

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**Пояснювальна записка**  
до бакалаврської роботи

на тему: “**Аналіз технічних особливостей організації та розгортання  
радіомереж стандарту Wi-MAX**”

Виконав: студент 5 курсу, групи  
РТЗ-51  
спеціальності

172 Телекомунікації і радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Климчук Г.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

## РЕФЕРАТ

Текстова частина бакалаврської роботи: 62 сторінок, 24 рисунки, 4 таблиці, 21 джерело.

*Об'єкт дослідження* – телекомунікаційна мережа на базі технології Wi-MAX.

*Предмет дослідження* – радіодоступ з використанням технології Wi-MAX.

*Мета роботи* – дослідити технічні особливості проектування радіомереж зв'язку стандарту Wi-MAX.

*Методи дослідження* – теорії електров'язку, емпіричне дослідження, методи теоретичного дослідження.

В роботі проведено аналіз технічних аспектів проектування мереж стільникового зв'язку стандарту WiMAX. Проведено аналіз технічних особливостей прийому та передачі даних. Проаналізовано загальні принципи побудови мережі та принципи функціонування загального підрівня MAC.

БЕЗДРОТОВІ МЕРЕЖІ, WiMAX, ХЕНДОВЕР, ПЕРЕДАЧА ДАНИХ, ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА, МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК, IEEE, MAC.

## ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП.....	8
1. МЕХАНІЗМИ ТА ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ WiMAX.....	9
1.1 Технічні характеристики стандарту IEEE802.16.....	9
1.2 Ключові технології стандарту.....	24
1.3 Функціонування мережі WiMAX.....	25
2. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ WiMAX.....	27
2.1 Стандарти IEEE 802.16. Форум WiMAX.....	27
2.2 Мережевий рівень систем WiMAX.....	32
2.2.1 Архітектура мереж WiMAX IEEE 802.16.....	32
2.2.2 Базова модель мереж WiMAX IEEE 802.16.....	34
2.2.3 Підтримка мобільності в мережах WiMAX IEEE802.16.....	42
2.2.4 Якість обслуговування в мережах WiMAX IEEE 802.16.....	44
2.2.5 Спеціальні служби WiMAX.....	47
3. РІВЕНЬ ДОСТУПУ ДО СЕРЕДОВИЩА МЕРЕЖ WiMAX.....	52
3.1 Підрівні стандарту IEEE 802.16.....	52
3.2 Принципи функціонування загального підрівня MAC.....	55
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	60
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	62

## ВСТУП

Сучасні системи передачі даних з кожним оновленням (яке в середньому відбувається раз в два роки) стають більш швидкісними, гнучкими та ємнісними. Разом з технічними характеристиками систем зв'язку досконалішими стають і абонентські термінали, що безумовно позитивно позначається на технічному прогресу і на економіці країни.

Проте, високі вимоги користувачів змушують виробників телекомунікаційного обладнання не лише вдосконалювати смартфони і інші мобільні гаджети, але і розробляти нові технології передачі голосу, відео, мультимедіа тощо. В результаті довгої та надзвичайно клопітливої роботи з'являються нові методи передачі, обробки та маніпуляції даних. Технологія WiMAX – один з яскравих прикладів еволюції систем зв'язку. Мережі даної технології по сьогоднішній день успішно, а головню продуктивно, обслуговують сотні тисяч абонентів по всьому світу. Не дивлячись на високий рівень конкуренції дані системи знайшли застосування і в Україні. Більш того, технічні роботи по вдосконаленню та модернізації мереж ведуться по сьогоднішній день. Саме тому питанню проектуванню мережі за технологією WiMAX приділяється чимала кількість публікацій та наукових досліджень.

Розгортання мережі WiMAX - складний та ресурсозатратний процес, в якому слід враховувати чималу низку факторів як: місцевість, кількість абонентів, зовнішні дестабілізуючі фактори і т.п. Тому питання проектування та побудови мережі зв'язку завжди є актуальним для оператора як з точки зору бізнес-проекту так і з точки зору задоволення сучасних потреб користувачів.

# 1 МЕХАНІЗМИ ТА ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ WIMAX

## 1.1 Технічні характеристики стандарту IEEE802.16

З усього різноманіття стандартів сімейства IEEE 802.16 ми зупинимося на двох: IEEE 802.16 і IEEE 802.16e.

Перший стандарт описує фізичний рівень і MAC (Media Access Control - управління доступом до середовища передачі) рівень для фіксованих мереж високошвидкісного бездротового доступу FBWA (Fixed Broadband Wireless Access). Другий стандарт є доповненням до першого для забезпечення мобільності.

### *Фізичний рівень*

Основними вузлами мережі за стандартом IEEE 802.16 є базова станція (Base Station) і призначена для користувача станція (Subscriber Station). Передбачено дві топології взаємодії між вузлами мережі: «точка-багатоточка» PMP (Point-to-MultiPoint), при якій кожна призначена для користувача станція взаємодіє зі своєю базовою станцією і коміркова (Mesh), при якій призначені для користувача станції можуть взаємодіяти між собою. Перша топологія передбачає стільникову структуру організації зони покриття мережі. При цьому не виключений більш простий спосіб організації зв'язку «точка-точка».

Стандарт IEEE 802.16 описує чотири фізичні рівня:

- Single Carrier (WirelessMAN-SC) - символи модуляції передаються на несучій частоті. Орієнтований на роботу в умовах прямого поширення сигналу на частоті несучої в діапазоні 10-66 ГГц;

- Single Carrier (WirelessMAN-SCa) - модифікація WirelessMAN-SC- для роботи в умовах непрямого поширення сигналу на частоті несучої до 11 ГГц;

- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (WirelessMAN-OFDM) - символи модуляції передаються на безлічі піднесучих з використанням технології

OFDM. Призначений для роботи в умовах непрямого поширення сигналу на частоті несучої до 11 ГГц;

- Orthogonal Frequency Division Multiple Access (WirelessMAN-OFDMA) - множинний доступ з частотно-часовим поділом з використанням технології OFDM. Призначений для роботи в умовах непрямого поширення сигналу на частоті несучої до 11 ГГц.

Таблиця 1.1

## Основні режими в стандарті IEEE 802.16

Режим	Частотний діапазон, ГГц	Опції	Метод дуплексування
WirelessMAN-SC	10-66	-	TDD/FDD
WirelessMAN-SCa	<11	AAS/ARQ/STC	TDD/FDD
WirelessMAN-OFDM	<11	AAS/ARQ/STC/Mesh	TDD/FDD
WirelessMAN-OFDMA	<11	AAS/ARQ/STC	TDD/FDD
WirelessHUMAN	<11, безліцензійний діапазон	DFS/AAS/ARQ/Mesh/STC	TDD

Де:

- ARQ (automatic repeat request) - автоматичний запит повторної передачі;
- AAS (adaptive antenna system) - робота з адаптивними антенними системами;
- STC (space time coding) - просторово-часове кодування;
- MESH - режим взаємодії абонентських станцій (АС) один з одним;
- DFS (dynamic frequency selection) - режим динамічного розподілу частот.

*WirelessMAN-SC*

Фізичний рівень WirelessMAN-SC призначений для роботи в умовах прямого поширення сигналу на частоті несучої в діапазоні 10-66 ГГц.

Стандарт IEEE 802.16 жорстко не регламентує смугу частот для WirelessMAN-SC. Замість цього наведено три найбільш типових значення - 20, 25 і 28 МГц.

Фізичний рівень WirelessMAN-SC підтримує два види дуплекса: частотний FDD (Frequency Division Duplex) і часовий TDD (Time Division Duplex). У разі частотного дуплексу стандарт підтримує як повнодуплексні АС: які можуть приймати і передавати одночасно, так і напівдуплексні АС, які одночасно можуть або передавати, або приймати інформацію. Передача даних в прямому каналі (від БС до АС) і в зворотному напрямку має кадрову структуру. Стандарт регламентує три розміри кадру: 0.5, 1 і 2 мс.

Розглянемо докладніше структуру кадру. Він містить кадр прямого каналу, і кадр зворотного каналу. У разі частотного дуплексу кадри прямого і зворотного каналів передаються одночасно на різних частотах (рис. 1.1).

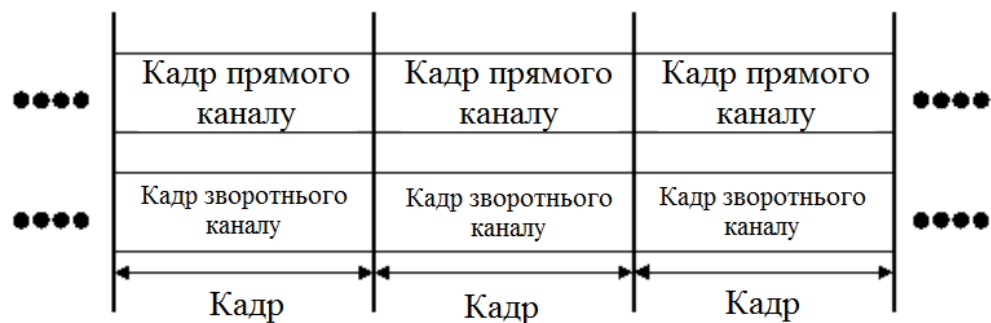


Рис. 1.1 Кадри прямого і зворотного каналів у випадку частотного дуплексу

При використанні часового дуплексу в кадрі спочатку передають кадр прямого каналу, а за ним кадр зворотнього каналу (рис. 1.2). При цьому кадр має фіксований розмір, а частки кадру, займані кадрами прямого і зворотнього каналів, можуть адаптивно змінюватися від кадру до кадру.

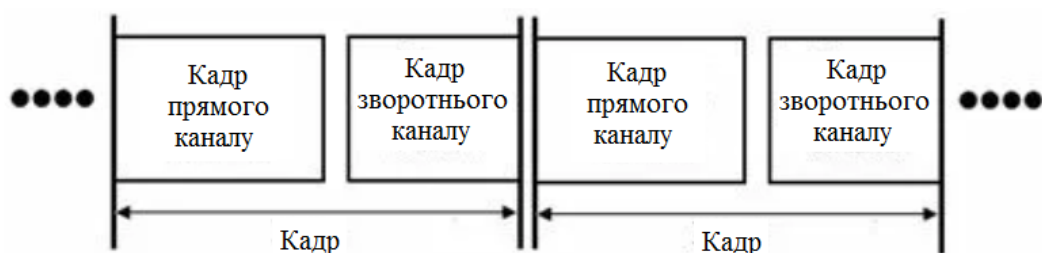


Рис. 1.2 Кадри прямого і зворотнього каналів часового дуплексу

У разі частотного дуплексу кадр прямого каналу має структуру, показану на рис. 1.3.

Кадр прямого каналу при використанні частотного дуплексу включає такі основні елементи:

- преамбулу кадру прямого каналу;
- DL-MAP (Dowlink Map) - розклад кадру прямого каналу;
- UL-MAP (Uplink Map) - розклад кадру зворотного каналу;
- TDM-частина;
- TDM-пакети з одними даними;
- TDMA-частина;
- TDMA - пакети з одними даними, перед кожним з яких передається преамбула.

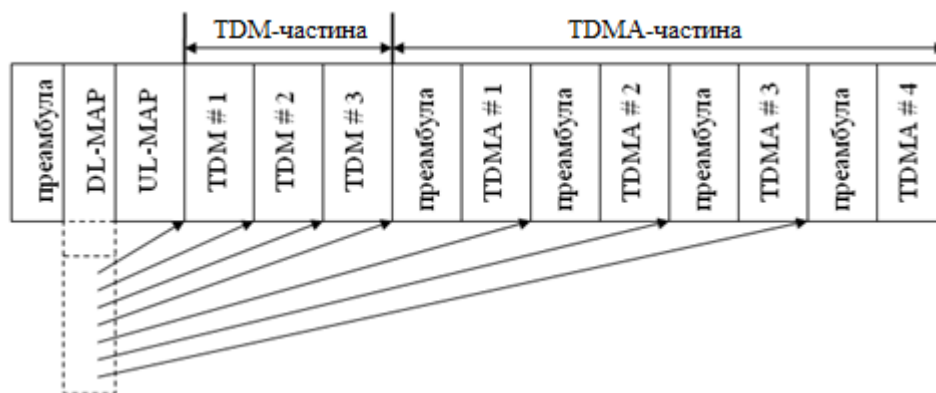


Рис. 1.3 Структура кадру прямого каналу в разі частотного дуплексу

Дані різних АС в прямому каналі поділяються за часом. При цьому передбачено два підходи:

TDM (Time Division Multiplexing) - часове мультиплексування;

TDMA (Time Division Multiple Access) - множинний доступ з часовим поділом.

Останній підхід передбачений для підтримки напівдуплексних станцій.

Повідомлення DL-MAP задає розклад пакетів різних користувачів всередині кадру прямого каналу, а повідомлення UL-MAP- всередині кадру зворотнього каналу.



Преамбули слугують для вимірювань, частотно-часової синхронізації і оцінки каналу.

У разі часового дуплексу кадр прямого каналу має структуру, показану на рисунку 1.4. Вона простіше, так як відсутня TDMA-частина. Доданий часовий інтервал TTG (Transmit/Receive Transition Gap) - захисний інтервал, призначений для перебудови від передачі до прийому (на БС) і від прийому до передачі (на АС).

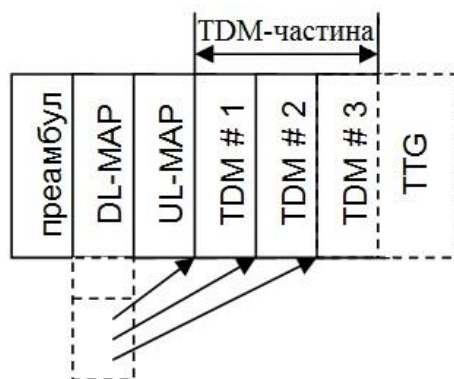


Рис. 1.4 Структура кадру прямого каналу в разі часового дуплексу

Структура кадру зворотнього каналу показана на рисунку 1.5. Вона практично однакова для частотного і часового дуплексу. Відмінність полягає в наявності часового інтервалу RTG (Receive/Transmit Transition Gap) - захисного інтервалу, призначеного для перебудови від прийому до передачі (на БС) і від передачі до прийому (АС).

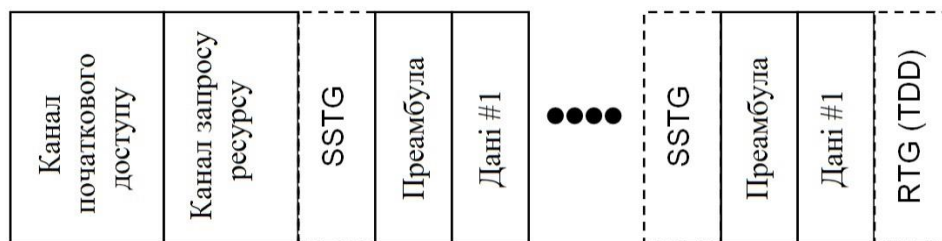


Рис. 1.5 Структура кадру зворотнього каналу

Кадр зворотнього каналу включає такі основні елементи: канал початкового доступу; канал запиту частотно-часового ресурсу; пакети з одними даними. Останні складаються з SSTG (Subscriber Station Transition Gap) - захисного

часового інтервалу між пакетами різних призначених для користувача станцій; преамбули; призначених для користувача даних; часового інтервалу RTG (тільки в разі часового дуплексу).

Тривалості каналу початкового доступу і каналу запиту частотно-часового ресурсу, а також розклад пакетів з одними даними задає повідомлення UL-MAP поточного або одного з попередніх кадрів прямого каналу.

Фізичний рівень WirelessMAN-SC стандарту IEEE 802.16 визначає чотири схеми кодування:

- код Ріда-Соломона (Reed-Solomon Code);
- код Ріда-Соломона і блокове згорткове кодування (Block Convolutional Code);
- код Ріда-Соломона і перевірка парності (Parity Check);
- блокові турбокоди (Block Turbo Code).

Передбачено три види модуляції: QPSK; 16-QAM; 64-QAM. Кілька схем кодування і видів модуляції дозволяють здійснювати адаптивне кодування і модуляцію.

Канальні швидкості передачі для розміру кадру 1мс і трьох рекомендованих смуг частот для фізичного рівня WirelessMAN-SC наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Канальні швидкості передачі для WirelessMAN-SC

Смуга частот, МГц	Швидкість передачі, QPSK, Мбіт/с	Швидкість передачі, 16-QAM, Мбіт/с	Швидкість передачі, 64-QAM, Мбіт/с
20	32	64	96
25	40	80	120
28	44,8	89,6	134,4

Для роботи стандарт передбачає початкову та періодичну частотно-часову синхронізацію. Передбачається, що вона здійснюється за сигналом базової станції.

Також передбачено регулювання потужності користувальницької станції.

Для адаптивного кодування і модуляції, а також для регулювання потужності стандарт IEEE 802.16 передбачає періодичні вимірювання рівня сигналу, а також відношення сигнал/(шум + перешкоди).

### *WirelessMAN-SCA*

Фізичний рівень WirelessMAN-SCa призначений для роботи в умовах не прямого поширення сигналу на частоті несучої до 11 ГГц.

Передбачені наступні схеми кодування: код Ріда-Соломона + перемежувач + спільне кодування і модуляція зі змінною швидкістю на основі згорткового коду (rate-compatible TCM from  $K = 7$ ,  $R = 1/2$  CC); кодування відсутнє; блокові турбокоди; згорткове кодування.

Передбачені наступні види модуляції: BPSK з розширенням спектра; BPSK; QPSK; 16-QAM; 64-QAM; 256-QAM.

У структуру кадру додані пілотні символи для оцінки каналу; є можливість повторної передачі (ARQ); передбачена рознесена передача на основі просторово-часових кодів; існує підтримка адаптивних антенних систем.

### *WirelessMAN-OFDM*

Фізичний рівень WirelessMAN-OFDM призначений для роботи в умовах не прямого поширення сигналу на частоті несучої до 11 ГГц і заснований на технології OFDM.

OFDM-символ містить 256 піднесучих, з яких використовується 200 піднесучих. З них на 8 піднесучих передають пілот-сигнали, а інші використовують для передачі даних.

Стандарт IEEE 802.16 жорстко не регламентує смугу частот для WirelessMAN-OFDM. Замість цього наведені значення, одному з яких повинна бути кратна смуга частот: 1,25; 1,5; 1,75; 2 і 2,75 МГц.

Фізичний рівень WirelessMAN-OFDM підтримує два види дуплекса: частотний і часовий. У разі частотного дуплексу стандарт підтримує як повнодуплексні АС, так і напівдуплексні АС.

Стандарт регламентує наступні розміри кадру для WirelessMAN-OFDM: 2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5 і 20 мс.

Розглянемо докладніше структуру кадрів прямого і зворотнього каналів для режиму «точка-багатоточка».

Кадр прямого каналу має структуру, показану на рисунку 1.6.

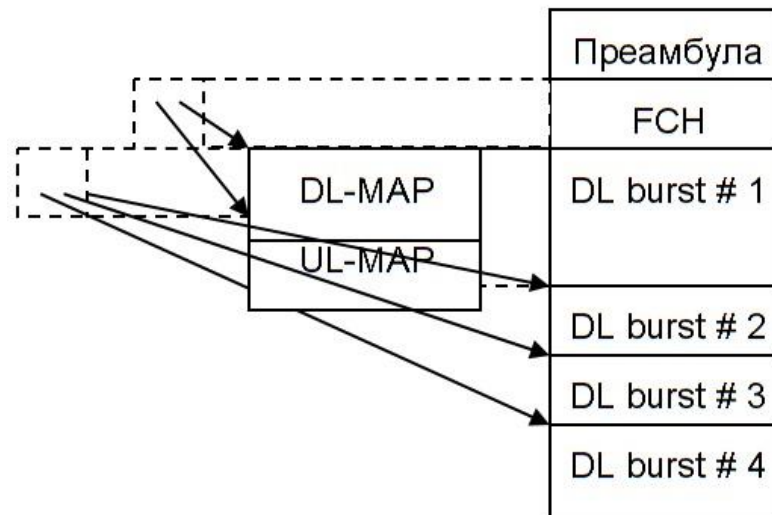


Рис. 1.6 Структура кадру прямого каналу

Кадр прямого каналу включає такі основні елементи: преамбулу кадру прямого каналу; FCH (Frame Control Header) - заголовок кадру, який вказує на місце розташування, вид кодування і модуляції повідомлень DL-MAP і UL-MAP; DL burst #1 перший пакет прямого каналу. Останній містить DL-MAP-розклад кадру прямого каналу; UL-MAP-розклад кадру зворотнього каналу. DL burst #n-інші пакети прямого каналу.

Вид кодування і модуляції однаковий всередині пакету прямого каналу і може змінюватися від пакету до пакету. Пакет може містити дані, призначені як для одного, так і для різних користувачів.

Повідомлення DL-MAP задає розклад пакетів різних користувачів всередині кадру прямого каналу, а повідомлення UL-MAP - всередині кадру зворотного каналу.

Преамбула служить для вимірювань, частотно-часової синхронізації і оцінки каналу.

Кадр зворотного каналу має структуру, показану на рисунку 1.7.



Рис. 1.7 Структура кадру прямого каналу

Кадр зворотного каналу включає такі основні елементи: канал початкового доступу; канал запиту частотно-часового ресурсу; пакети з одними даними. Останні включають: преамбулу, дані, призначені для користувача.

Як і в попередніх фізичних рівнях, передбачені захисні інтервали для поділу кадрів прямого і зворотного каналів при використанні часового дуплексу і для поділу пакетів зворотного каналу різних АС.

Тривалість каналу початкового доступу і каналу запиту частотно-часового ресурсу, а також розклад пакетів з одними даними задає повідомлення UL-MAP поточного або одного з попередніх кадрів прямого каналу.

Фізичний рівень стандарту IEEE 802.16 визначає три схеми кодування: код Ріда Соломона і блокове згорткове кодування; блокові турбокоди; згорткові турбокоди (Convolutional Turbo Code). Передбачено чотири види модуляції: BPSK; QPSK; 16-QAM; 64-QAM. Кілька схем кодування і видів модуляції дозволяють здійснювати адаптивне кодування і модуляцію.

Стандарт передбачає початкову та періодичну частотно-часову синхронізацію. Передбачається, що вона здійснюється за сигналом базової станції. Також є регулювання потужності АС.

Для адаптивного кодування, модуляції і для регулювання потужності стандарт IEEE 802.16 передбачає періодичні вимірювання рівня сигналу, а також відношення сигнал/(шум + перешкоди).

Існують можливість повторної передачі (ARQ), а також рознесена передача і підтримка адаптивних антенних систем.

### *WirelessMAN-OFDMA*

Фізичний рівень WirelessMAN-OFDMA призначений для роботи в умовах не прямого поширення сигналу на частоті несучої до 11 ГГц.

В якості множинного доступу в прямому і зворотному каналах даний фізичний рівень використовує OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) - множественний доступ з частотно-часовим поділом з використання технології OFDM.

OFDM-символ містить 2048 піднесучих, з яких для передачі використовується тільки частина. З них на частини піднесучих передають пілот-сигнали, а інші використовують для передачі даних.

Стандарт IEEE 802.16 жорстко не регламентує смугу частот для WirelessMAN-OFDMA. Замість цього наведені значення, одному з яких повинна бути кратна смуга частот: 1,25; 1,5; 1,75; 2 і 2,75 МГц.

Фізичний рівень WirelessMAN-OFDMA підтримує два види дуплекса: частотний і часовий. У разі частотного дуплексу стандарт підтримує як повнодуплексні АС, так і напівдуплексні.

Стандарт регламентує наступні розміри кадру для WirelessMAN-OFDMA: 2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5 і 20 мс.

Кадри прямого і зворотного каналів можуть містити одну або більше зон (рис. 1.8). Зони в основному відрізняються кількістю пілот-сигналів і схемами перемешування піднесучих.

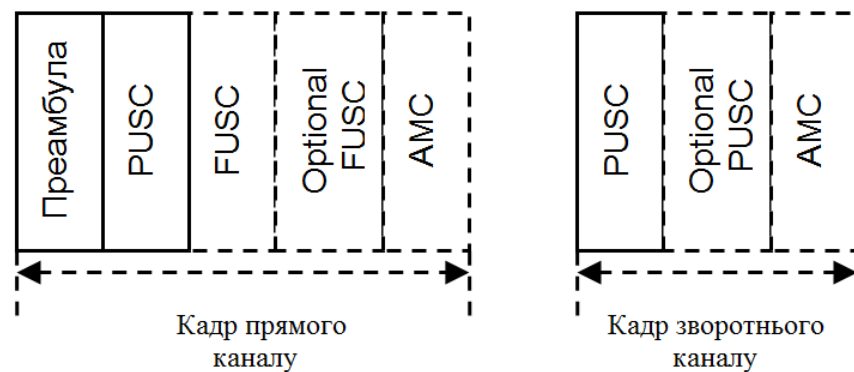


Рис. 1.8 Структура кадрів прямого і зворотного каналу

У прямому каналі можливі наступні зони:

- PUSC (Partial Usage of Subcarriers) - зона, яка використовує частотне рознесення при передачі і передбачає три частотних сегменти, при цьому базова станція може використовувати 1/3, 2/3 або всю смугу частот;
- FUSC (Full Usage of Subcarriers) - зона, яка використовує частотне рознесення при передачі і передбачає тільки один частотний сегмент;
- Optional FUSC - відрізняється від зони FUSC тільки кількістю пілот-сигналів;
- AMC (Adaptive Modulation and Coding) - зона, що не використовує частотного рознесення.

У зворотному каналі можливі наступні зони:

- PUSC - зона, яка використовує частотне рознесення при передачі і передбачає три частотних сегмента, при цьому базова станція може використовувати 1/3, 2/3 або всю смугу частот (для зворотного каналу);
- Optional PUSC - відрізняється від зони PUSC тільки кількістю пілот-сигналів;
- AMC - зона, що не використовує частотного рознесення.

Всі зони мають приблизно однакові логічні структури. Для прикладу розглянемо зону PUSC прямого каналу і зону PUSC зворотного каналу. При цьому будемо припускати, що базова станція (сектор) використовує всю смугу частот. На рисунку 1.9 показана структура цих зон.

Зона PUSC прямого каналу включає такі основні елементи:

- Преамбулу (так як це перша зона в кадрі прямого каналу);
- FCH - заголовок кадру, який вказує на місце розташування, вид кодування і модуляції повідомлення DL-MAP;
- DL-MAP - розклад кадру прямого каналу;
- UL-MAP - розклад кадру зворотного каналу;
- DL burst #n - пакети прямого каналу.

Зона PUSC зворотного каналу містить пакети зворотного каналу.

DL-MAP задає розклад зон всередині кадру прямого каналу, а також розклад пакетів даних всередині кожної зони прямого каналу. UL-MAP задає розклад зон всередині кадру зворотного каналу, а також розклад пакетів даних всередині кожної зони зворотного каналу.

Зони PUSC і Optional PUSC зворотного каналу можуть містити канали початкового доступу і запиту частотно-часового ресурсу.



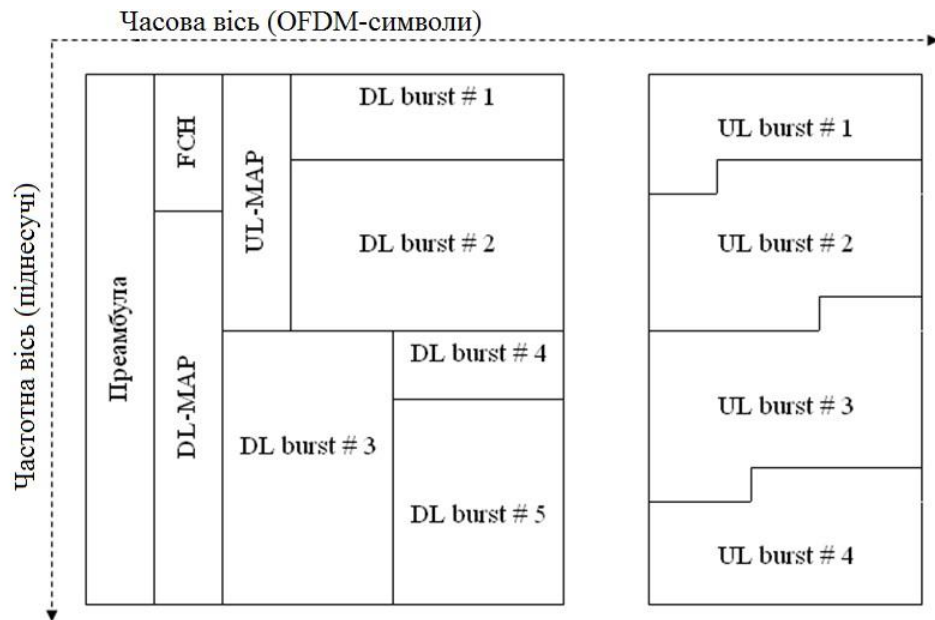


Рис. 1.9 Структура зони PUSC прямого і зворотного каналів

Фізичний рівень WirelessMAN-OFDMA стандарту IEEE 802.16 визначає три схеми кодування: блокове згорткове кодування; блокові турбокоди; згорткові турбокоди.

Передбачено три види модуляції: QPSK; 16-QAM; 64-QAM.

Кілька схем кодування і вдів модуляції дозволяють здійснювати адаптивне кодування і модуляцію.

Канальні швидкості передачі для смуг частот 6 і 7 МГц - для фізичного рівня WirelessMAN-OFDMA, для циклічного префікса і для різних видів кодування і модуляції наведені в таблиці 1.3.

Стандарт передбачає початкову та періодичну частотно-часову синхронізацію. Передбачається, що вона здійснюється за сигналом базової станції. Є регулювання потужності абонентської станції. Для адаптивного кодування і модуляції, а так само для регулювання потужності стандарт IEEE 802.16 передбачає періодичні вимірювання рівня сигналу, а також відношення сигнал/(шум + перешкоди).

Передбачена можливість повторної передачі (ARQ) і гібридної повторної передачі (H-ARQ), а також рознесена передача і підтримка адаптивних антенних систем.

Таблиця 1.3

## Канальні швидкості передачі для WirelessMAN-OFDMA

Смуга частот, МГц	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16-QAM 1/2	16-QAM 3/4	64-QAM 2/3	64-QAM 3/4
6	4,99	7,48	9,97	14,96	19,95	22,44
7	5,82	8,73	11,64	17,45	23,27	26,18

## Формування пакетів даних PDU

Пакетні дані, що надходять з верхніх рівнів SDU мають в загальному випадку довільний розмір. Для збільшення ефективності їх передачі на фізичному рівні, на рівні MAC, вони попередньо перетворюються в пакети даних PDU.

Для цього в стандарті IEEE 802.16 передбачено такі операції:

- фрагментація (Fragmentation) - розбиття пакета даних SDU на кілька фрагментів, кожен з яких включається в свій пакет даних PDU;
- упаковка (Packing) - об'єднання декількох пакетів даних SDU або їх фрагментів для включення в один пакет даних PDU;
- об'єднання (Concatenation) - об'єднання декількох сформованих пакетів даних PDU в один набір.

Сформований пакет даних PDU включає в себе заголовок (MAC Header) і може включати в себе тіло (Payload) і контрольну суму (CRC). Якщо при формуванні пакета даних PDU використовуються операції фрагментації або упаковки, той тіло містить також підзаголовки фрагментації (Fragmentation Subheader) і підзаголовки упаковки (Packing Subheader).

## Повторна передача помилково прийнятих пакетів

Стандарт IEEE 802.16 передбачає використання повторної передачі ARQ помилково прийнятих пакетів даних SDU.

Для цього кожному сервісному потоку, що використовує повторну передачу ARQ, призначається розмір блоку ARQ. Всі пакети даних сервісного потоку логічно діляться на блоки ARQ заданого розміру. Фрагментація здійснюється по

межі блоків ARQ. Передані блоки ARQ видаляються з черги на передачу, тільки якщо прийшло підтвердження на їх успішний прийом. Очевидно, що при використанні повторної передачі ARQ пакет даних PDU повинен включати суму для контролю правильності прийому блоків ARQ, що в ньому знаходяться.

Крім механізму повторної передачі ARQ, деякі схеми кодування частини фізичних рівнів стандарту IEEE 802.16 дозволяють використовувати механізм гібридної повторної передачі H-ARQ, який відрізняється більш високою складністю реалізації та більш високою ефективністю.

#### Засоби запиту і виділення частотно-часового ресурсу

Як зазначалося раніше, управління передачею в стандарті IEEE 802.16 здійснюється на рівні MAC базової станції. Для управління передачею в зворотному каналі в стандарті передбачені наступні засоби запиту і виділення частотно-часового ресурсу:

- запити (Request);
- виділення ресурсу для передачі даних (Grant);
- виділення ресурсу для передачі запиту (Poll);
- канал запиту ресурсу (Bandwidth Request Subchannel).

#### Вхід в мережу і синхронізація

Для входу в мережу користувальницької станції передбачено канал початкового доступу. Він ідентичний каналу запиту ресурсу за виключення того, що використовує інший набір повідомлень. Під час процедури входу в мережу для користувача станція здійснює початкову частотно-часову синхронізацію і регулювання потужності (Initial Ranging). Також для користувача і базова станції обмінюються інформацією про сервісні потоки, які треба буде підтримувати в прямому і зворотному каналах.

При вході в мережу відбувається аутентифікація користувача станції. Стандарт IEEE 802.16 підтримує шифрування даних для забезпечення безпеки.

У процесі роботи для АС здійснює періодичну частотно-часову синхронізацію (Periodic Ranging).

Стандарт IEEE 802.16e є доповнення до стандарту IEEE 802.16 для забезпечення мобільності. Розглянемо основні додаткові механізми стандарту IEEE 802.16e.

## 1.2 Ключові технології стандарту

У стандарті IEEE 802.16 в IEEE 802.16e закладені технології, які є обов'язковими для сучасних бездротових мереж передачі даних. Всі ці технології використовуються в мережах стільникового зв'язку четвертого покоління і включають в себе: забезпечення вимог QoS; адаптивне кодування і модуляцію; підтримку адаптивних антенних систем; підтримку мобільних користувачів.

### Забезпечення вимог QoS

При передачі даних та мультимедійної інформації потоки призначених для користувача даних характеризуються різними вимогами щодо якості сервісу (вимоги QoS). На відміну від стільникових мереж попередніх поколінь, орієнтованих на передачу голосу, забезпечення вимог QoS є обов'язковою властивістю бездротових мереж передачі даних.

Для забезпечення вимог QoS в стандарті передбачено поняття сервісного потоку (Service Flow). Сервісний потік - потік призначених для користувача даних від одного джерела або додатку, що характеризується набором вимог QoS, і інших параметрів. Стандарт IEEE 802.16 дозволяє на кожній користувальницькій станції забезпечувати підтримку декількох різних сервісних потоків в прямому і зворотньому каналах.

Крім цього, стандарт передбачає ряд механізмів: запити (Request), виділення ресурсу для передачі даних (Grant) і для передачі запиту (Poll) - і ряд процедур їх використання - UGS, RTPS, NRTPS, BE - для забезпечення найрізноманітніших наборів вимог QoS .

### Адаптивне кодування і модуляція

Стандарт підтримує механізм адаптивного кодування і модуляції, а також механізм регулювання потужності. Це дозволяє адаптивно підлаштовувати параметри передачі під мінливі умови прийому для різних наборів вимог QoS.

Адаптивне кодування і модуляція є найефективнішою технологією підвищення пропускну здатності при передачі даних. Механізм регулювання потужності в прямому і зворотньому каналах дозволяє в ряді випадків додатково збільшити ефективність передачі.

### Підтримка адаптивних антенних систем

У бездротових мережах передачі даних основним чинником, що обмежує пропускну здатність, є наявність внутрішньосистемних перешкод. Використання адаптивних антенних систем, рознесеної передачі і прийому є одним із способів боротьби з ними.

Стандарт IEEE 802.16 забезпечує підтримку широкого класу методів просторово-часової обробки при передачі і прийомі.

### Підтримка мобільних користувачів

Стандарт IEEE 802.16e забезпечує підтримку мобільності. При цьому він передбачає всі ключові механізми, такі як: механізм пошуку мобільної станції (Paging); жорсткий Handover; швидка зміна обслуговуючої БС (швидкий жорсткий Handover); м'який Handover; режим енергозбереження (Sleep Mode).

Все це говорить про те, що сімейство стандартів IEEE 802.16, безсумнівно, є ключовим кандидатом на роль базису для створення бездротових мереж передачі даних сьогодні.

## 1.3 Функціонування мережі WiMAX

При авторизації на БС на неї надсилаються реквізити абонентського комплексу (сертифікат, цифрові підписи, запит на авторизацію), після чого абонентський пристрій отримує свій конфігураційний файл і починає працювати відповідно до нього. При цьому сертифікат унікальний для кожного абонента,

підписаний hash - функцією SHA-1 і не може бути змінений, оскільки «защитий» в сам пристрій, що має унікальний номер і MAC-адреса. Термін дії цього сертифіката становить, відповідно до стандарту 802.16 - 10 років.

Що стосується забезпечення інформаційної безпеки, то, на відміну від стандартів серії 802.16, які по суті справи не забезпечували захисту від несанкціонованого доступу, в стандарті 802.16 офіційно затверджені заходи для запобігання взлому. Так в процесі передачі даних від БС до абонента і назад трафік шифрується. При цьому використовуються одночасно два ключа з перехресними часовими інтервалами, і тому трафік ніколи не буває незашифрований. Одночасна робота двох ключів пояснюється необхідністю працювати в середовищі з можливою втратою пакетів. Відбувається також періодична реавторизація і періодична зміна ключів.

## 2 Загальні принципи побудови мереж WiMAX

### 2.1 Стандарти IEEE 802.16. Форум WiMAX

При переході до створення систем широкосмугового радіодоступу з інтеграцією послуг стало зрозуміло, що основоположні принципи, закладені в бездротові системи на попередніх етапах, потребують суттєвого коригування. На сигнальному рівні першочергове значення набуло оптимальне використання спектрального ресурсу радіоканала при будь-яких співвідношеннях швидкість/завадостійкість. На рівні протоколів стало необхідним забезпечувати заданий рівень якості обслуговування кожному абоненту мережі.

Бездротові мережі зв'язку міського масштабу WiMAX активно розвиваються більше 10 років, розгорнуті рішення створюють конкуренцію іншим рішенням надання широкосмугового доступу. Основною перевагою мереж WiMAX в порівнянні з іншими технологіями, покликаними вирішувати аналогічні завдання, є відносно швидке розгортання систем на досить великих територіях без проведення робіт з прокладання кабелю і надання кінцевим користувачам каналів зв'язку в одиниці Мбіт/с, що особливо актуально для місць з нерозвиненою мережевий інфра-структурою (наприклад, нові заміські райони, історичні центри міст і т. п.). Зауважимо, що основним конкурентом мереж WiMAX є системи зв'язку четвертого покоління LTE E-UTRA.

На сьогоднішній день бездротові мережі міського масштабу представлені наступними стандартами:

- IEEE 802.16e-2005, 2009 (WiMAX) (рис. 2.1);
- ETSI HiperMAN;
- IEEE 802.20 (WBWA).

Робоча група IEEE 802.16 була створена в 1999 р. Через два роки (в грудні 2001 р.) був прийнятий перший стандарт бездротових мереж зв'язку міського масштабу IEEE 802.16. Спочатку він був орієнтований на частотний діапазон 10-

66 ГГц, що означало пряму видимість між приймачем і передавачем і було істотним недоліком в міських умовах. Стандарт IEEE 802.16a (прийнятий в січні 2003 р.) передбачав використання частотного діапазону 1-10 ГГц і був позбавлений зазначеного недоліку.

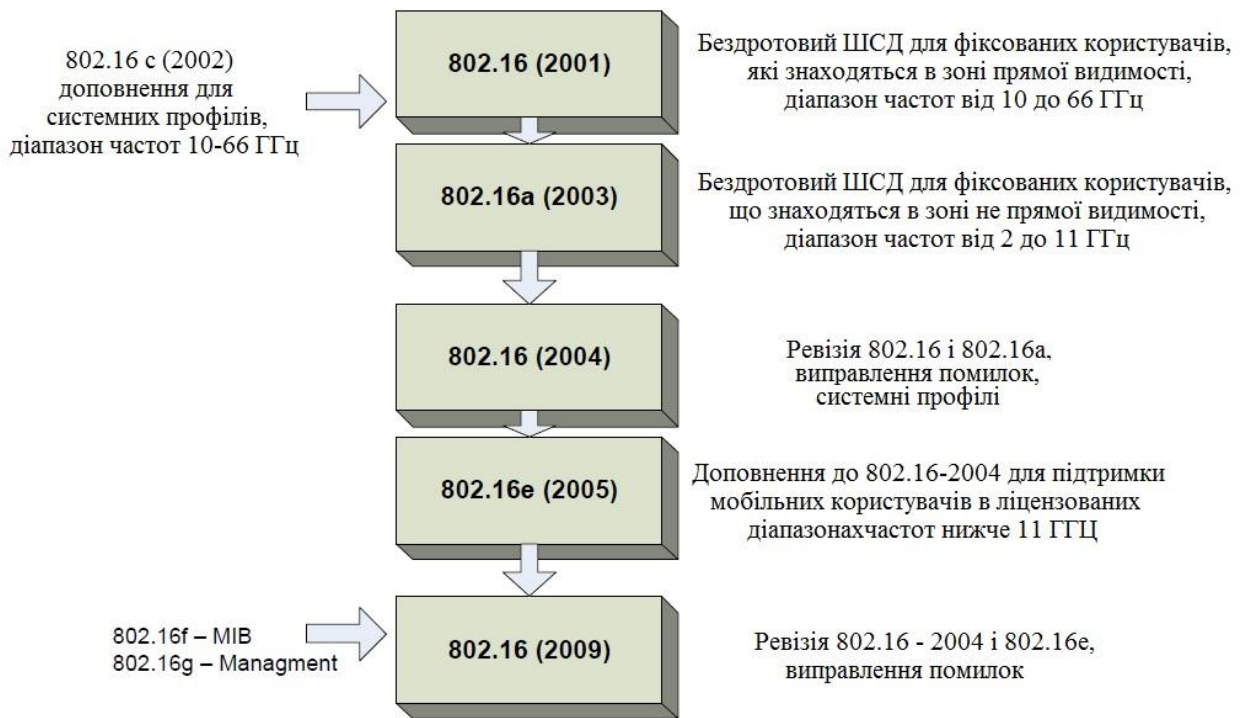


Рис. 2.1 Еволюція стандартів IEEE 802.16

У липні 2004 р. був схвалений стандарт IEEE 802.16REVd, який об'єднав в собі попередні версії IEEE 802.16.

У липні 2005 р. вийшов стандарт IEEE 802.16e, який є доповненням до стандарту IEEE 802.16-2004. Акцент в стандарті зроблений на підтримку мобільності кінцевого користувача.

Восени 2009 р. вийшов остаточний на сьогоднішній день стандарт бездротових мереж міського масштабу IEEE 802.16-2009, об'єднавши в собі попередні версії стандартів (рис. 2.1).

Європейський інститут телекомунікаційних стандартів ETSI і робоча група BRAN (Broadband Radio Access Networks) розробили стандарт HiperMAN. В основу якого на фізичному рівні покладено стандарт IEEE 802.16-2004. Деякі відмінності спостерігаються на каналному (MAC) і мережевому рівнях. Основна



увага ETSI приділяє типам додатків і якості послуг. Робоча група IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA), затверджена в грудні 2002 р., зосереджена на наданні послуг мобільним користувачам, що рухаються зі швидкістю до 250 км/год.

Через два роки після створення робочої групи IEEE 802.16 з'явився форум WiMAX, утворений фірмами Nokia, Harris Corp., Ensemble і Crosspan. До травня 2005 р. форум об'єднував вже 230 учасників, а на сьогоднішній день форум включає в себе більше 400 різних виробників, лабораторій та постачальників телекомунікаційного обладнання.

Необхідно розрізнити стандарти зв'язку серії IEEE 802.16 і форум WiMAX (рис. 2.2). Стандарти серії IEEE 802.16 - це безліч стандартів, що визначають бездротові мережі міського масштабу (WMAN - Wireless Metropolitan Area Network). Розроблено для забезпечення бездротовим широкопasmовим доступом стаціонарних і мобільних користувачів. Форум WiMAX (WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access) є некомерційною організацією для просування і сертифікації бездротового широкопasmового доступу, заснованих на узгодженому стандарті IEEE 802.16/ETSI HiperMAN. Співпрацює з постачальниками послуг, виробниками обладнання, виробниками тестового обладнання, сертифікаційними лабораторіями та постачальниками програмно-апаратних ресурсів для забезпечення відповідності очікуванням замовника і державним стандарт.

Стандарти серії IEEE 802.16 визначає радіоінтерфейс для систем широкопasmового бездротового доступу (рівні MAC і PHY, рис. 2.3) з фіксованими і мобільними абонентами в діапазоні частот 1-66 ГГц, розрахованих на впровадження в міських розподілених бездротових мережах операторського класу. Мережі, побудовані на основі цих стандартів, займуть проміжної положення між локальними мережами (IEEE 802.11x) і регіональними мережами (WAN), де планується застосування розроблюваного стандарту IEEE 802.20. Зазначені стандарти спільно зі стандартом IEEE 802.15 (PAN - Personal Area

Network) і IEEE 802.17 (мости рівня MAC) утворюють ієрархію стандартів бездротового зв'язку.

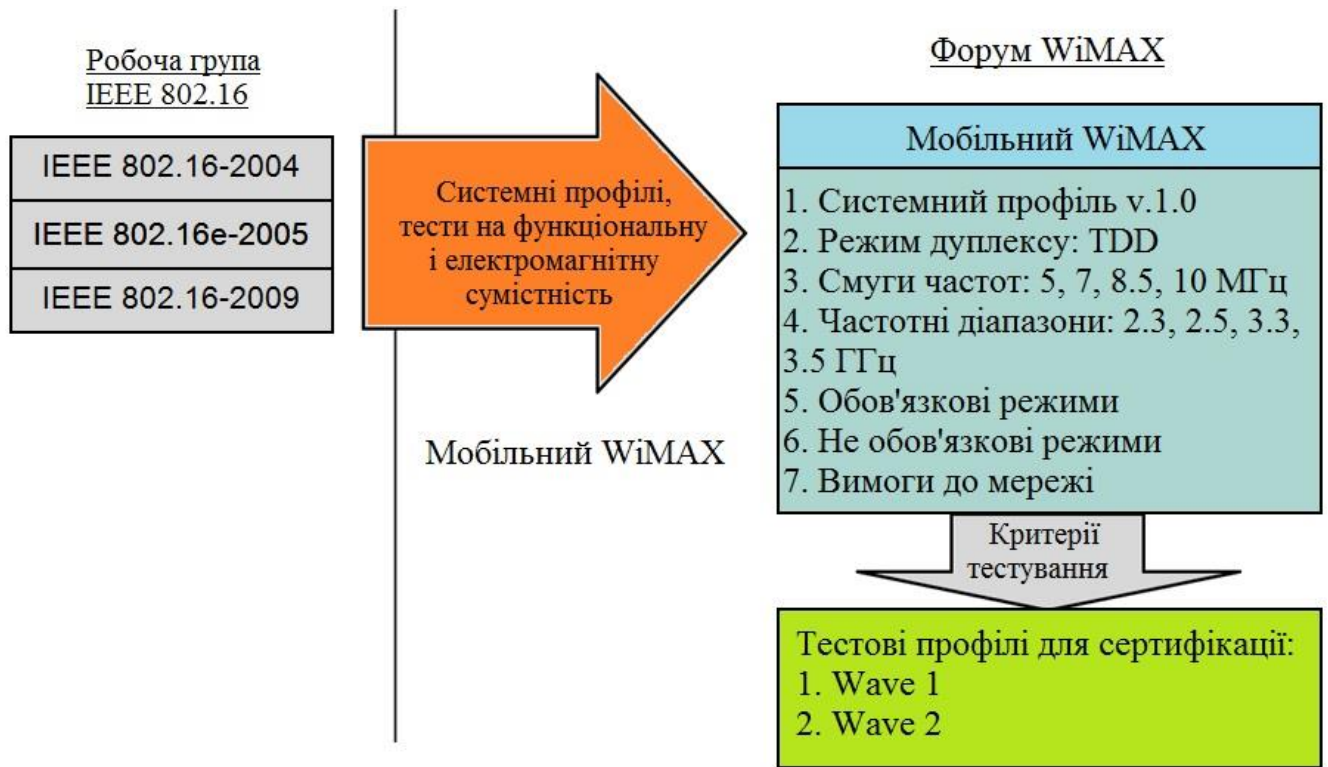


Рис. 2.2 Стандарти серії IEEE 802.16 і форум WiMAX

Для забезпечення працездатності систем в діапазоні 10-66 ГГц внаслідок відносно малої довжини хвилі потрібна наявність прямої видимості між передавачем і приймачем. В таких умовах при аналізі каналу зв'язку багатопромінністю середовища можна знехтувати. Дані передаються на одній несучій. Ширина смуги частот одного каналу складає 25 або 28 МГц, швидкість передачі даних до 120 Мбіт/с.

В діапазоні частот 1-11 ГГц за рахунок збільшення довжини хвилі можливий сценарій взаємодії передавача і приймача в умовах відсутності прямої видимості. При цьому необхідно застосовувати більш складні (в порівнянні з системами, що функціонують в діапазоні частот 10-66 ГГц) методи регулювання потужності, різні способи боротьби з межсимвольною інтерференцією. Для передачі даних використовується одна або безліч несучих (сигнали з OFDM).

Структура стандартів IEEE 802.16 представлена на рис. 2.3. Стандарти описують MAC і PHY-рівні семерівневої еталонної моделі взаємодії відкритих систем. При цьому рівень MAC ділиться на підрівні конвергенції, загальної частини і безпеки.

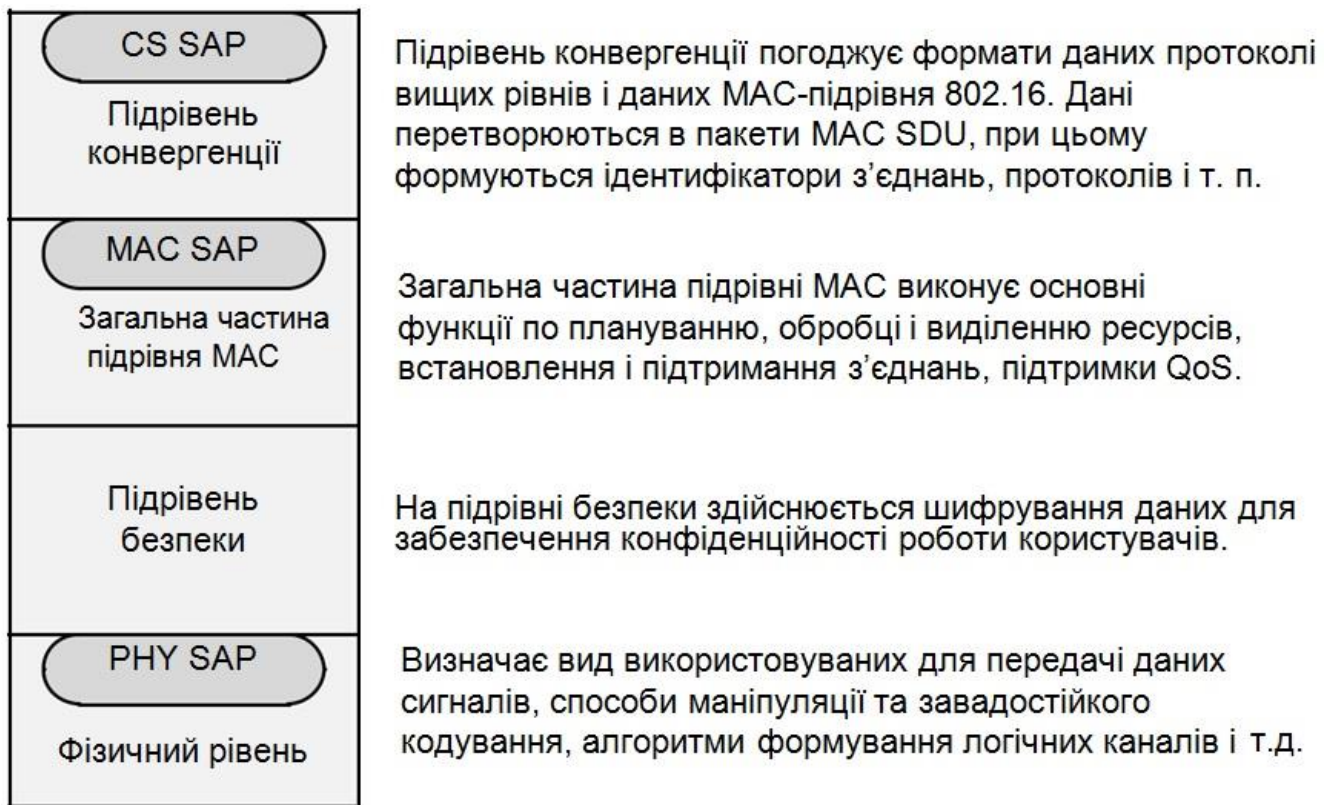


Рис. 2.3. Структура стандартів IEEE 802.16

Підрівень конвергенції погоджує формати даних протоколів вищих рівнів і даних MAC-підрівня 802.16. Дані перетворюються в пакети MAC SDU, при цьому формуються ідентифікатори з'єднань, протоколів і т. п.

Загальна частина підрівнів MAC виконує основні функції по плануванню, обробці і виділенню ресурсів, встановлення і підтримання сполук, підтримки QoS.

На підрівні безпеки здійснюється шифрування даних для забезпечення конфіденційності роботи користувачів.

Фізичний рівень визначає вид використовуваних для передачі даних сигналів, способи маніпуляції та завадостійкого кодування, алгоритми формування логічних каналів і т. д.

## 2.2 Мережевий рівень систем WiMAX

### 2.2.1 Архітектура мереж WiMAX IEEE 802.16

Базова станція (Base Station) розміщується в будівлі або на вищій і здійснює зв'язок з абонентськими станціями (Subscriber Station) за схемою точка-багатоточка (Point to Multipoint - PMP). Можливий сітковий режим зв'язку (Mesh - сітка зв'язків - точка-точка - PTP), коли будь-які клієнти (АС) можуть здійснювати зв'язок між собою безпосередньо, а антенні системи, як правило, не є спрямованими. БС надає з'єднання з основною мережею і радіоканали до інших станцій. Радіус дії БС може досягати 30 км (в разі прямої видимості) при типовому радіусі мережі 6-8 км. АС може бути радіотерміналом або повторювачем, який використовується для організації локального трафіку. Трафік може проходити через кілька повторювачів, перш ніж досягне клієнта. Антени в цьому випадку є спрямованими.

Канал зв'язку припускає наявність двох напрямків передачі: висхідний канал (АС - БС, uplink) і низхідний (БС - АС, downlink). Ці два канали використовують різні частотні діапазони при частотному дуплексі і різні інтервали часу при часовому дуплексі.

Найпростіший спосіб представлення архітектури мереж WiMAX полягає у їх описі як сукупності БС, які розташовуються на дахах висотних будівель або вишках, і клієнтських станціях (смартфонах) (рис. 2.4).

Радіомережа обміну даними між БС і АС працює в СВЧ-діапазоні від 2 до 11 ГГц. Така мережа в ідеальних умовах може забезпечити швидкість передачі інформації до 75 Мбіт/с і не вимагає того, щоб БС перебувала на відстані прямої видимості від користувача.

Діапазон частот від 10 до 66 ГГц використовується для встановлення з'єднання між сусідніми базовими станціями за умови, що вони розташовуються в зоні прямої видимості одна від одної. Так як в міській середі ця умова може

виявитися нездійсненною, зв'язок між базовими станціями іноді організують за допомогою прокладки кабелів.

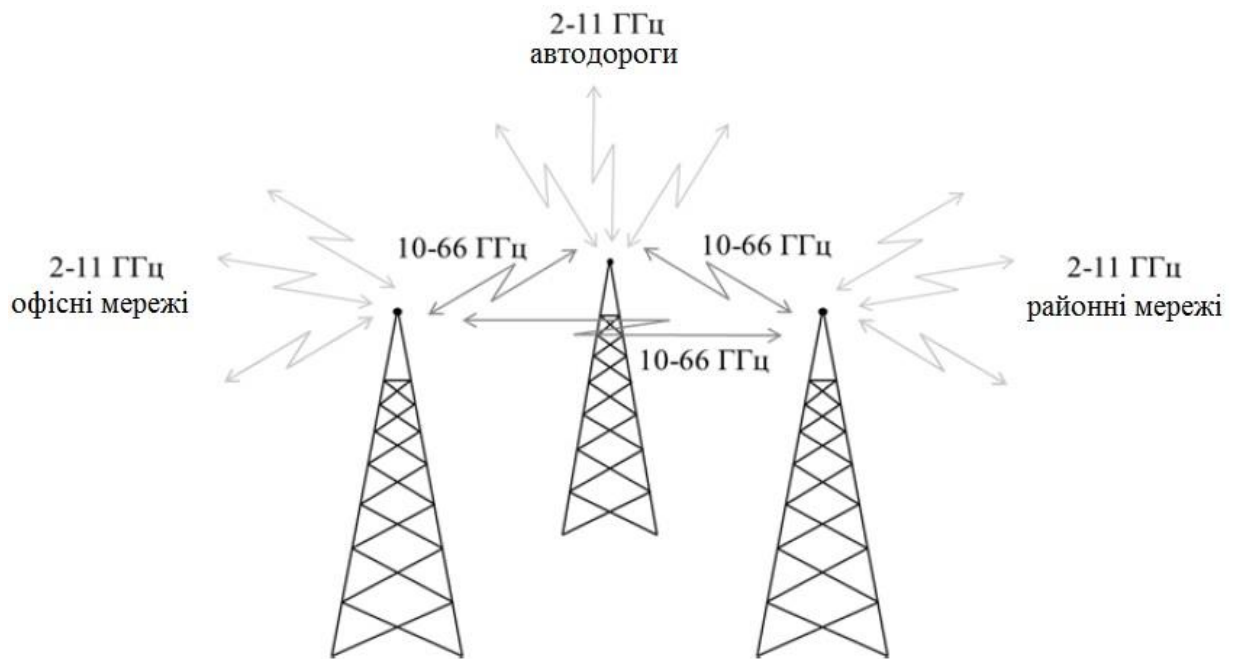


Рис. 2.4 Схематичне зображення мережі WiMAX

При більш детальному розгляді мережу WiMAX можна описати як сукупність бездротового і базового (опорного) сегментів. Перший описується в стандарті IEEE 802.16, другий визначається специфікаціями WiMAX Forum. Базовий сегмент об'єднує всі аспекти, які не відносяться до абонентської радіомережі, тобто зв'язок базових станцій одна з одною, зв'язок з локальними мережами (в тому числі, Інтернетом) і т. п. Базовий сегмент ґрунтується на IP-протоколі і стандарті IEEE 802.3-2005 (Ethernet). Однак саме опис архітектури в частині, що не відноситься до безпроводної клієнтської мережі, міститься в документах WiMAX Forum, об'єднаних під загальною назвою - Network Architecture.

У цих специфікаціях до мереж WiMAX пред'являються такі вимоги, як незалежність архітектури від функцій і структури транспортної IP-мережі. У той же час, повинні забезпечуватися послуги, засновані на застосуванні IP-протоколу (SMS over IP, MMS, і ін.). А також мобільна телефонія на основі VoIP і мультимедійні послуги. Обов'язковою є умова підтримки архітектурою

протоколів IPv4 та IPv6. Мережі WiMAX повинні бути легко масштабованими і гнучко змінюватися, ґрунтуватися на принципі декомпозиції (будуватися на основі стандартних логічних модулів, що об'єднуються через стандартні інтерфейси). Властивості масштабованості і гнучкості необхідно забезпечувати за такими експлуатаційними характеристиками, як щільність абонентів, географічна протяжність зони покриття, частотні діапазони, топологія мережі, мобільність абонентів. Мережі WiMAX повинні підтримувати взаємодію з іншими бездротовими (3GPP, 3GPP2) або провідними (DSL) мережами. Велике значення має здатність забезпечувати різні рівні якості обслуговування QoS.

### **2.2.2 Базова модель мереж WiMAX IEEE 802.16**

Базова модель (БМ) мережі WiMAX - це логічне уявлення мережевої архітектури WiMAX. Термін «логічна» в даному випадку означає, що модель розглядає набір стандартних логічних функціональних модулів і стандартних інтерфейсів (точок сполучення модулів).

БМ включає три основних елементи: безліч абонентських (мобільних) станцій, сукупність мереж доступу (ASN, Access Service Network) і сукупність мереж підключення (CSN, Connectivity Service Network). Крім того, в БМ входять так звані базові точки (R1...R8), через які відбувається сполучення функціональних модулів (рис. 2.5).

Мережа (мережі) ASN належить провайдеру мережі доступу (NAP, Network Access Provider) - організації, що надає доступ до радіомережі для одного або декількох сервіс-провайдерів WiMAX (NSP, Network Service Provider). У свою чергу, сервіс-провайдер WiMAX - організація, що надає IP-з'єднання і послуги WiMAX кінцевим абонентам. В рамках даної моделі саме сервіс-провайдери WiMAX укладають угоди з Інтернет-провайдерами, операторами інших мереж доступу, угоди про роумінг і т. п. Сервіс-провайдери по відношенню до абонента можуть бути домашніми і гостьовими, кожен зі своєю мережею CSN.

Мережа доступу ASN є безліч базових станцій бездротового доступу за стандартом IEEE 802.16 і шлюзів для зв'язку з транспортною IP-мережею (тобто з локальної або глобальної мережами передачі інформації). Фактично ця мережа пов'язує радіомережі IEEE 802.16 і IP-мережі. ASN включає як мінімум одну БС і як мінімум один ASN-шлюз. Але і базових станцій, і шлюзів в одній ASN може бути декілька, причому одна БС може бути логічно пов'язана з декількома шлюзами. БС в рамках даної моделі - це логічний пристрій, який підтримує набір протоколів IEEE 802.16 і функції зовнішнього сполучення.

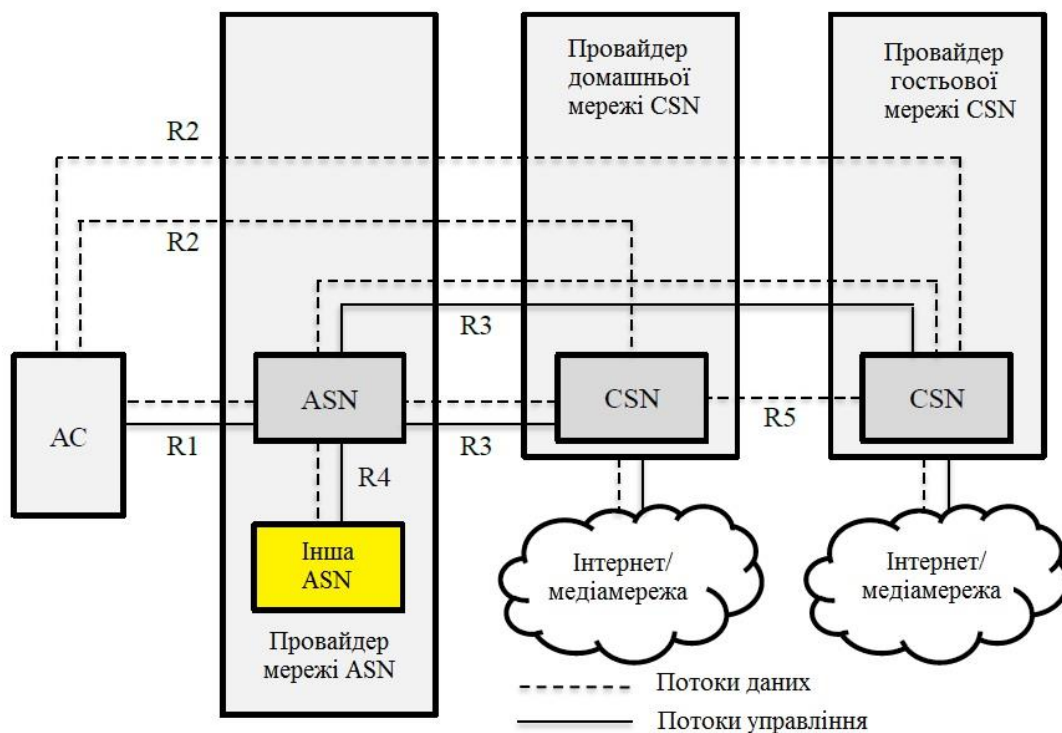


Рис. 2.5 Базова модель мережі WiMAX

Мережі ASN відповідають за передачу даних AC на другому логічному рівні і передають службові та інформаційні повідомлення AC, які поступають від мереж CSN. Стану готовності до підключення і забезпечення цілісного включення в мережу WiMAX для кожної AC накладає такі функціональні вимоги до ASN:

- виявлення мережі та вибір пріоритетного абонентом WiMAX NSP;
- підключення AC до мережі відповідно до правил другого логічного рівня IEEE 802.16;

- реалізація трансляє функції для організації підключень АС на третьому логічному рівні (виділення IP-адрес);

- управління радіоресурсами мережі;

- управління груповими розсилками;

- підтримка мобільності з прив'язкою до ASN;

- підтримка зовнішніх агентів для мобільності з прив'язкою до ASN;

- підтримка тунелів ASN - CSN;

управління персональними викликами і службами для визначення місця розташування абонентів;

- просування даних;

- авторизація сервісних потоків;

- підтримка рівнів QoS;

- управління доступом і контроль за дотриманням правил.

Перераховані функції мереж ASN розподіляються між БС і шлюзами ASN відповідно до профілів, визначеними в документі - Release 1.0. форуму WiMAX. На сьогоднішній момент описано три таких профілі: А, В і С. На рис. 2.6 представлена архітектура профілю С. Всі профілі забезпечують функціональну сумісність між CSN і іншими ASN через спеціальні опорні точки.

Профіль В має на увазі повну свободу виробника, йому відповідає як концентрація всіх функцій в одному пристрої, так і їх довільний розподіл. Профілі А і С надзвичайно схожі. Відмінність полягає в тому, що в профілі А функції контролера радіоресурсів і управління хендовера віднесені до ASN-шлюзу, а в профілі С - до базової станції. Незважаючи на це незначна відмінність, профіль А було офіційно закрито в 2007 р. на сесії WiMAX Forum, а загально визнаним стандартом став профіль С.

Шлюз ASN (шлюз радіопідмережі) - це логічний пристрій, який зв'язує базові станції однієї ASN з іншими мережами доступу і з мережею підключення CSN. Шлюз ASN забезпечує зв'язність як на рівні каналів передачі даних, так і на рівні управління. Шлюз ASN може бути представлений як сукупність двох груп



функціональних елементів: блоку рішення (DP, Decision Point) і блоку виконання (EP, Enforcement Point).

Блок рішення шлюзу ASN виконує функції управління інваріантно до виду використовуваних радіоінтерфейсів. Шлюз ASN може містити модуль, керуючий аутентифікацією і розподілом ключів, для реалізації інфраструктури AAA (Authentication, Authorisation, Accounting). Інфраструктура AAA перевіряє повноваження користувачів в процесі їх підключення або перепідключення до мережі за алгоритмом EAP і створює безпечне середовище з розподілом між АС і БС ключами. Інфраструктура AAA також відповідає за ведення статистики по абонентам.

Шлюз ASN реалізує управління поточним профілем АС і здійснює контроль за дотриманням правил CSN. Управління профілем АС включає в себе визначення і збереження аутентифікаційних даних, параметрів безпеки, а також налаштувань АС, необхідних при переключенні АС на іншу БС.

В процесі хендовера шлюз ASN здійснює перемикання каналу передачі даних до необхідної БС. Шлюз ASN також забезпечує цілісність переданих даних для мінімізації затримок поширення і зниження кількості втрачених пакетів. Шлюз ASN містить зовнішній агент для підтримки хендовера на третьому логічному рівні і взаємодії з домашнім агентом в разі переходу АС від однієї мережі ASN до іншої. Контролер персональних викликів і реєстр місцеположення в шлюзі ASN здійснюють підтримку персональних викликів і роботи АС в режимі очікування.

Блок виконання шлюзу ASN відповідає за фільтрацію пакетів, організацію тунелів, управлінням доступом, контроль за дотриманням правил, підтримку рівнів QoS і просування даних. Блок виконання може підтримувати протоколи IPv4/v6 і протоколи групової і індивідуальної маршрутизації, такі як BGP, OSPFv2, PIM, IGMP і т. д. Шлюз ASN є центральним елементом мереж ASN, виконує функції інтерфейсу до зовнішніх мереж і реалізує різні служби IP.

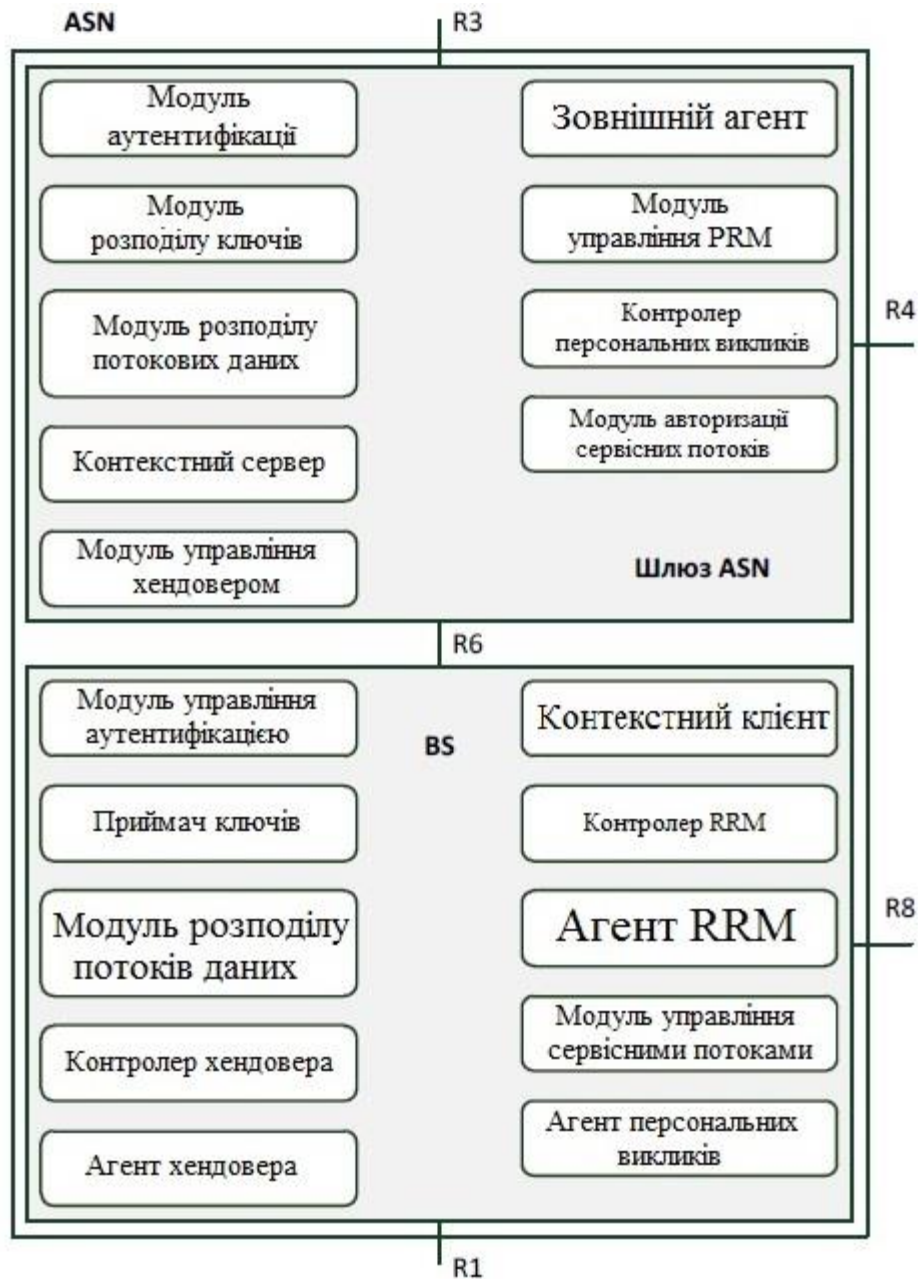


Рис. 2.6 Архітектура профіля С

Останнім розглянутим компонентом ASN є пристрій, який називається зовнішнім агентом (FA, Foreign Agent). Це - маршрутизатор, що відслідковує належність АС до тієї чи іншої БС в кожен момент часу для розподілу інформаційних потоків (рис. 2.7).

Мережа підключення CSN - це мережа оператора WiMAX, саме в ній реалізуються функції управління авторизацією, аутентифікації і доступу, підключення абонентів WiMAX до глобальних IP-мереж, надання таких послуг, як IP-телефонія, доступ до телефонних мереж загального користування, доступ в

Інтернет і приватні мережі і т. д. Базова модель мережі WiMAX допускає, що однією мережею доступу ASN можуть користуватися кілька сервіс-провайдерів, кожен зі своєю CSN. Навпаки, одна CSN може підключатися до мереж доступу різних провайдерів доступу (рис. 2.7).

Мережа CSN являє собою набір мережевих функцій, які забезпечують абонента WiMAX різними службами IP. CSN може виконувати такі функції:

- виділення IP-адрес;
- надання доступу до Інтернету;
- реалізацію сервера або проксі-сервера для інфраструктури AAA;
- управління доступом і контроль за дотриманням правил на основі профілів користувальницької підписки;
- підтримка тунелів ASN - CSN;

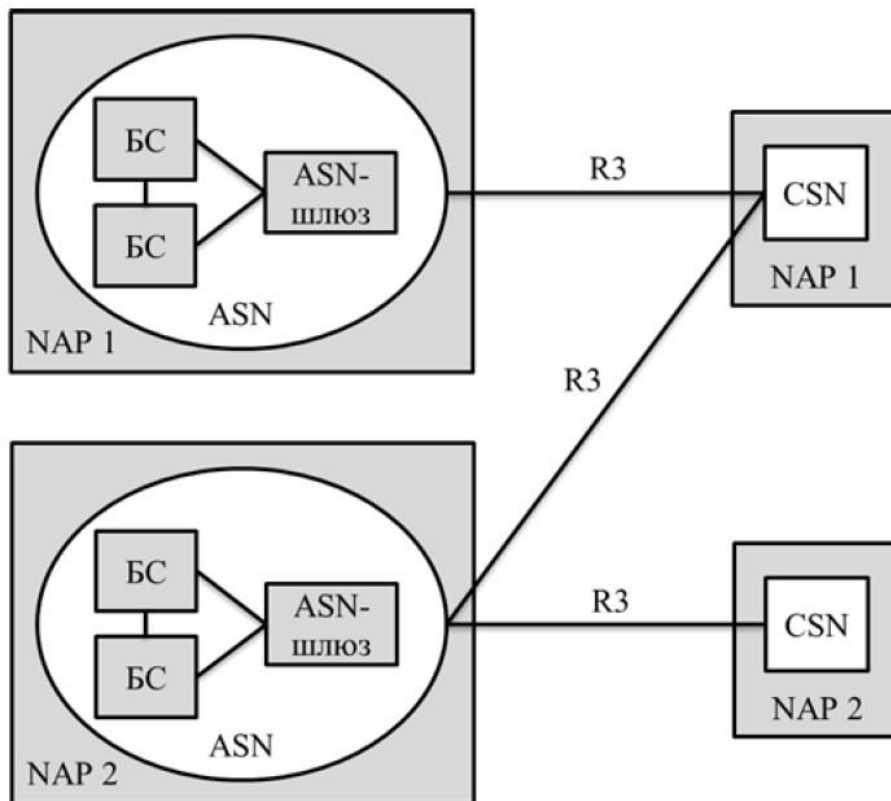


Рис. 2.7 Модель взаємодії мереж доступу і мереж підключення різних провайдерів

- облік оплати абонентських послуг;
- підтримка тунелів між CSN для роумінгу;

- підтримка переміщень абонента між різними ASN;
- підтримка спеціальних служб WiMAX таких, як служби, основанні на визначенні місця розташування абонента (LBS - location based services), однорангові служби, підключення спецслужб, групові розсилки і т. д.

Процедури аутентифікації, авторизації і контролю доступу виконує пристрій, який називається AAA-сервером. При цьому під аутентифікацією користувача розуміється перевірка його достовірності та можливості доступу в мережу, під авторизацією - виділення йому ресурсів мережі в відповідності до послуга, на які він підписаний і під контролем доступу - підрахунок спожитих користувачем ресурсів (кількість часу або розмір переданих даних) для формування рахунку за користування мережею. Також кожна CSN містить домашній агент (НА, Home Agent), котрий є роутером-шлюзом, розташованим на кордоні WiMAX мережі і зовнішніх мереж.

Опорні точки в рамках базової моделі мережі WiMAX - це канали зв'язку між базовими модулями. Вони визначають собою стандартні інтерфейси, причому не обов'язково фізичні, якщо з'єднуються опорною точкою модулі конструктивно знаходяться в одному пристрої. Призначення опорних точок описано в табл. 2.1. Опорні точки необхідні для того, щоб поліпшити функціональну сумісність пристроїв, що випускаються різними виробниками.

БС WiMAX є логічним об'єктом, який реалізує радіоінтерфейс і інтерфейс до IP-мереж. БС реалізує фізичний рівень і MAC-підрівень стандарту IEEE 802.16, а також одну або кілька функцій ASN для взаємодії зі шлюзом ASN і іншими БС. Екземпляр БС стандарту IEEE 802.16 підтримує один сектор з однією несучою частотою, одна БС може взаємодіяти з декількома шлюзами ASN для балансування навантаження і/або забезпечення надмірності даних. Фізично БС може включати в себе кілька об'єктів БС, так як БС визначена як логічний об'єкт. Основним елементом БС є планувальник завдань, що здійснює управління частотно-часовими ресурсами мережі при організації обміну в низхідному і висхідному каналах зв'язку.

Таблиця 2.1

## Призначення опорних точок БМ мережі WiMAX IEEE 802.16

Опорна точка (ОТ)	Призначення
R1	Канал зв'язку між мобільною станцією і мережею доступу ASN, бездротовий інтерфейс стандарту IEEE 802.16
R2	Канал між МС і шлюзом ASN або CSN, включає процедуру аутентифікації, авторизації АС і IP-конфігурації. Дана ОТ являє собою логічний інтерфейс, який зазвичай використовується для аутентифікації, авторизації конфігурації IP і управління мобільністю АС
R3	Містить набір протоколів для взаємодії ASN і CSN для реалізації процедур AAA і контролю за виконанням правил мережі. Дана ОТ застосовується, коли АС знаходиться в гостьовій мережі і обмінюється інформацією з домашньою мережею
R4	Канал зв'язку між ASN-шлюзами різних ASN-мереж або однією ASN-мережі. Дана ОТ використовується при переміщенні АС між різними ASN. На відміну від попередніх точок, між точками R4 можуть створюватися захищені з'єднання, в тому числі, з використанням протоколів IP-Sec або SSL VPN
R5	Канал зв'язку між мережею домашнього і гостьового сервіс-провайдера
R6	Інтерфейс між БС і ASN
R7	Віртуальний канал між блоками DP і EP в ASN-шлюзах
R8	Канал зв'язку безпосередньо між БС. Дана ОТ застосовується для передачі сигналізації в процесі хендовера і при балансуванні навантаження між декількома БС. Так само, як і для точок R4, між точками R8 можуть створюватися захищені з'єднання, в тому числі, з використанням IP-Sec або SSL VPN.

### 2.2.3 Підтримка мобільності в мережах WiMAX IEEE 802.16

Одним з головних напрямків в області опису і стандартизації мереж WiMAX IEEE 802.16 - забезпечення глобальної мобільності абонентів WiMAX, їх свободи переміщатися між різними мережами в усьому світі, постійно залишаючись на зв'язку.

У зв'язку з підтримкою мобільності в базовій моделі мережі WiMAX введені поняття домашній і гостьовий сервіс-провайдер відповідно, H-NSP і V-NSP (рис. 2.8). Домашній NSP - це оператор, який заключив договір про обслуговування з абонентом WiMAX. Саме він реалізує функції AAA. Для підтримки роумінгу домашній сервіс-провайдер WiMAX укладає роумінгові угоди з іншими NSP. Гостьовий NSP - це оператор, який надає WiMAX-абоненту послуги роумінгу. Перш за все, V-NSP забезпечує для такого абонента функції AAA, а також повний або частковий доступ до всіх послуг WiMAX-мережі.

У WiMAX-мережах виділяють два види мобільності: мікро- і макромобільність. Метод забезпечення мікромобільності застосовується в разі руху АС в межах однієї ASN. Всі функції виконує сама ASN за допомогою маршрутизатора FA. При цьому методі CSN не бере участі в процедурі передачі абонента від однієї БС до іншої (хендовер) і не освідомлена про неї. IP-адреса АС залишається незмінним. Процедура хендовера на радіоінтерфейсі визначена стандартом IEEE 802.16.

#### *Мобільність з прив'язкою до ASN (мікромобільність)*

В процесі переміщення АС змінює точку прив'язки. У разі, коли точка прив'язки (БС) належить тій же ASN, АС не змінює свій IP-адресу. Такий тип мобільності називається мобільністю з прив'язкою до ASN. Існує також мобільність з прив'язкою до CSN, при якій АС переміщується між зонами дії БС, що належать різним ASN.

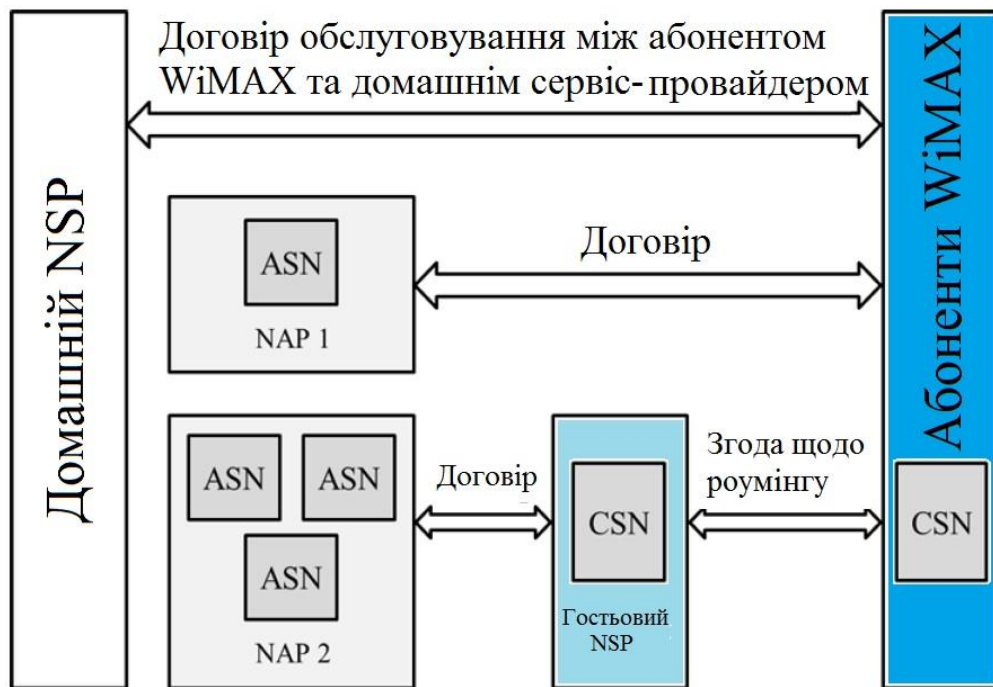


Рис. 2.8 Модель взаємодії операторів сервісних мереж WiMAX IEEE 802.16, мереж доступу і абонентів

### *Мобільність з прив'язкою до CSN (макромобільність)*

У разі, коли АС переміщається в зону покриття БС, що належить іншому ASN, має місце мобільність на основі IP, що призводить до перепрев'язці поточного зовнішнього агента до нового зовнішнього агента.

Метод забезпечення макромобільності необхідний при переміщенні АС між різними ASN. Його суть полягає в перемиканні шляху даних з одного інтерфейсу R3 на інший. Метод заснований на використанні MIP (Mobile IP) - інтернет-протоколу, що забезпечує пересування абонента між мережами без зміни його IP-адреси. Таким чином, пристрій, з яким абонент обмінюється інформацією, не помічає цього пересування. MIP має на увазі, що у кожного пристрою є два IP-адреси - основний (HoA), присвоєний йому в домашній мережі, і довиконавчий (CoA).

MIP використовує такі функціональні компоненти: MIP-клієнт (MIP client), FA, HA. MIP клієнт може розташовуватися в АС (CMIP, Client MIP) - в цьому випадку АС повинен бути привласнений глобальний CoA. Ця електронна адреса АС повідомляє HA домашньої мережі, який перехоплює всі повідомлення по HoA

і направляє їх по CoA (як правило, в режимі тунелювання і інкапсуляції). Також MIP клієнт може бути розташований в FA ASN, який буде діяти від імені MS, від якої не потрібно підтримки протоколу MIP. При цьому для всіх мереж, що лежать за межами ASN, в ролі CoA мобільної станції виступає IP-адреса зовнішнього агента. Справжній CoA AC присвоюється FA і використовується для маршрутизації пакетів всередині ASN. Основний IP-адреса мобільної станції для цих цілей не використовується через небезпеку його збігу з IP-адресою іншої AC, що працює всередині цієї ж ASN. У мережах WiMAX IEEE 802.16 обов'язкове підтримка обох випадків розташування MIP-клієнта.

НА містить таблицю відповідності IP-адреси AC (основного або до-виконавчого, в залежності від того, чи є даний NSP домашнім по відношенню до абонента) IP-адресою FA, до якого належить ця AC. Таким чином, НА має інформацію про те, до якого FA відправляти пакети, призначені даної AC.

#### **2.2.4 Якість обслуговування в мережах WiMAX IEEE 802.16**

У зв'язку з тим, що мережі WiMAX спочатку розглядалися як мережі операторського класу, питання забезпечення QoS в них первинні. Стандарт IEEE 802.16 питання забезпечення необхідної якості обслуговування пов'язує з конкретним сервісним потоком. Сервісним потоком називається потік даних, пов'язаний з певним додатком. Кожен потік має свій QoS-клас обслуговування, при цьому абоненту виділяється необхідна смуга пропускання - відповідний віртуальний канал, котрому присвоюється 16-розрядний ідентифікатор з'єднання CID (Connection Identifier). Клас обслуговування QoS може здаватися для кожного абонентського терміналу або призначатися для груп користувачів по MAC-, IP-адресами та ін. Існує п'ять QoS-класів обслуговування:

- клас доступу на першу вимогу UGS (Unsolicited Grant Service), при якому абонентській станції негайно надається наперед визначена (при підключенні до мережі) фіксована швидкість передачі. Незважаючи на застосування комутації пакетів, цей клас дозволяє емулювати безперервний канал зв'язку і, як при



комутації каналів, забезпечує постійну швидкість передачі, що потрібно, наприклад, в традиційній телефонії;

- клас доступу зі змінною швидкістю з передачею даних в режимі реального часу RT-VR (Real-Time Variable Rate), при якому АС передає інформацію, чутливу до затримок, зі змінною швидкістю без втрати якості. Таким способом може передаватися відеоінформація зі змінним стисненням;

- клас доступу зі змінною швидкістю без передачі даних в режимі реального часу NRT-VR (Non-Real-Time Variable Rate) використовується для передачі інформації нечутливої до затримок, але вимогливою до гарантованої швидкості. Наприклад, цей клас використовується для передачі файлів (протоколи FTP, HTTP);

- клас доступу в режимі максимально можливої в даний момент швидкості BE (Best Effort) використовується для передачі даних, не критичної до швидкості передачі і часу затримки. Переважно цей клас використовується для передачі даних в Інтернеті;

- для передачі даних додатків реального часу вводиться проміжний між UGS і RT-VT п'ятий розширений клас доступу зі змінною швидкістю з передачею даних в режимі реального часу ERT-VR (Extended Real-Time Variable Rate), який забезпечує постійну швидкість і затримку, наприклад, при передачі голосу з придушенням пауз.

Інфраструктура QoS включає в себе наступні елементи:

- служби зі встановленням з'єднання;
- служби доставки: UGS, RT-VR, ERT-VR, NRT-VR;
- модулі забезпечення необхідних параметрів QoS для кожного абонента окремо;
- модулі управління доступом на основі політик дозволу;
- служби створення статичних або динамічних сервісних потоків.

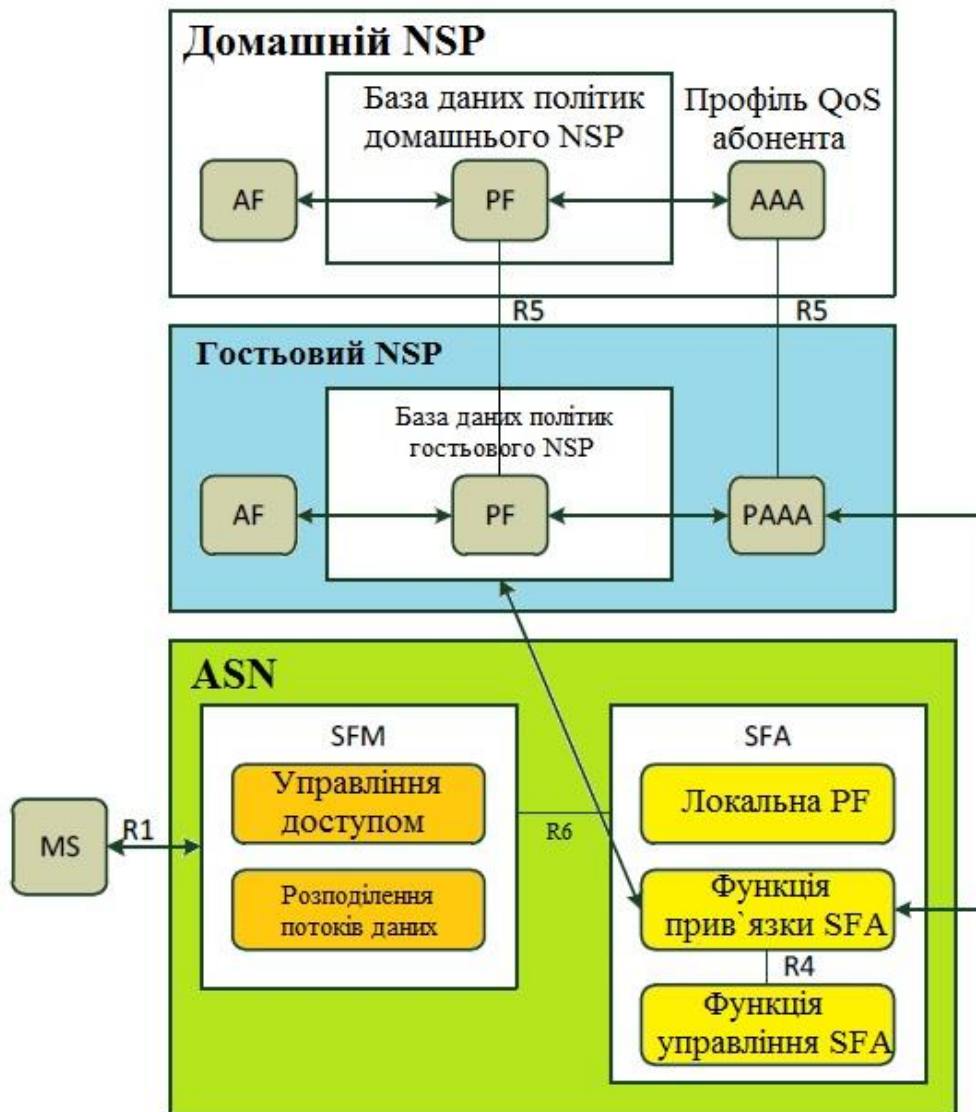


Рис. 2.9 Підтримка QoS в системах WiMAX

Внаслідок того, що в стандарті IEEE 802.16 інфраструктура QoS підтримується і в базових мережах (а не тільки в БС і АС), для ефективного обслуговування абонентів з різними вимогами QoS в мережі необхідні додаткові функціональні елементи: модулі управління стратегіями роботи (PF - Policy Function), управління доступом (AC - Admission Control), авторизації сервісних потоків (SFA - Service Flow Authorization). На рис. 2.9 показані елементи, які здійснюють зазначені функції. Модуль управління стратегіями роботи разом з відповідними базами даних відноситься до NSP. Інфраструктура AAA функціонує спільно з модулями управління стратегіями роботи для визначення прав кожного користувача на роботу з певними рівнями QoS і вибудовування відповідних

стратегій роботи абонента. Модуль авторизації сервісних потоків зазвичай розміщується в шлюзі ASN і використовує інформацію, отриману від модуля управління стратегіями роботи в процесі підключення абонентів до мережі і для управління сервісними потоками.

Після того, як завантажені профілі QoS модуль авторизації сервісних потоків створює, приймає і пускає в хід заздалегідь підготовлені сервісні потоки. Більш того, в разі, коли для користувача профіль QoS не вдалося завантажити, модуль управління стратегіями роботи може ініціювати створення нових сервісних потоків, які надалі будуть використовуватися в якості попередньо підготовлених.

### **2.2.5 Спеціальні служби WiMAX**

В технології WiMAX запропоновано безліч нових служб, покликаних не тільки забезпечити просту мережеву інтеграцію для постачальників послуг, а й запропонувати абонентам послуги зв'язку наступного покоління. Далі будуть коротко описані деякі спеціальні служби WiMAX, пропоновані на форумі WiMAX в релізі 1.5.

#### *Служби групових ширококомовних розсилок*

Служби групових ширококомовних розсилок (Multicast Broad-cast Services - MCBCS) в мережах WiMAX доповнюють інфраструктуру аналогічних служб, описаних у стандарті IEEE 802.16. Прикладом виконання служби групових ширококомовних розсилок є потокове відео; місцеві ширококомовні повідомлення абонентів про різні локальні і соціальних події (концерти, спортивні матчі і т. д.); інтерактивні онлайн ігри; послуга «натисніть і говори» (push-to-talk); завантаження файлів; попередньо заплановане завантаження файлів; завантаження різних посібників, довідників і путівників; служби оповіщення (вуличний рух, прогноз погоди і т. д.); звуковий живий журнал; інтерактивне телебачення; контроль в реальному часі; відеоконференції; відео за запитом і т. д.

Служби групових ширококомовних розсилок можуть застосовувати в базовій мережі стандартні протоколи IP для групової маршрутизації такі, як PIM-SM, DVMRP і т. п., Причому дублювання пакетів здійснюється спеціальними груповими маршрутизаторами в напрямку ASN і CSN. У кожній зоні групових ширококомовних розсилок може функціонувати спеціальний сервер (рис. 2.10), який містить інформацію про БС, що належать даній зоні мовлення і що беруть участь в груповій ширококомовній розсилці. Такий сервер забезпечує підключення абонентів до служби групових ширококомовних розсилок по протоколу IGMP і передачу необхідного контенту абоненту по з'єднання з заданим CID (рис. 2.10).

Служба групових ширококомовних розсилок може призупинити передачу даних в разі, коли в даній зоні мовлення відсутні підключені до служби абоненти.

#### *Служби, засновані на визначенні місця розташування абонента*

##### *(LBS - location based services)*

Значна кількість сучасних додатків для мобільних користувачів використовує в процесі роботи інформацію про позиціонування користувача. Мережі WiMAX передбачають можливість визначення місця розташування абонентів для функціонування служб LBS, забезпечення екстрених викликів, підключення спецслужб країни, а також для оптимізації роботи мережі (наприклад, хендовер на основі знання місця розташування абонента і рівномірний розподіл трафіку між БС). Система зі службою LBS містить сервер розташування (Location Server - LS), контролер розташування (Location Controller - LC) і агент розташування (Location Agent - LA) (рис. 2.11).

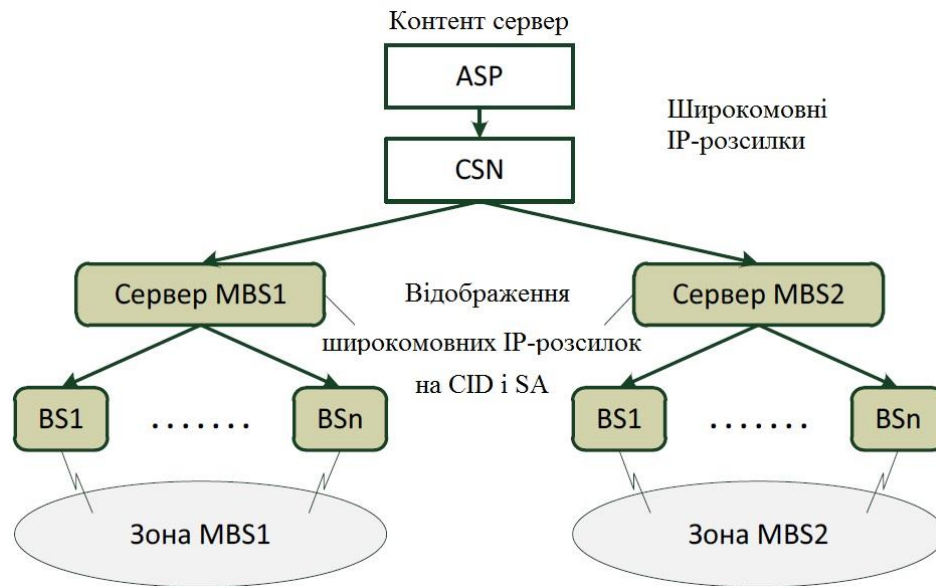


Рис. 2.10 Приклад системи групових широкомовних розсилок

Сервер розташування, що розміщується в CSN, є центральним елементом служби LBS, який збирає з мережі доступу інформацію про місцезнаходження абонентів і надає її авторизованим об'єктам. Щоб пристрій відобразився на службі LBS сервер розташування взаємодіє з AAA для отримання спеціального ідентифікатора авторизацію.

Контролер розташування, що розміщується в шлюзі ASN, забезпечує отримання інформації про місцезнаходження абонента на основі різних алгоритмів з використанням ресурсів мережі або на основі даних безпосередньо від абонента (наприклад, інформація про координати абонента, отримана від вбудованого GPS-приймача).

Агент розташування розміщується в БС і виконує вимірювання.

Всього можливі два типи служб LBS: з визначенням місця розташування на основі даних від абонента і з визначенням місця розташування засобами самої мережі. У першому випадку використовується спеціальні сигнали від БС або інформація про координати від вбудованого GPS-приймача. Абонент підключається до такої служби в процесі входу в мережу і отримує навігаційні дані в сервісну нотатку LBS-ADV. АС використовує цю інформацію і передає її до своїх програм.

Визначення місця розташування абонента засобами мережі може бути ініційовано або АС, або самою мережею. АС може мати вбудований GPS-приймач, інформація з якого може пересилатися в мережу для підвищення точності визначення координат. Мережі WiMAX можуть також передавати абонентам супутникові ефемериди для зменшення часу холодного старту GPS-приймача.

Опорні БС передають спеціальні опорні сигнали і допоміжні інформацію для визначення місця розташування в низхідному каналі (відносна затримка, кругова затримка, RSSI - Received Signal Strength Indication), в висхідному каналі для визначення місця розташування можуть використовуватися спеціальні сигнальні конструкції або службові повідомлення RNG-REG.

При визначенні місця розташування на основі даних від абонента для триангуляції використовуються опорні сигнали спадного каналу, при цьому опорні БС обмінюються даними для забезпечення взаємної синхронізації високого ступеня точності. При визначенні місця розташування під управлінням мережі виконується визначення координат абонента, якого обслуговує БС і визначення значення параметра CINR (Carrier-to-Interference + Noise Ratio). Також в цьому випадку АС може виконувати розрахунок для визначення місця розташування по опорним сигналам спадного каналу і пересилати результати назад в мережу.

### *Інтерфейси для підключення спецслужб*

Мережі WiMAX надають спеціальні інтерфейси для підключення спецслужб (Lawful Intercept - LI) з метою перехоплення пакетних повідомлень відповідно до законодавства деяких країн.

Інфраструктура, що забезпечує інтерфейси для підключення спецслужб, включає в себе функцію доступу (Access Function - AF), функцію доставки (Delivery Function - DF), функцію збору (Collection Function - CF), адміністрування постачальника послуг (Service Provider Administration) і управління правозастосування (Law Enforcement Administration).

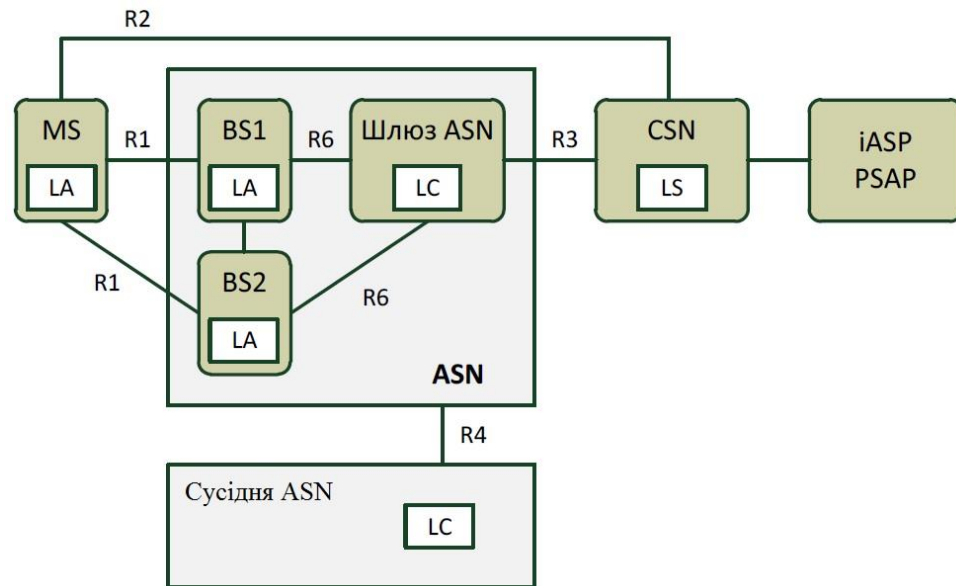


Рис. 2.11 Структура служби LBS в мережах WiMAX

Функція доступу складається з однієї або декількох точок перехоплення (Intercept Access Points - IAPs), які розташовані в одній або декількох ASN/CSN. Точки IAP забезпечують перехоплення повідомлень на основі протоколу CALEA8 і надають дані про перехоплення сервера перехвату повідомлень (Lawful Interception Server - LIS). Існує два типи точок IAP: точки, що надають загальну інформацію про з'єднання і точки, що надають дані про з'єднання. Точки IAP збирають і передають на LIS дані, отримані в процесі перехоплення повідомлень.

Функції збору і доставки забезпечують можливість підключення до одних і тих же точок перехоплення різних спецслужб.

### *Універсальний інтерфейс*

Універсальний інтерфейс (Universal Services Interface - USI) представляє собою інфраструктуру для підключення до мереж WiMAX різних довірених сторонніх постачальників послуг Інтернет (наприклад, Google, E-Bay, Yahoo! та ін.). Універсальний інтерфейс дозволяє динамічно підключати різні служби і вбудовувати їх в мережу WiMAX.

## 3 РІВЕНЬ ДОСТУПУ ДО СЕРЕДОВИЩА МЕРЕЖ WiMAX

### 3.1 Підрівні стандарту IEEE 802.16

На рис. 3.1 схематично зображено структуру системи WiMAX, що включає в себе мережі ASN і CSN, шлюзи ASN, сервери AAA і DHCP, базові та мобільні станції. Як можна помітити з рисунка, БС має два інтерфейси: радіо- і мережевий. Повітряний інтерфейс включає в себе модулі фізичного рівня і підрівня доступу до середовища (PHY- і MAC-модулі), тоді як мережевий інтерфейс включає в себе мережевий модуль. Таким чином, підрівень MAC повинен забезпечувати взаємодію між фізичним рівнем і мережевим модулем.

MAC підрівень стандарту IEEE 802.16, в свою чергу, складається з трьох підрівнів (рис. 2.3):

- підрівня конвергенції;
- загальної частини (ядра) підрівня MAC;
- підрівня безпеки.

Підрівень конвергенції виконує класифікацію даних вищих рівнів і призначає їм окремі сеанси зв'язку (з'єднання) з параметрами, відповідними затребуваним рівнями QoS. Дані вищих протоколів інкапсулюються в MAC SDU з необов'язковим восьмибітним полем компресії заголовків (Payload Header Suppression index, PHSI). У БС реалізується планувальник завдань, який вибирає в якому порядку, на яких піднесучій і з яким профілем передавати SDU.

Склад і функції підрівня конвергенції (Convergence Sublayer, CS) залежать від вищестоящих служб, при цьому сам підрівень виконує проміжну обробку даних, отриманих від вищих рівнів через службову точку входу CS (Service Access Point, SAP). В ході такої обробки здійснюється видалення надлишкових заголовків з пакетів вищих рівнів, компресія і фрагментація даних і упаковка їх в пакети MAC-підрівня - MAC SDU (Service Data Unit). Далі пакети SDU надходять в ядро підрівня MAC (MAC Common Part Sublayer, CPS) через відповідну точку



входу (MAC SAP). Ядро підрівня MAC може взаємодіяти з підрівнями конвергенції, оброблюючи пакети різних протоколів вищих рівнів.

Така рівнева архітектура підрівня MAC стандарту IEEE 802.16 дозволяє залишати ядро підрівня MAC однаковим для систем WiMAX, що використовують протоколи IPv4, IPv6, ATM, Ethernet або ін. Підтримка різних протоколів ховається в підрівні конвергенції.

Основною функцією підрівня конвергенції крім упаковки даних в SDU є призначення цим пакетам ідентифікаторів з'єднань (Connection Identifier, CID) і ідентифікаторів сервісних потоків (Service Flow Identifier, SFID). У стандарті IEEE 802.16 представлені підрівні конвергенції для наступних систем і протоколів.

1. ATM.
2. Пакетний підрівень конвергенції для IPv4.
3. Пакетний підрівень конвергенції для IPv6.
4. Пакетний підрівень конвергенції для Ethernet (802.3).
5. Пакетний підрівень конвергенції для VLAN (802.1/Q).
6. Пакетний підрівень конвергенції для IPv4 поверх Ethernet.
7. Пакетний підрівень конвергенції для IPv6 поверх Ethernet.
8. Пакетний підрівень конвергенції для IPv4 поверх VLAN.
9. Пакетний підрівень конвергенції для IPv6 поверх VLAN.
10. Пакетний підрівень конвергенції для 802.3 з тегами VLAN і стисненням заголовків за алгоритмом ROHC.
11. Пакетний підрівень конвергенції для 802.3 з тегами VLAN і стисненням заголовків по алгоритм ERTCP.
12. Пакетний підрівень конвергенції для IPv4 і стисненням заголовків за алгоритмом ROHC.
13. Пакетний підрівень конвергенції для IPv6 і стисненням заголовків за алгоритмом ROHC.

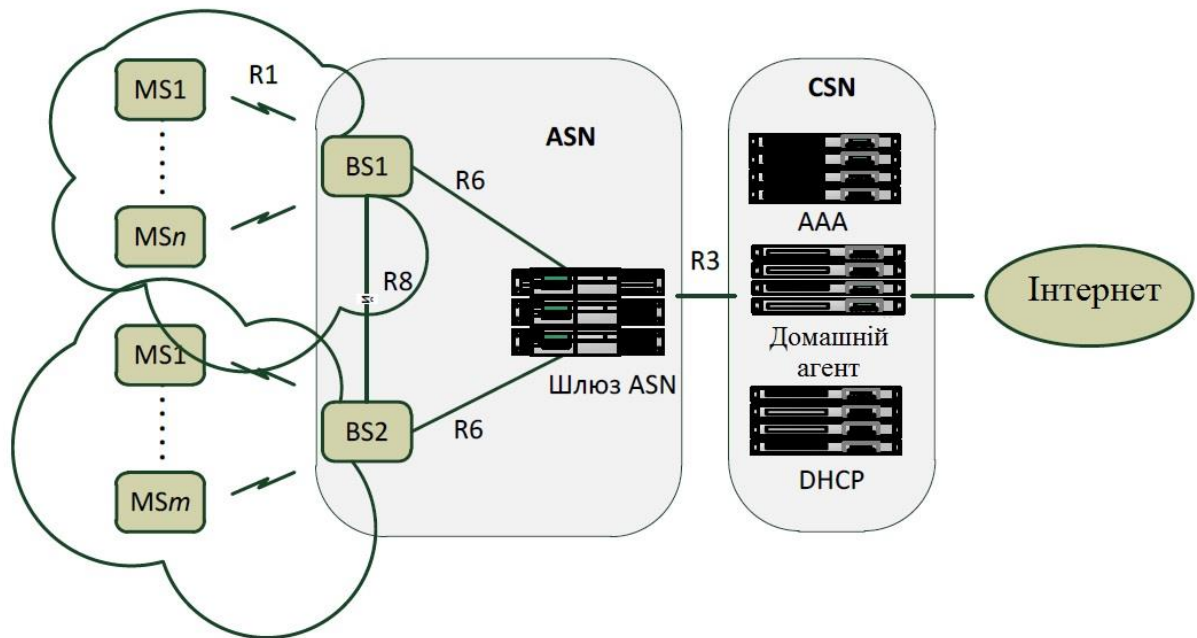


Рис. 3.1 Структура системи WiMAX

У загальній частині підрівні MAC реалізовані методи множинного доступу, управління ресурсами, установки з'єднань та функції підтримки працездатності системи. В ядрі MAC підрівня також забезпечується робота системи безпеки WiMAX і надається точка входу на фізичний рівень мережі для передачі даних по радіоінтерфейсу.

На рис. 3.1 R1 - ОТ для фізичного рівня WiMAX, R3 - ОТ між шлюзом ASN і CSN, R6 - ОТ між шлюзом ASN і БС, R8 - ОТ між БС.

#### *Компресія заголовків пакетів (Packet Header Suppression, PHS)*

Компресія заголовків застосовується для запобігання передачі повторюваних полів заголовків (під час однієї сесії зв'язку значення деяких полів заголовків не змінюється), що призводить до зниження накладних витрат при передачі. Наприклад, в процесі сеансу зв'язку по IP-протоколу IP-адреси відправника і одержувача повідомлень залишаються незмінними. Ці поля можна замінити на спеціальне число в передавачі і потім вставляти їх на приймальній стороні. Позитивний ефект від компресії заголовків стає найбільш помітним при передачі даних короткими пакетами, наприклад, як в VoIP.

Компресія заголовків пакетів, визначена в стандарті IEEE 802.16, не є обов'язковою для систем WiMAX. Форумом WiMAX визначено спеціальний алгоритм компресії заголовків RObust Header Compression (ROHC).

Включення і налаштування компресії заголовків пакетів виконується в процесі створення сервісного потоку між БС і АС. Існує кілька заздалегідь визначених правил компресії заголовків, які можуть змінюватися в залежності від типу запущеного додатку (VoIP, HTTP, FTP та ін.)

Після того, як підрівень конвергенції отримує SDU від вищого рівня він ставить йому у відповідність SFID і CID і визначає наявність для даного сервісного потоку правила компресії заголовків. На основі цього правила здійснюється пошук полів, які підлягають компресії. До обробленого SDU додається індекс PHSI. На приймальній стороні PHSI застосовується для відновлення стислих полів заголовка.

### **3.2 Принципи функціонування загального підрівня MAC**

У низхідному каналі БС працює в широкомовному режимі за схемою – «точка-багатоточка», тобто, сигнали, що випромінюються БС, приймають всі абоненти. Кожна БС обслуговує одну соту, причому на БС застосовуються секторні антени, кожній з яких може зіставлятися окремий екземпляр підрівня MAC. В межах одного сектора і одного частотного підканалу всі АС приймають один і той же сигнал (або його частина, в разі, коли абонент знаходиться в поганих умовах для прийому). Таким чином, БС не повинна координувати свої передачі з будь-якими іншими станціями.

У разі, коли в повідомленні DL-MAP в явному вигляді відсутнє, про те кому призначена та чи інша частина низхідного кадру, кожна АС може її приймати. В цьому випадку АС перевіряє CID, що містяться в переданих PDU і залишає, тільки ті, які адресовані їй.

Висхідний канал є загальним для всіх абонентів, доступ до висхідного каналу здійснюється за запитом. Залежно від класу обладнання абоненту можуть бути присвоєні права на постійну передачу даних або на передачу тільки порції даних за запитом від користувача.

В ході сеансу зв'язку БС і АС обмінюються службовими та інформаційними повідомленнями. Між БС і АС може бути встановлено декілько з'єднань з різними параметрами QoS, тому необхідно здійснювати ідентифікацію кожного з'єднання. Зазвичай АС має унікальний 48-бітний MAC-адреса, також БС кожному з'єднанню призначає унікальний 16-бітний ідентифікатор з'єднання (CID).

Коли АС вперше підключається до мережі, БС призначає їй дві пари керуючих CID. Більш того, за допомогою спеціальної процедури БС може призначати абоненту третю пару керуючих CID, які дозволять самій мережі управляти деякими параметрами АС.

Кожна пара керуючих з'єднань включає в себе два ідентифікатори (CID) односпрямованих з'єднань для низхідного і висхідного каналів відповідно.

Існує три види керуючих з'єднань і, відповідно, три типи керуючих CID: основний, головний і додатковий.

Основне керуюче з'єднання застосовується, коли БС і АС обмінюються короткими, терміновими керуючими повідомленнями. Головне керуюче з'єднання застосовується, коли БС і АС обмінюються більш довгими і менш вимогливими до затримки службовими повідомленнями. Додаткове керуюче з'єднання необхідно для передачі повідомлень різних протоколів, не вимогливих до часових затримок (наприклад, DHCP, TFTP, SNMP і т. п.).

Зауважимо, що за керуючим з'єднанням не передається корисна інформація. Для передачі абонентських даних виділяються спеціальні з'єднання.

Крім індивідуальних повідомлень можуть також передаватися групові повідомлення і ширококомвні повідомлення будь-кому АС.

У кожному секторі користувачі здійснюють передачу даних під керуванням спеціальних протоколів, що запобігають колізії і забезпечують виділення

кожному абоненту необхідної смуги частот відповідно до вимог по якості обслуговування. Це досягається за рахунок застосування чотирьох різних механізмів планування для висхідного каналу, в яких послідовностях опитування (полінг), надання смуги частот без попереднього запиту і процедури вирішення колізій. Виробники можуть використовувати різні механізми надання смуги частот абонентам при збереженні відповідності обладнання вимогам взаємної сумісності. Наприклад, процедури вирішення колізій можуть застосовуватися для запобігання послідовного опитування АС, яка неактивна на протязі тривалого інтервалу часу. Застосування послідовного опитування спрощує процедуру доступу і гарантує отримання додатком необхідних ресурсів мережі.

Підрівень MAC стандарту IEEE 802.16 орієнтований на передачу даних за встановленими з'єднанням. З метою підтримки різних рівнів QoS вся передача даних здійснюється в контексті транспортних з'єднань. При підключенні абонента до мережі йому призначаються сервісні потоки, а з кожним потоком може бути асоційоване одне транспортне сполучення. У кожному сервісному потоці визначено параметри QoS для переданих в поточному з'єднанні PDU. Також нові транспортні сполучення можуть встановлюватися в процесі зміни служби, якою користується абонент.

Концепція сервісних потоків і транспортних сполучень є центральною в підрівні MAC-мереж IEEE 802.16. Сервісні потоки надають механізми для управління якістю обслуговування в висхідному і низхідному каналах. Наприклад, вони є невід'ємною частиною процесу виділення пропускну здатності. АС запитує в висхідному каналі необхідну їй смугу частот окремо для кожного з'єднання (сервісного потоку), а планувальник завдань БС в свою чергу приймає рішення про виділення АС запитуваних ресурсів.

Одного разу встановлені транспортні сполучення можуть затребувати активного обслуговування. Вимоги до обслуговування змінюються в залежності від типу служби, яка використовується. Наприклад, для передачі трафіку T1 без ущільнення не потрібно управління з'єднанням, так як для таких каналів виділяється постійна смуга частот. Для передачі даних по T1 з ущільненням

необхідно незначне управління внаслідок того, що необхідна смуга частот може повільно змінитися з часом. Для передачі IP-даних потрібне активне управління транспортним сполученням, так як IP-трафік має пульсуючий характер, і висока ймовірність фрагментації переданих даних. Після встановлення з'єднання між БС і АС управління з'єднанням здійснюється командами як від АС, так і від БС. Також транспортні з'єднання можуть завершуватися по команді від АС або від БС, коли затребувані параметри зв'язку служби, до якої підключений абонент, змінюються.

Як зазначалося вище, в стандарті IEEE 802.16 кожна АС повинна мати 48-бітний MAC-адреса, який однозначно визначає цю АС. MAC-адреса використовується в процесі підключення АС до мережі, а також в процесах аутентифікації і авторизації абонентів. Кожному з'єднанню ставиться у відповідність спеціальний 16-бітний ідентифікатор з'єднання (CID). В процесі встановлення з'єднання АС призначаються три пари керуючих з'єднань для підтримки різних рівнів QoS.

У кожному з'єднанні для висхідного і низхідного каналів призначаються один і той же ідентифікатор. Службові повідомлення підрівня MAC ніколи не передаються по транспортним сполученням, тоді як дані різних служб не передаються по каналах управління.

Зауважимо, що з'єднанням з одним і тим же CID можуть користуватися кілька служб вищих рівнів. Наприклад, в межах компанії безліч користувачів передає дані по протоколам TCP/IP різним адресатам, але, так як всі TCP-з'єднання використовують одні і ті ж параметри, трафік всіх користувачів об'єднується на підрівні MAC мережі WiMAX і передається по одному з'єднанню.

## ВИСНОВКИ

Стрімкий розвиток характеристик мультимедійного контенту, мобільних технологій, комп'ютерних систем та штучного інтелекту вимагає нових інноваційних інформаційних мереж зв'язку для взаємодії як з людиною так і з гаджетами. Мережі зв'язку стандарту WiMAX – це еволюційні системи 3-го покоління як фіксованого так і стільникового зв'язку з рядом значно покращених характеристик і високих стандартів якості надання телекомунікаційних послуг.

Перший розділ роботи присвячено аналізу механізмів та принципів функціонування мережі зв'язку стандарту WiMAX. Проведено аналіз технічних характеристик стандарту, розглянуто основні технології та принципи функціонування мережі.

В другому розділі роботи проведено аналіз загальних принципів побудови мереж технології WiMAX. Розглянуті стандарти технології, їх відмінності. Проведено аналіз структури мережі, її архітектури, якості обслуговування та спеціальних служб WiMAX.

Третій розділ роботи розкриває питання пов'язані з рівням доступу до середовища мереж WiMAX. Розглянуто підрівні мережі та основні принципи функціонування загального підрівня MAC мережі.

Виходячи з проведеного аналізу технічних аспектів проектування мережі можна також зазначити наступне: не дивлячись на стрімкий темп набуття популярності технології LTE, мережі WiMAX мають ряд своїх переваг (економічна ефективність, універсальність, надійність). Вони ефективно вирішують питання стаціонарного та мобільного ШСД, а остання модифікація (WiMAX 2+) створює конкуренцію існуючим мережам технології LTE.