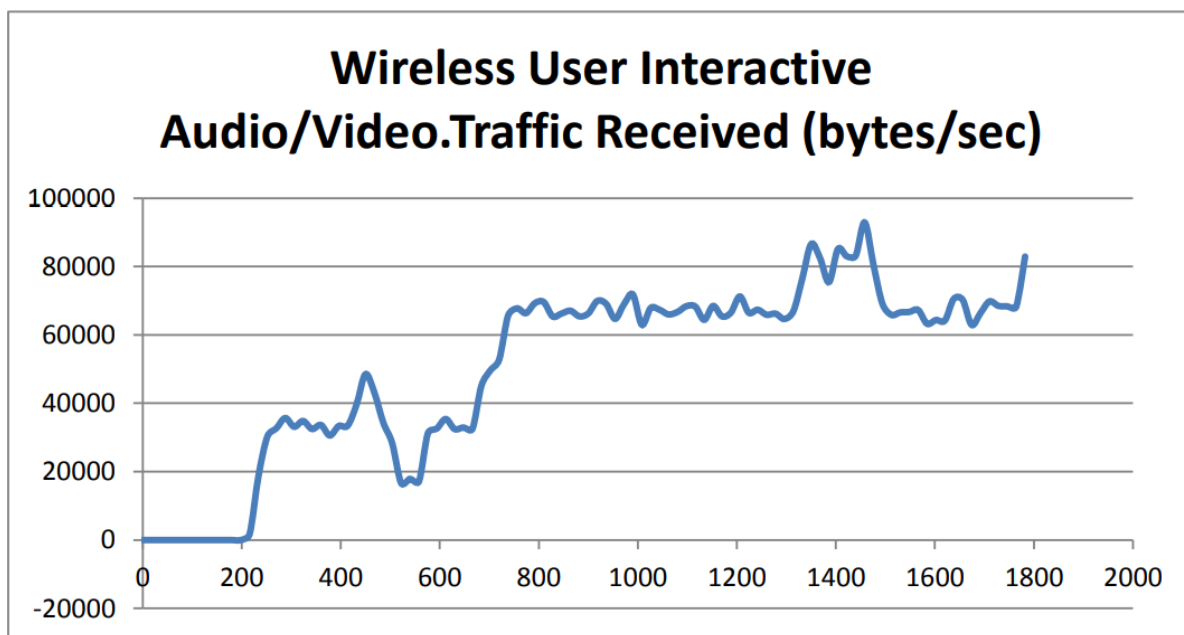


Рисунок 3.8 - Бездротовий інтерактивний аудіо/відео трафік

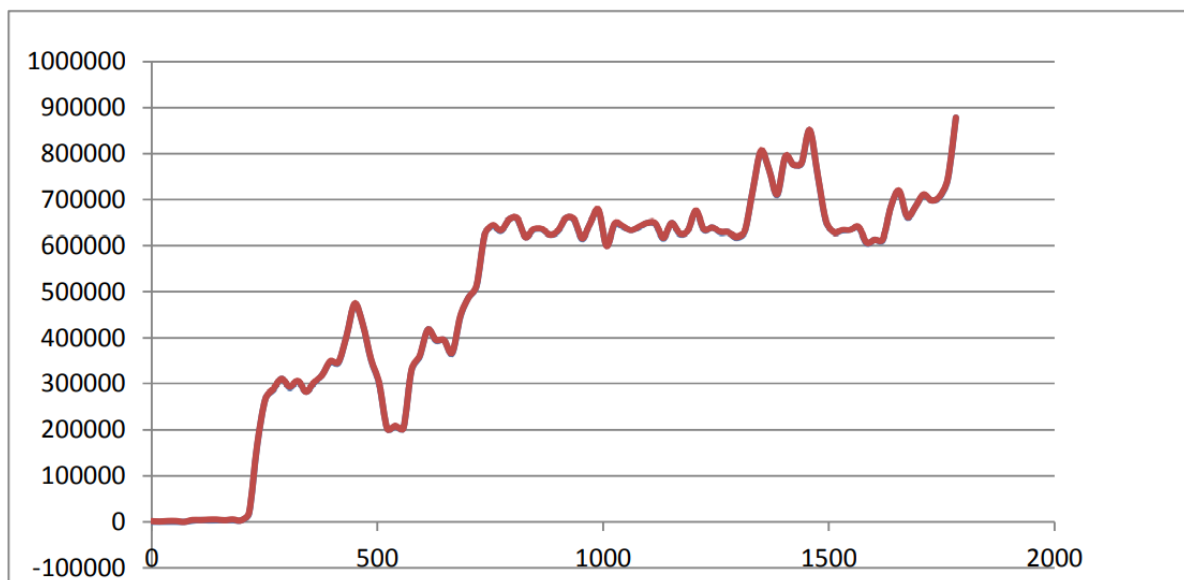


Рисунок 3.9 - Пропускна здатність WLAN і WiMAX (біт/с)

На рис. 3.10 і 3.11 час затримки трафіку WiMAX на сервері довший, ніж у WLAN клієнтська сторона. Затримка WLAN менша на стороні клієнта з меншим навантаженням на них, але це так трохи вище на серверах WiMAX з більшим навантаженням на них. WiMAX має тенденцію продуктивності трохи нижча, ніж WLAN, коли йдеться про затримку або затримку. Середнє значення WiMAX становить 0,05 секунди, а максимум WLAN – приблизно 0,0017 секунди.

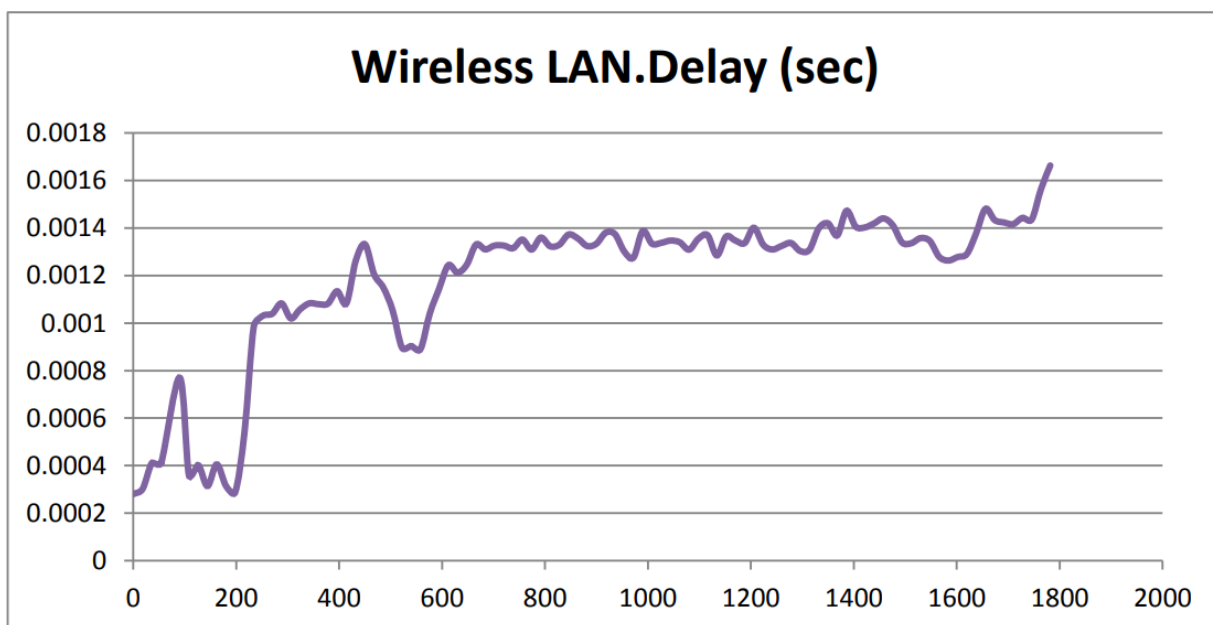


Рисунок 3.10 - Середня затримка WLAN на стороні клієнта

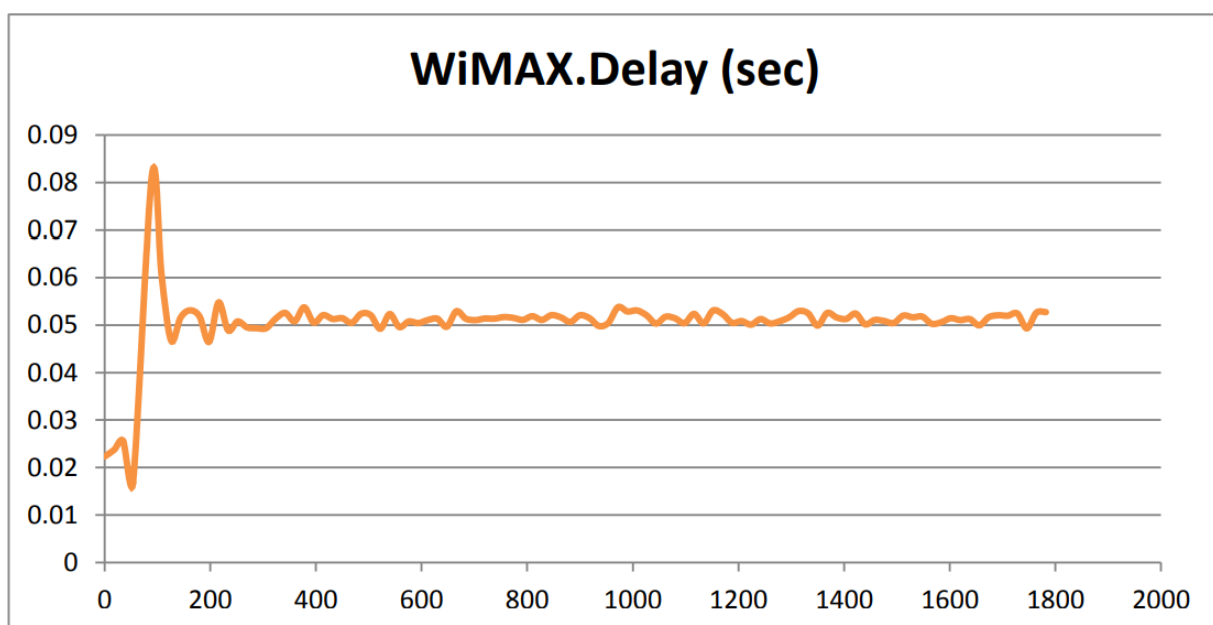


Рисунок 3.11 - Середня затримка WiMAX на стороні сервера

3.3. Аналіз поточного стану бездротових мереж

Оскільки з'являється все більше і більше обладнання, яке підтримує 802.11ac, постачальники знижують вартість 2x2 точки доступу (AP) 802.11ac. Таким чином, рівень впровадження 802.11ac AP буде продовжувати зростати.

Хмарні рішення для керування Wi-Fi та послуг поширюватимуться на МСП (малі та середні підприємства), щоб надавати більше послуг для технологій компаній. Аналіз розташування на основі WiFi у кожній організації

відіграватиме дедалі важливішу роль, допомагаючи їм розвивати бізнес аналізу розвідувальних даних, визначення політики безпеки та покращення WiFi клієнта/користувача досвід. Аналіз асоціації точки даних клієнта (розташування, додаток, пристрій тип, тенденції тощо) є особливо важливим. Рішення BYOD (Bring Your Own Device) і популярність, і тенденція інтеграції керування пристроями продовжуватимуть розширюватися. Як сертифікований Passpoint і готовий вийти на ринок смартфонів, Hotspot 2.0 буде служити інший шлях до підприємства, що забезпечує доступ до Wi-Fi. За допомогою соціальних мереж (Facebook, Google+), як облікові дані користувача для входу, Wi-Fi поширить охоплення мережі різних організацій і може забезпечити гостьовий доступ.

У майбутньому масштабні роумінгові альянси Hotspot 2.0 можуть бути створені автоматично та безпечно підключення до мережі WiFi, яка складається з мільйонів точок доступу та тисяч роумінгу партнерів. Ці партнери включатимуть велику кількість громадських місць, які мають Wi-Fi у приміщеннях розгортання. Компанії продовжують шукати постачальників послуг WiFi для вирішення багатьох проблем, таких як складність мережі, нові послуги та відсутність технологій для багатьох IT організацій.

Послуги локації принесуть можливість прибутку для підприємств, які надають послуги хостингу. Завдяки технологіям 802.11r і 802.11k безперебійно впроваджуйте мобільні пристрої та точки доступу

Перемикач WiFi здійсниться. Навіть якщо користувач входить в іншу зону покриття, смартфон це робить не потрібно залежати від відповідного AP. За допомогою безперебійного перемикачання Wi-Fi його досвід є порівнянею з послугами стільникового зв'язку. Система керування Wi-Fi операторського рівня починає надолужувати згаяне з мережевою інфраструктурою WiFi операторського рівня.

Майбутній розвиток WiFi. Альянс бездротового широкосмугового зв'язку (WBA, галузева асоціація, спрямована на просування наступного покоління WiFi) в опублікованій доповіді зазначив, що до 2015 року кількість глобальних публічних точки доступу WiFi зростуть на 350%. Ця цифра навіть не

включає «громадські точки доступу» і кілька користувачів спільно використовують точку доступу WiFi, тоді як ця цифра досягає 4,5 мільйонів.

Очікується, що Китай (China Mobile) і Японія розгорнуть нові гарячі точки (Cheng, 2012), щоб охопити три види місць: відкриті гарячі зони (наприклад, парки), відкриті гарячі зони (наприклад, туристичні пам'ятки) і транспортний вузол (наприклад, аеропорти). Голова WBA, ВТ виконавчий директор Кріс Брюс сказав, що результати опитування показують, що світ ось-ось вступить у «золотий вік громадського Wi-Fi», і очікується, що кількість розгортань точок доступу різко зросте. Це опитування також показало, що більше людей використовують смартфони для підключення до точок доступу WiFi, ніж ноутбуки користувачів. Користувачів ноутбуків наразі менше половини тих, хто має доступ до хот-спотів (48%), у той час як користувачі смартфонів становили 36%, а стаціонарні ПК – 10%.

Оскільки стандарт IEEE 802.11n широко використовується, Wi-Fi здається «більш схожим» на WiMAX який має високу швидкість передачі та широку зону покриття, хоча покриття краще з WiMAX. Ще у 2008 році світова фінансова криза вказала на перспективи розвитку WiMAX, який був одним із міжнародних стандартів 3G.У першому півріччі Nortel оголосила про припинення інвестування в розвиток лінійки продуктів WiMAX. Після цього AlcatelLucent оголосив, що скоротить інвестиції в бізнес WiMAX. Фінансова криза мала вплинути на довіру інвесторів вкладати гроші в мережевих операторів для створення WiMAX.

Незважаючи на те, що оператори багатьох країн отримали ліцензії WiMAX, вони також припинили будівництво. Intel завжди активно підтримувала бездротову технологію WiMAX, але в 2010 році вона оголосила на внутрішній зустрічі офісу програми WiMAX, яка використовувалася для просування технічний розвиток було розформовано. Хоча в минулі роки Intel створила справжній Інтернет, орієнтований на дії, і WiMAX був одним із ключових елементів, він остаточно відмовився від інвестицій через Intel Capital для 30 глобальних постачальників технологій WiMAX і постачальників послуг.

Поточна ситуація з WiMAX. WiMAX може випередити майбутні технології 3G LTE (Long Term Evolution). перемаже конкурсу 4G, оскільки WiMAX був першою новою технологією. Але правда полягає в тому, що WiMAX зазнає краху, тому глобальні оператори зосередяться на створенні LTE.

У 2014 році мережа WiMAX знову зіткнулася зі збоєм. У березні уряд провінції Тайвань мав намір використовувати існуючу смугу WiMAX Business 2600 МГц, щоб звільнити смугу пропускання 190 МГц для оператора торгів. Зараз 2600 МГц використовується для послуг бездротового широкосмугового доступу (WBA), що означає він використовується WiMAX, але термін дії ліцензій оператора WiMAX на спектр закінчується у 2014 та 2015 роках.

Потім оператори WiMAX можуть змінити ліцензії, щоб продовжити роботу з WiMAX послуг, але уряд збільшить ліцензійні збори. Американські перевізники Sprint також оголосила, що компанія планує закрити мережу WiMAX, куплену у Clearwire кінець наступного року. Sprint оголосив у своїй заяві про закриття мережі WiMAX Clearwire а також, і компанія планує розширити розгортання 2,5 ГГц LTE, яке буде проводити технологічне оновлення до приблизно 5000 традиційних базових станцій Clearwire, які, як очікується, будуть завершено до кінця 2015 року. У більшості його діапазонів 800 МГц і 2,5 ГГц буде розгорнуто 4G LTE.

Мережі 4G стають основним вибором глобальних операторів. Деякі раніше розгорнуті оператори мережі WiMAX почали відключати частини мережі або спектр, щоб звільнити ресурси для побудови мереж 4G LTE. Таким чином, LTE починає використовуватися в мобільних телефонах і високошвидкісних стандарти бездротового зв'язку. 6 грудня 2010 року ITU оголосив про LTE Advanced офіційно відомий як 4G.

ВИСНОВКИ

Таким чином, в даній роботі були вирішені наступні основні завдання:

1. Проналізовані мережі WiMAX.
2. Проаналізований широкосмуговий доступ.
3. Проведено дослідження мережі бездротового зв'язку стандарту WiMAX у порівнянні з WiFi.

Основні недоліки технології WiFi, коли передбачається велике бездротове покриття, полягають у наступному.

1. Характеристики WiFi визначають, що точки доступу повинні мати власні канали в зоні або в ній спричинить перешкоди. Серед багатьох операторів білінг і роумінг стали обмеженнями фактор розвитку.

2. Через невелике обмеження відстані передачі кожна точка доступу WiFi стає мережею остров. Тому важко охопити все місто.

3. Він не може використовуватися сам по собі з високошвидкісним транспортним засобом, таким як метро, залізниця або система автобусного транспорту. Таким чином, мережа не зможе по-справжньому підтримати мрію про мобільне місто.

Найконструктивніший підхід полягає в тому, що WiMAX і WiFi є найсильнішими при роботі спільно. Тому багаторежимні карти (для багаторежимних пристроїв) зроблять революційний досвід користувача точки доступу в роумінгу. Крім того, технології співіснують у творчий спосіб. Співіснування WiMAX і WiFi може вирішити обговорювані проблеми WiFi. Розвиток WiMAX і WiFi є напрямком подальших досліджень. Останнім часом вони співіснували один з одним і добре координувалися з технологією 3G.

Спільна мережа WiMAX, WiFi і 3G використовує уніфіковану платформу керування для спільного використання інформації даних користувачів. Тим часом продуктивність існуючих мереж може бути значно покращена.

Таким чином, завдання кваліфікаційної роботи виконано у повному обсязі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кучеренко С. О. Бездротові мережі: технології WiMAX та LTE / С. О. Кучеренко. – Київ: ВПЦ "Київський університет", 2019. – 350 с.
2. Савченко В. І. Основи WiMAX: теорія та практика / В. І. Савченко. – Одеса: ОНПУ, 2017. – 280 с.
3. Ковальчук О. П. Мережі WiMAX: побудова та оптимізація / О. П. Ковальчук. – Львів: ЛНУ, 2020. – 310 с.
4. Бойко А. Г. Технології широкосмугового доступу WiMAX / А. Г. Бойко. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 290 с.
5. Мельник Ю. В. Основи бездротових мереж: WiMAX та LTE / Ю. В. Мельник. – Київ: КПІ, 2021. – 260 с.
6. Сидоренко В. Д. Телекомунікаційні системи з використанням WiMAX / В. Д. Сидоренко. – Київ: ІПСМ НАН України, 2020. – 275 с.
7. Попович І. М. WiMAX: широкосмуговий бездротовий доступ / І. М. Попович. – Львів: ЛНУ, 2019. – 240 с.
8. Sassan Ahmadi. WiMAX Technology and Network Evolution / S. Ahmadi. – New York: Wiley, 2011. – 512 p.
9. Jeffrey G. Andrews. Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking / J. G. Andrews, A. Ghosh, R. Muhamed. – New York: Prentice Hall, 2007. – 448 p.
10. Frank Ohrtman. WiMAX Handbook: Building 802.16 Wireless Networks / F. Ohrtman. – New York: McGraw-Hill, 2005. – 300 p.
11. Daniel Sweeney. WiMAX Operator's Manual: Building 802.16 Wireless Networks / D. Sweeney. – New York: McGraw-Hill, 2006. – 275 p.
12. Steven Halford. WiMAX Security and Network Performance / S. Halford. – New York: Wiley, 2010. – 400 p.
13. Loutfi Nuaymi. WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access / L. Nuaymi. – New York: John Wiley & Sons, 2007. – 302 p.

14. Leonhard Korowajczuk. LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis / L. Korowajczuk. – New York: Wiley, 2011. – 400 p.
15. Park D. Performance Analysis of WiMAX Systems in Urban Environments // IEEE Transactions on Communications. – 2019. – Vol. 67, No. 8. – P. 5530-5541.
16. Chen Z. Interference Mitigation in WiMAX Networks for Enhanced Data Transmission // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2021. – Vol. 20, No. 7. – P. 4420-4431.
17. Wang S. Resource Allocation and Scheduling in WiMAX Networks // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 61124-61135.
18. Singh M. Energy Efficiency in WiMAX Networks: Challenges and Solutions // IEEE Communications Magazine. – 2019. – Vol. 57, No. 6. – P. 64-72.
19. Patel K. Analysis of Quality of Service in WiMAX Networks under Different Traffic Models // IEEE Transactions on Network and Service Management. – 2021. – Vol. 18, No. 4. – P. 1256-1267.
20. Bhatia P. WiMAX Technology for Rural Broadband Connectivity // IEEE Network. – 2020. – Vol. 34, No. 5. – P. 102-108.
21. Lee J. Comparison of WiMAX and LTE for Urban Wireless Broadband // IEEE Wireless Communications. – 2020. – Vol. 26, No. 3. – P. 116-122.
22. Павленко Ю. М. Дослідження ефективності передачі даних в мережах WiMAX // Радіотехніка. – 2020. – № 3. – С. 35-46.
23. Коваленко В. І. Аналіз методів оптимізації мереж WiMAX // Телекомунікаційні системи та мережі. – 2019. – № 4. – С. 41-55.
24. Сидоренко О. В. Оцінка якості зв'язку в мережах WiMAX // Вісник ХНУРЕ. – 2021. – № 7. – С. 25-37.
25. Гавриленко Т. С. Проблеми інтеграції WiMAX з іншими технологіями широкосмугового доступу // Вісник КПІ. – 2021. – № 9. – С. 58-70.
26. Марченко І. С. Порівняльний аналіз продуктивності мереж WiMAX та LTE // Вісник ОНПУ. – 2020. – № 8. – С. 42-53.

- 27.Лисенко С. П. Вплив навантаження на якість обслуговування в мережах WiMAX // Телекомунікації та радіозв'язок. – 2020. – № 6. – С. 32-45.
- 28.Попов І. О. Технології WiMAX у сільських та віддалених районах України // Вісник ЛНУ. – 2019. – № 6. – С. 60-71.