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

# Пояснювальна записка

до бакалаврської роботи

на тему: **“ Аналіз впровадження технологій стандарту Wi-MAX на телекомунікаційні мережі”**

Виконав: студент 4 курсу, групи
ТСД-43
спеціальності

172 Телекомунікації і радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Корольов Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль_____

Київ - 2021

# ЗМІСТ


| | | | стр. |
|---|---|---|---|
| ВСТУП…….. | | | 8 |
| 1 | ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО WI-MAX…….. | | 9 |
| 1.1 | Призначення технології Wi-MAX……. | | 9 |
| 1.2 | Структура мережі Wi-MAX…… | | 13 |
| 1.3 | Огляд і порівняння технологій бездротових мереж……. | | 15 |
| 1.3.1 | Технологія Wi-MAX…… | | 17 |
| 1.3.2 | Технології стільникових систем 3G……... | | 19 |
| 2 | ФІЗИЧНИЙ РІВЕНЬ МЕРЕЖ WI-MAX……... | | 22 |
| 2.1 | Основні параметри сигналу фізичного рівня…… | | 23 |
| 2.2 | Структура кадру……... | | 25 |
| 2.2.1 | Частотно-часові ресурси, слоти. Ущільнення користувачів на основі OFDMA…… | | 25 |
| 2.2.2 | Структура кадру в режимі часового дуплексу…….. | | 29 |
| 2.2.3 | Структура преамбули…….. | | 33 |
| 2.2.4 | Повідомлення DLFP і FCH……. | | 34 |
| 3 | МОДЕЛІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ WI-MAX…… | | 38 |
| 3.1 | Етапи впровадження технології Wi-MAX……. | | 38 |
| 3.1.1 | Забезпечення зв’язку з мобільними об’єктами……. | | 38 |
| 3.1.1 | Перспективи розвитку……. | | 39 |
| 3.2 | Економічні розрахунки……... | | 40 |
| ВИСНОВКИ……. | | | 46 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……... | | | 48 |
| ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ……... | | | 50 |

# ВСТУП

При сучасному розвитку інформаційних технологій розвитку піддався і мультимедійний контент: відео, аудіо, потокове мовлення, онлайн-ігри і т.д. Разом з цим змінюються і способи передачі даних. Еволюцією в питаннях передачі інформації є розвиток технологій бездротових систем.

Слід відзначити, що на ряду з роботою з мультимедійним контентом система зв'язку повинна забезпечувати користувача і якісними телекомунікаційними послугами (дзвінки, передача коротких текстових повідомлень і т.д.). Одним з способів задоволення вищезазначених потреб користувачів є розгорнута робота систем зв'язку 3-го покоління. Проте в сучасному ритмі життя навіть модернізовані системи не завжди відповідають даним вимогам. Виникають проблеми обмеженої ємкості мережі, швидкості передачі даних, захисту інформації та технічного обслуговування обладнання.

Саме тому, одним з способів вирішення подібних проблем є модернізація існуючих систем зв'язку та на їх основі розгортання нової мережі - Wi-MAX. Одним з основних питань для організації мережі є побудова, налаштування та підтримка працездатності комплексів і елементів зв'язку. Виникають труднощі не лише з встановленням обладнання, але і з економічної точки зору, тому одним з актуальних питань розгортання мережі Wi-MAX є її економічна рентабельність.

Для вирішення цього та ряду інших питань використовуються моделі розгортання мережі. Завдяки чому стає можливим проектування мережі на конкретній місцевості, а в деяких випадках відповісти на ряд економічних питань.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО WI-MAX

## 1.1 Призначення технології Wi-MAX

Існуючі системи дротового цифрового зв'язку вже не можуть в повній мірі задовольняти зростаючі потреби високошвидкісного широкосмугового доступу. Найважливішими їх недоліками є тривалі терміни прокладки, складності розширення, високі витрати, проблема «останньої милі». Основний є так звана проблема «останньої милі». Високошвидкісні цифрові з'єднувальні лінії DSL (Digital Subscriber Line) не знімають цієї проблеми.

Технологія Wi-MAX дозволяє вирішити цю проблему в найкоротші терміни, оскільки не вимагає прокладки сполучних ліній до будівель. Значно простіше розвернути по місту мережу базових станцій (на зразок мережі станцій стільникового зв'язку). Кожна базова станція в типовому варіанті покриває зону радіусом 6-8 км (можливі зони радіусом до 30-50 км). У цій зоні кожна базова станція (BS) за схемою «точка-багатоточка» здатна передавати/приймати сигнали від сотень будівель, всередині яких знаходиться телекомунікаційне обладнання користувачів. На цих будівлях встановлюються антени, до яких підключаються станції клієнтів SS (Subscriber Station). Користувача устаткування по Ethernet, IP, DECT, E1 (T1) підключається всередині будівлі до SS. До неї ж підключається обладнання, що підтримує стандарт IEEE 802.11.

Базові станції через мережі електрозв'язку мають вихід в національні, міжнародні та Інтернет-мережі.

Wi-MAX - це технологія операторського класу з високою якістю сервісу. Забезпечує мультисервісний, гнучкий розподіл частот, завдання пріоритетів різним видам трафіку, можливість забезпечення різного рівня якості (QoS), підтримка інтерфейсів IP, TDM E1/T1. Ця технологія дозволяє паралельно передавати голос, мультимедійну інформацію та цифрові дані по одному каналу зв'язку. Важливою перевагою є можливість швидко нарощувати ємність і розширювати територію зв'язку. Базові станції не вимагають наявності високих

щогл, досить розмістити їх антени на високих будівлях або існуючих щоглах висотою близько 50 м.

Одна базова станція в мережі стандарту 802.16 може обслуговувати велику кількість користувачів і надавати їм послуги різного рівня: наприклад, для 60 бізнес-користувачів - послуги по каналу E1 (зі швидкістю 2,048 Мбіт/с) і одночасно для сотень домашніх користувачів з меншими смугами необхідних частот .

Стандарт 802.16 забезпечує високий рівень конфіденційності і безпеки повідомлень, шифрування трафіку в межах всієї бездротової мережі. Забезпечується транспорт голосових даних по IP - VoIP, транспорт потоків TDM, організація приватних каналів E1/ T1. За допомогою Wi-MAX можна об'єднувати локальні мережі віддалених офісів (Transparent LAN-TSL).

Спочатку стандарт 802.16 передбачав можливість розгортання в діапазоні частот 10-66 ГГц в виділених для цього смугах частот і передбачав з'єднання тільки в межах прямої видимості. Розширення стандарту 802.16a, прийняте в січні 2003 р, працює в діапазоні більш низьких частот: 2-11 ГГц, що дозволяє організовувати зв'язок на більш великих територіях. Крім того, в даний момент спеціальна робоча група з просування 802.16a розглядає можливість організації роумінгу між різними мережами 802.16a, щоб зробити цей тип зв'язку аналогом мобільної телефонії. Існує навіть спеціальна група по просуванню стандарту 802.16e, що займається організацією роумінгу між мережами різних бездротових стандартів, щоб користувач без шкоди для сеансу зв'язку міг переходити з бездротових мереж стандарту 802.11 в мережі 802.16 і назад. Групу вивчення роумінгу для мереж стандарту IEEE 802.16 очолюють експерти Intel з питань комунікацій.

Впровадження технології Wi-MAX пропонується виконувати в три етапи (рис. 1.1).

На першому етапі забезпечується бездротове з'єднання з користувачами через фіксовані зовнішні (Outdoor) антени, встановлені на будівлях клієнтів.

Устаткування відповідає стандартам IEEE 802.16a, IEEE 802.16-2004, IEEE 802.16d.

Створюється інфраструктура мережі, що забезпечує зв'язком групи будівель навколо кожної базової станції. Забезпечуються високошвидкісні (до 75 Мбіт/с) лінії E1/T1, проводиться підключення хотспотів (Hotspot) (тобто, точок загального доступу користувачів обладнання стандарту IEEE 802.11 (Wi-Fi) всередині кожної будівлі) до мережі Wi-MAX.

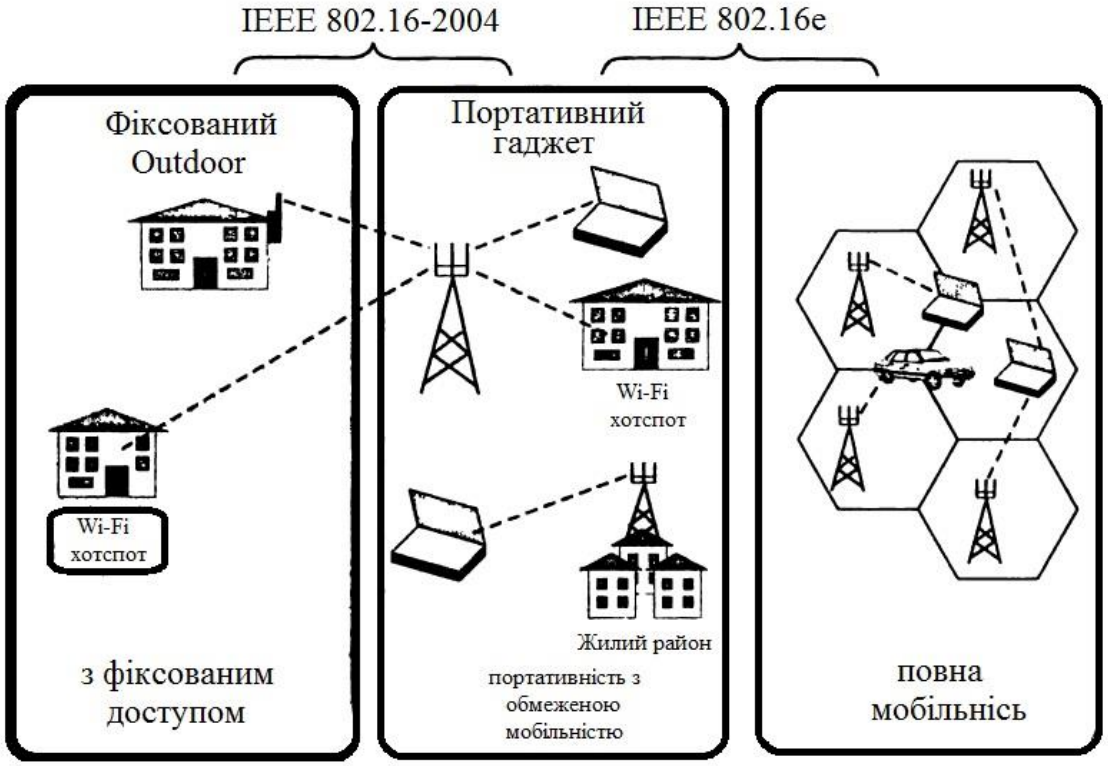



Рис. 1.1 Розвиток технології Wi-MAX

На другому етапі впровадження кімнатних антен (Indoor) для користувачів Wi-Fi, за допомогою яких буде забезпечується широкосмуговий захищений доступ.

На третьому етапі починається впровадження технології стандарту IEEE 802.16e, що дозволяє організувати роумінг усередині мережі для користувачів ноутбуків з вбудованими пристроями, що підтримують стандарт IEEE 802.16e.

В випадку успішної реалізації Wi-MAX складе конкуренцію 3G-технології або може повноцінно замінити їх. Передбачається реалізувати глобальний

роумінг по всьому світу. Користувач, який має ноутбук з вбудованим обладнанням з підтримкою відповідного стандарту, може в будь-який час та в будь-якому місці (в тому числі і при русі на швидкостях до 240 км/год) мати доступ до високошвидкісної мережі.

Взаємозв'язок і область застосування різних сучасних бездротових технологій можна представити у вигляді діаграми, показаної на рис. 1.2.

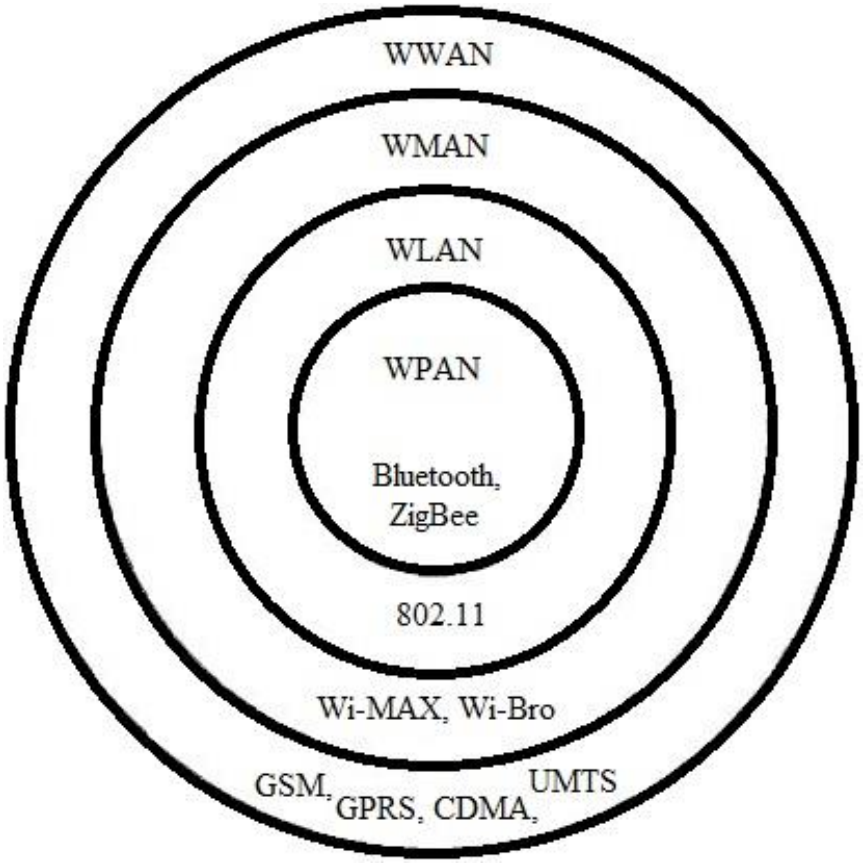



Рис. 1.2. Область використання бездротових технологій

Технологія Wi-MAX представляє прекрасну можливість забезпечувати бездротовий доступ всім користувачам цифрового обладнання, включаючи обладнання бездротових локальних мереж, технології Wi-Fi, до глобальних мереж, будучи сполучною ланкою між локальними мережами і глобальними мережами.

## 1.2 Структура мережі Wi-MAX

Мережа Wi-MAX за своєю архітектурою будується подібно стільниковій мережі. По місту встановлюється мережі базових станцій (BS). Кожна базова станція по схемі «точка-багатоточка» може обслуговувати за допомогою всеспрямованих антен свою групу будівель в радіусі 6-8 км, утворюючи подобу комірки сот.

При необхідності зв'язку між віддаленими сотами базові станції можуть мати спрямовані антени і виконувати роль ретрансляторів по схемі «точка-точка» по радіоканалу на відстанях до 50 км. За допомогою ретрансляторів можна створювати регіональні мережі, що складаються як би з острівців локальних мереж. Доступ до глобальних мереж (наприклад, загальноміським, регіональним і Інтернет-мереж) забезпечується тим, що або кожна BS, або одна з них, до якої через ретранслятори або направлені антени мають доступ усі інші BS, підключається провідним з'єднанням або оптоволоконним до магістральної мережі. Таку базову станцію називають точкою доступу до магістралі Backhaul. Схема такої архітектури показана на рис. 1.3.

Антени базових станцій можуть бути встановлені не тільки на щоглах, але і на дахах високих будівель.

На першому етапі на обслуговуваних будівлях встановлюються фіксовані зовнішні антени, підключені до блоку трансівера - станції клієнтів (SS), що знаходиться всередині будівлі. У блоці трансівера є стандартні провідні Ethernet-інтерфейси для підключення обладнання клієнтів. Наявні всередині будівлі гаджети, що підтримують бездротовий стандарт 802.11, мають в будівлі загальну точку доступу (хотспот). Для організації виходу в зовнішню мережу трафіки користувачів від різного устаткування об'єднуються за допомогою мультиплексора, вихід якого підключається до блоку трансівера клієнтів і далі передається по мережі Wi-MAX.

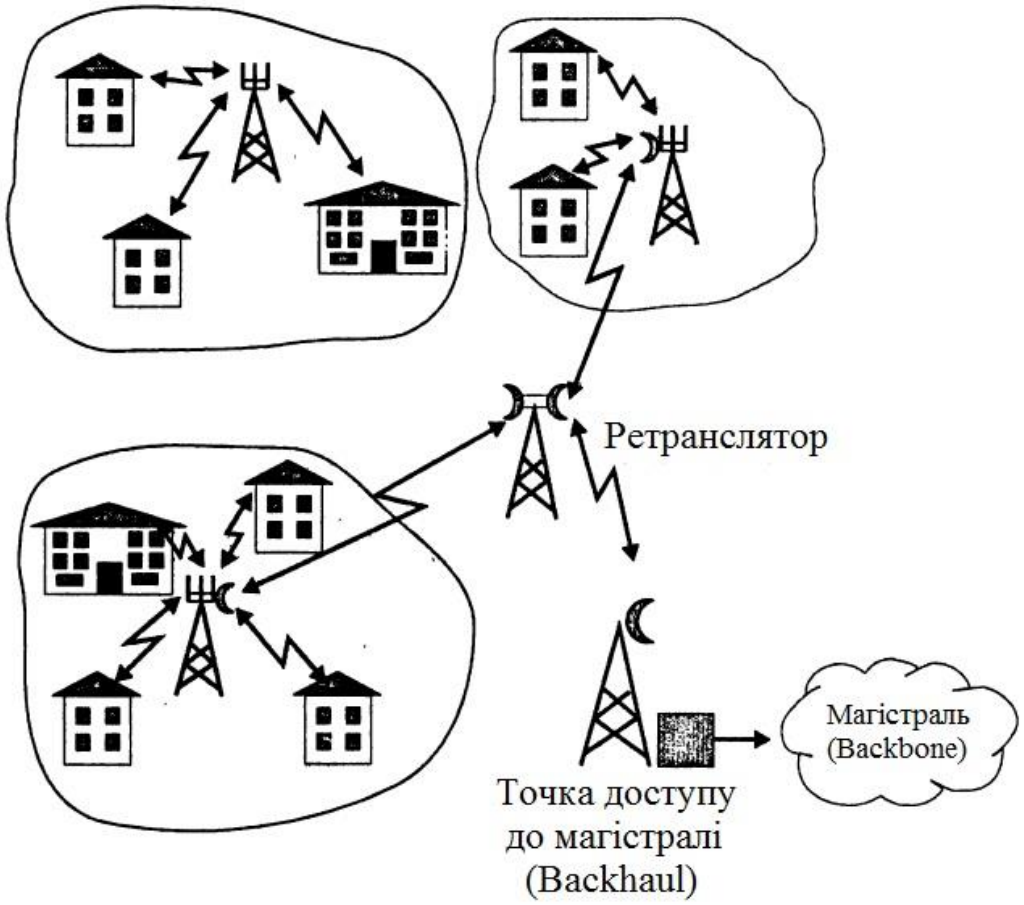



Рис. 1.3 Архітектура мережі Wi-MAX

Підключення устаткування всередині будівлі до мережі Wi-MAX через базову станцію клієнтів (SS) схематично показано на рис. 1.4.

Від базової станції трафік по Ethernet або SDH підключається до міської магістральної мережі по кабельному з'єднанню або по оптичної лінії (в залежності від необхідної конфігурації). Структура мережі також може бути комірковою. У цьому випадку може знадобитися тільки одна BS, підключена до магістралі, і передача інформації від віддалених станцій користувачів буде здійснюватися послідовно: від станції користувача до найближчої сусідньої, а від неї до наступної і далі аж до BS. Призначені для користувача станції в такій мережі можуть виконувати функції ретрансляторів одночасно зі своїм прямим обов'язком обслуговування клієнтів. У разі зайнятості сусідньої станції користувача трафік може бути направлений іншим маршрутом через інші абонентські станції, що мають вільний частотний ресурс. Пошук вільних

маршрутів вимагатиме значно більших можливостей мережі, тому такий варіант побудови мережі розглядається як опціонний.

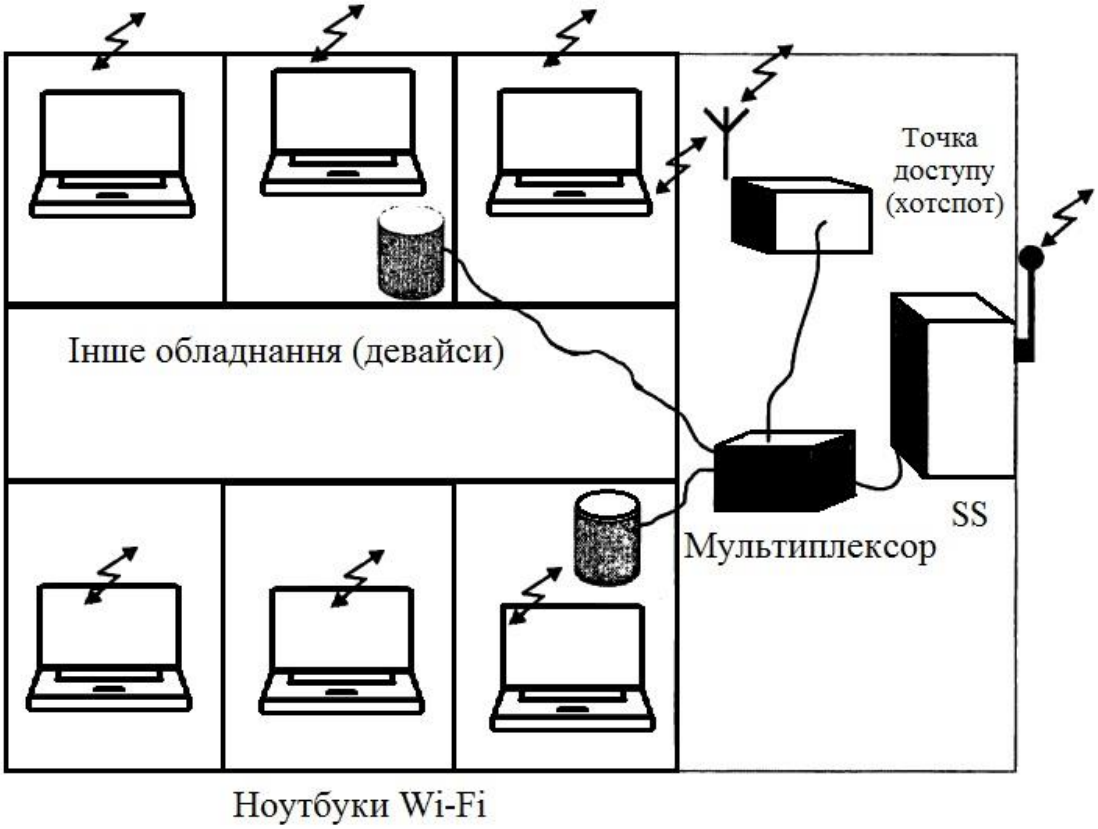



Рис. 1.4 Схема підключення гаджетів через хотспоти до мережі Wi-MAX

### 1.3 Огляд і порівняння технологій бездротових мереж

Розглянемо типи існуючих на сьогоднішній день бездротових мереж і технології бездротового доступу, що застосовуються в таких мережах. У зарубіжній літературі наводять такі типи бездротових мереж (їх ще можуть називати сегментами деяких глобальних мереж):

- Персональні мережі (Personal area networks - PAN) - це, як правило, домашні мережі для бездротової взаємодії домашньої апаратури. Радіус дії таких мереж близько 10 м;

- Локальні мережі (Local area networks - LAN) - це мережі локального рівня для обслуговування офісу або декількох близькорозташованих приміщень.

Найчастіше під LAN-мережею розуміють комп'ютерну мережу. Радіус дії такої бездротової мережі не більше 100 м;

- Міські мережі (Metropolitan area networks - MAN) - це мережі рівня районів великого міста, всього міста або деякого регіону. Тут можуть бути об'єднані мережі різного типу і призначення. Такі мережі можуть мати радіус обслуговування від декількох сотень метрів до 50 і більше кілометрів;

- Глобальні мережі (Wide area networks - WAN) - це мережі, здатні забезпечити з'єднання і передачу трафіку в глобальних масштабах. Очевидно, що глобальні мережі включають в себе в якості сегментів мережі інших типів, в тому числі провідні сегменти, оптоволоконні і бездротові. На різних сегментах глобальних мереж використовуються різні технології, оптимальні по швидкості передачі, займаній смузі частот на кожному сегменті. До таких мереж, зокрема, відносять мережу доступу в Інтернет.

До різних типів мереж пред'являються різні вимоги по діапазону і смузі необхідних частот, швидкості передачі, віддаленості, типу трафіку, необхідної потужності, якості і видів пропонованих послуг. Вимоги породили різні технології. Стандартизацією бездротових технологій в основному займаються три організації:

- IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers;
- ETS - European Telecommunication Standards Institute;
- 3GPP - Third-Generation Partnership Project.

Стандарти IEEE і ETS можуть бути сумісними і стосуються, в основному, бездротових мереж, заснованих на комутації пакетів. Стандарти 3GPP визначають технології стільникових мереж 3G-покоління, де визначальним є забезпечення зв'язку для мобільних терміналів і глобальний роумінг.

Відповідно для кожного типу мережі розроблені свої стандарти і технології. Для мереж PAN використовується технологія надширокосмугової передачі UWB (Ultra Wide Band), що забезпечує високоякісну високошвидкісну передачу на малі відстані. Це дозволяє, наприклад, організувати бездротову передачу телевізійного сигналу по кімнатах житлових приміщень або мультимедійну передачу. Найбільш

поширений стандарт такого типу передачі відомий як IEEE 802.15 (Bluetooth). Він дозволяє проводити комутацію та передачу даних між комп'ютером і периферією (принтер, клавіатура і т. п.). Bluetooth-пристрої, вбудовані в термінали стільникового зв'язку і навушники, дозволяють вести телефонну розмову або передавати дані, не тримуючи сам апарат в руках. Bluetooth-пристрої, вмонтовані в кишенькові комп'ютери, дозволяють отримувати бездротовий доступ до локальної мережі або виконувати роль радіомодема для виходу в мережу Інтернет. Стандарт IEEE 802.15.1 забезпечує швидкість передачі 1 Мбіт/с. Наступний стандарт IEEE 802.15.3 (відомий як UWB) дозволяє вести передачу відео з якістю DVD в межах квартири зі швидкістю 400 Мбіт/с.

### 1.3.1 Технологія Wi-MAX

Значно більш функціональне рішення підключення до магістральної мережі з набагато більшими швидкостями для утворення мереж MAN-рівня пропонує Wi-MAX-технологія. Вона підтримує комірчасті структури, більше число користувачів, і володіє значно більшою продуктивністю, а головне, вирішує проблеми мобільного зв'язку, у порівнянні з технологіями Wi-Fi. Технологія Wi-MAX в частині вирішення проблеми «останньої милі» і організації доступу до магістралі для віддалених мереж у багатьох рисах подібна технології Wi-Fi. Неважко побачити, що Wi-MAX є ніби природним розвитком Wi-Fi на більш високому рівні. У цій технології також використовується модуляція OFDM, але кількість піднесучих збільшено до 256 (проти 64 в Wi-Fi). В умовах багатопроменевого поширення прямий і відбиті сигнали приходять в точку прийому з різними затримками. При переривчастому характер передачі (передача пачками) тривалість затримки, співмірна з тривалістю символу або навіть коли перевищує його, призводить до накладання сусідніх символів і їх невірному декодуванні. Чим на меншу частку часу тривалості переданого символу затримана його відбита копія, тим менше спотворюється сигнал і тим точніше його відновити. Чим вище тривалість переданого символу, тим більші величини затримки часу приходу відбитого сигналу допустимі. З метою компенсації

затримки застосовують або технічно складні пристрої - еквалайзери, або вводять захисні інтервали часу, протягом яких передача не ведеться, або передаються розділові біти - циклічні префікси (CP - cyclic prefix). В якості циклічних префіксів використовується частина загальної кількості піднесучих. Чим більше їх кількість, тим надійніше декодуються передані символи, але тим менше залишається піднесучих під трафік. У стандарті 802.11 під префікси використовується 1/4 частина від усіх піднесучих. В основі технології OFDM важливим є те, що передається пачка довжиною $N$ бітів (де $N$ дорівнює числу піднесучих) з послідовного потоку перетворюється в паралельний, в якому кожен біт розтягується за часом на тривалість всієї пачки (тобто в $N$ раз). Далі кожен біт модулює свою піднесучу. У стандарті 802.16 тривалість символів в 4 рази (256/64) більше, ніж в стандарті 802.11, тому і допустимі більш тривалі часи затримок відображених копій. Відповідно, припустимо мати менше значення відношення числа піднесучих до загального їх числа. Стандартом 802.16-2004 передбачено забезпечення різних співвідношень 1/32, 1/16, 1/8 і 1/4 для динамічного вибору оптимального співвідношення в конкретних умовах поширення. Для підвищення надійності зв'язку в умовах мобільності стандартом 802.16e застосовується технологія OFDMA з 2048 поднесучими, що дозволить ще більше збільшити тривалість переданих символів і зменшити спотворюючий вплив затримок відображених копій сигналу. Стандарт 802.16 передбачає смуги частот 20, 25 і 28 МГц в діапазонах від 10 до 66 ГГц. Цим стандартом передбачається застосовувати метод прямого розширення спектра з використанням однієї несучої SC (Single Carrier). Стандарти 802.16-2004 і 802.16e призначені для роботи на частотах від 2 ГГц до 11 ГГц і дозволяють гнучко встановлювати смуги від 1,25 МГц до 20 МГц. Стандартом 802.16-2004 передбачається або застосування методу з прямим розширенням спектра (тільки в умовах прямої видимості), або застосування OFDM, що найбільше підходить для умов існування прямої і непрямої видимості. У стандарті 802.16e використовується технологія ортогонального частотного ущільнення OFDMA з динамічним розподілом частотних піднесучих між

терміналами користувачів, як більш пристосована для мобільного зв'язку. При цьому визначені наступні смуги:

- 1,25 МГц-128 піднесучих;
- 5 МГц - 512 піднесучих;
- 10 МГц - тисяча двадцять чотири піднесучих;
- 20 МГц - 2048 піднесучих.

Доступ на передачу даних в мережі Wi-MAX організовується застосуванням механізму множинного доступу за запитом DAMA (Demand Assignment Multiple Access).

Швидкість передачі в системі з технологією Wi-MAX може досягати 136 Мбіт/с для стаціонарних користувальницьких станцій і 2 Мбіт/с для мобільних терміналів при швидкості їх руху до 240 км/год.

Технологія Wi-MAX дозволяє об'єднати велику кількість локальних мереж Wi-Fi і забезпечити їм вихід до високошвидкісної магістральної мережі, а через неї і до глобальних мереж типу Інтернет.

Для мереж MAN зазвичай використовуються провідні технології DSL і DOCSIS. Бездротова технологія Wi-MAX стає альтернативою провідним мережам, а в багатьох випадках і єдиноможливим рішенням створення мережі MAN.

### 1.3.2 Технології стільникових систем 3G

Розглянемо основні характеристики стільникових систем 3-го покоління, що дозволяють порівнювати їх можливості з можливостями Wi-MAX в частині забезпечення передачі даних для мобільних користувачів.

В даний час для мереж 3-го покоління прийнята назва IMT-2000 (International Mobile Telephone), а в Європі UMTS (Universal Mobile Telecommunications Services). Основні цілі по швидкості передачі при розробці радіоінтерфейсу для IMT-2000 були визначені як:

- повне покриття зони обслуговування і забезпечення швидкості передачі 144 Кбіт/с для мобільних абонентів (бажана рекомендація - 384 Кбіт/с);

- досягнення швидкості передачі до 2 Мбіт/с для обмежених зон і обмеженою мобільності.

Ці швидкості були обрані за аналогією зі швидкостями в цифрових мережах з інтеграцією послуг ISDN. Швидкості від 144 Кбіт/с до 384 Кбіт/с в обмеженій зоні з низькою мобільністю можливо досягти за технологією GSM EDGE. Досягнення ще більших швидкостей (до 2 Мбіт/с) вимагає розширення виділених частот. Було запропоновано кілька типів технологій. Зусилля по їх гармонізації з метою вироблення єдиного стандарту не увінчалися успіхом, тому обрана серія стандартів, в тій чи іншій мірі сумісних один з одним. В основному обрані стандарти грунтуються на технології WCDMA (Wideband CDMA - широкосмуговий CDMA). Подібний підхід запропонований декількома країнами. На жаль, по чіповій швидкості передачі, типу способу розширення смуги частот, виду модуляції вони не всі сумісні один з одним в повній мірі.

Для мереж IMT-2000 виділено смуги частот в діапазоні 2 ГГц з загальної смугою частот 230 МГц. Смуга одного каналу в WCDMA складає 5 МГц (проти смуги 1,25 МГц в CDMAone). При цьому будуть застосовуватися різні методи розширення спектра: DS-CDMA - система з однієї несучою частотою, з прямим розширенням спектра псевдовипадковою послідовністю; MC-CDMA - система з декількома несучими частотами і частотним дуплексом; TD-CDMA - система з однією несучою і часовим дуплексом (система зі стрибками в часі) або комбінації цих методів. Передбачається можливість використання смуг шириною 10 і 20 МГц.

У порівнянні з технологією Wi-MAX можна помітити, що системи стільникового зв’язку 3-го покоління багато в чому поступаються можливостям Wi-MAX в частині передачі даних. Технологія Wi-MAX на основі OFDM (OFDMA для підтримки мобільного зв’язку) має більш ефективне використанням спектра, більшою захищеністю передачі в умовах багатопроменевого поширення, більш високими швидкостями передачі даних, підтримує симетричну швидкість передачі в обох напрямках і т. п.

Розглянутий короткий огляд технологій високошвидкісних систем бездротового доступу з можливістю забезпечення зв’язку для мобільних абонентів показує незаперечні переваги технології Wi-MAX і її використання в системах бездротового доступу. Це цілком зрозуміло, тому що технологія Wi-MAX зароджувалась час, коли вже є великий досвід роботи з колишніми технологіями і на основі їх можливостей пропонується більш сучасна технологія. Стандарти Wi-MAX врахували весь досвід (вдалий і невдалий) як традиційних мобільних мереж зв’язку, так і бурхливого розвитку комп’ютерних мереж, мінливих вимог користувачів телекомунікаційного ринку та тенденцій в інформаційно-комунікаційній індустрії.

# 2 ФІЗИЧНИЙ РІВЕНЬ МЕРЕЖ WI-MAX

На фізичному рівні мереж Wi-MAX визначається вид використовуваних для передачі сигналів, способи маніпуляції та завадостійкого кодування, смуга займаних частот і способи формування логічних каналів зв'язку.

У стандартах IEEE 802.16e-2005, 2009 визначено п'ять різних типів фізичного рівня для бездротових мереж міського масштабу, що розрізняються сферою застосування і діапазоном частот (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Типи физічного рівня в стандартах IEEE 802.16e-2005, 2009

| Назва | Застосування | Спосіб дуплексу |
|---|---|---|
| WirelessMAN-SC | 10-66 | часовий, частотний |
| WirelessMAN-SCa | <11 | часовий, частотний |
| WirelessMAN-OFDM | <11 | часовий, частотний |
| WirelessMAN-OFDMA | <11 | часовий, частотний |
| WirelessHUMAN | <11, безліцензійний діапазон | часовий |

Режим WirelessMAN-OFDMA призначений для роботи в умовах відсутності прямої видимості між базовою станцією і абонентською станцією в діапазоні частот до 11 ГГц. Даний режим заснований на застосуванні сигналів з OFDM з 2048, 1024, 512 або 128 піднесучими (підтримка різних смуг частот). При цьому АС при підключенні до мережі може виконувати процедури сканування і пошуку сигналу спадного каналу («вниз») і, в тому числі, автоматично визначати розмірність ШПФ (швидкого перетворення Фур'є).

## 2.1 Основні параметри сигналу фізичного рівня

На фізичному рівні стандарту IEEE 802.16-2009 в режимі WirelessMAN-OFDMA застосовуються сигнали з OFDM. Сигнал з OFDM, записаний на інтервалі тривалості одного символу з урахуванням циклічного префікса (CP), являє собою суму з $N$ піднесучих:

$$s(t) = R_e\left(\exp(j2\pi f_н t)\sum_{\substack{k=-N/2\\k\neq 0}}^{N/2} c_k \exp(j2\pi\Delta f\,(t-T_g))\right), \qquad (2.1)$$

де $k$ - номер під несучої;

$N$ - кількість використовуваних під несучих;

$c_k$ - комплексний модуляційний символ $k$-го частотного підканалу;

$\Delta f = F_s / N$ - рознос між піднесучими;

$F_s$ - частота дискретизації сигналу;

$T_g$ - тривалість циклічного префікса;

$f_н$ - несуча частота;

$0 < t < T_{OFDM}$;

$T_{OFDM} = T + T_g$ - тривалість OFDMA-символу з урахуванням циклічного префікса;

$T = 1/\Delta f$ - тривалість OFDMA-символу без обліку циклічного префікса.

Таким чином, в часовій області сигнал з OFDM є суперпозицію великої кількості відрізків гармонійних коливань різної частоти. На рис. 2.1 як приклад приведена залежність синфазної складової сигналу з OFDM від часу в основній смузі частот для значення числа піднесучих частот $N$=1024 і смузі займаних частот сигналом з OFDM $\Delta F_з = 10$ МГц. На кожній піднесучій частоті використовується маніпуляція ФМ-4.

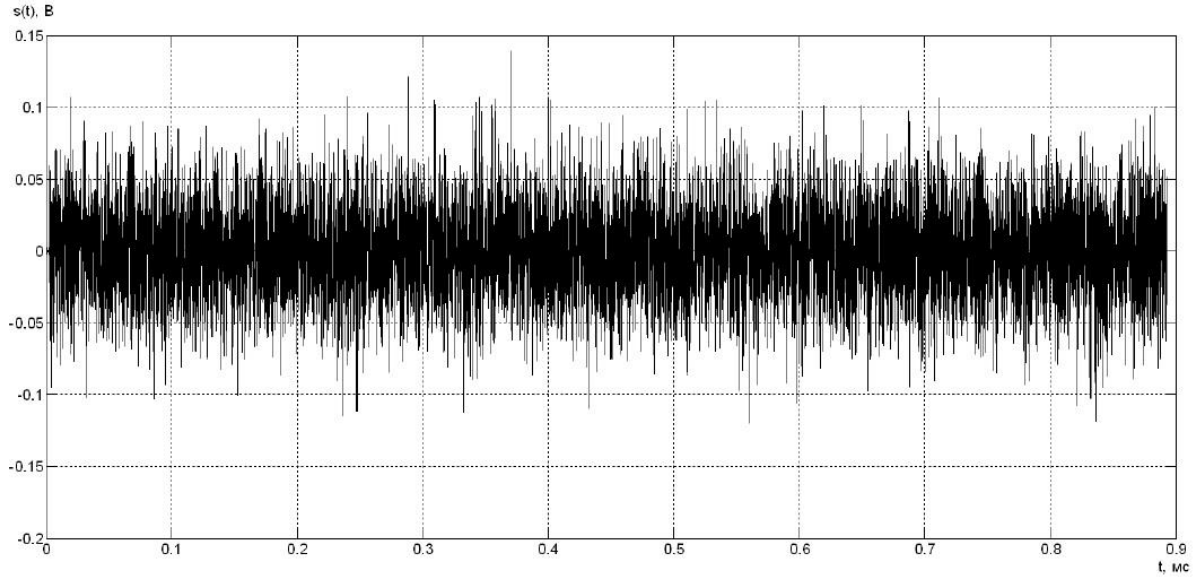



Рис. 2.1 Види сигналу з OFDM для $N$=1024, $F_s = 11,2$ МГц

Циклічний префікс додається спочатку OFDMA-символу (рис. 2.2), являє собою копію останніх відліків OFDMA-символу і використовується для боротьби з міжсимвольною інтерференцією. Можливі наступні тривалості циклічного префікса: $T_g = 1/4T,\ 1/8T,\ 1/16T,\ 1/32T.$

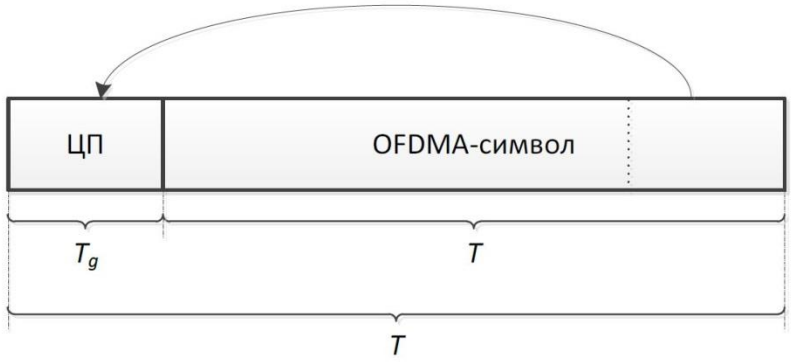



Рис. 2.2 Формування циклічного префіксу

При підключенні до мережі абонентський термінал повинен автоматично визначити довжину циклічного префікса, встановлену БС. При чому в процесі функціонування БС не змінює довжину циклічного префікса. Зміна довжини префікса призведе до примусової пересенхронізації всіх абонентських терміналів.

У частотної області OFDMA-символ складається з $N$ піднесучих. Можна виділити наступні типи піднесучих: інформаційні, пілотні і нульові. Інформаційні піднесучі застосовуються для передачі даних, на пілотних піднесучих передаються символи для оцінки передаточної функції каналу зв'язку, нульові піднесучі становлять захисний інтервал, їх амплітуда дорівнює нулю.

Інформаційні піднесучі об'єднуються в групи, які в стандарті називаються підканалами. У низхідному каналі підканал може бути призначений одному або декільком абонентам, у висхідному каналі одному абоненту призначаються один або кілька підканалов, причому абоненти мають можливість вести передачу одночасно. Піднесучі, що складаюьб один підканал, можуть бути як суміжними, так і розподіленими. Розподіл символу на підканали призначен для підтримки множинного доступу, адаптивних антенних систем і масштабовання.

Формування сигналу фізичного рівня здійснюється з використанням алгоритмів зворотного швидкого перетворення Фур'є (ОШПФ).

## 2.2 Структура кадру

### 2.2.1 Частотно-часові ресурси, слоти. Ущільнення користувачів на основі OFDMA

На відміну від систем зв'язку другого покоління, в яких використовувалось часове ущільнення абонентів, і мереж зв'язку третього покоління, побудованих переважно із застосуванням кодового ущільнення, мережі Wi-MAX засновані на методі ущільнення з використанням ортогональних піднесучих - Orthogonal Frequency Multiple Access (OFDMA). Метод OFDMA є комбінацією частотного і часового алгоритмів ущільнення абонентів, в якій кожен користувач отримує необхідну йому смугу частот і інтервал часу. Метод ущільнення OFDMA є основою режиму WirelessMAN-OFDMA в стандарті IEEE 802.16e-2005, 2009.

Центральним поняттям фізичного рівня мереж Wi-MAX є поняття частотно-часового ресурсу (ЧЧР). Кожен прямокутник (рис. 2.3), що займає на інтервалі часу символу OFDM один частотний підканал, може розглядатися як частотно-

часовий ресурс. При організації багатостанційного доступу різним користувачам можуть призначатися різні ЧЧР або групи ЧЧР.

В якості мінімально можливого ЧЧР в системах Wi-MAX виступає слот - сукупність підканалів і часових інтервалів. Розміри OFDMA слота залежать від режиму роботи (PUSC, FUSC, TUSC1, 2 та ін.), напрямку передачі (канал «вгору» або «вниз») і способу формування підканалів (використовуються суміжні піднесучі або несуміжні). Можливі наступні розміри слотів:

- 1 підканал × 1 OFDMA-символ (режим FUSC в низхідному каналі, несуміжні піднесучі);

- 1 підканал × 2 OFDMA-символу (режим PUSC в низхідному каналі, несуміжні піднесучі);

- 1 підканал × 3 OFDMA-символу (режим PUSC в низхідному каналі, режими TUSC1, 2 в висхідному каналі, несуміжні піднесучі);

- 1 підканал × 2, 3 або 6 OFDMA-символів (режим AMC, суміжні піднесучі).

Слоти об’єднуються в області даних, які виділяються кожному абоненту, групі абонентів або призначені для передачі службових широкомовних повідомлень. По осі частот область даних складається з $N_{лк}$ послідовних логічних підканалів, а по осі часу - з $N_{сл}$ наступних один за одним OFMA-символів (рис. 2.4). Області даних адресуються спеціальними службовими повідомленнями DL-MAP і UL-MAP для низхідного і висхідного каналів. Ці повідомлення є широкомовними і містять опис параметрів кожної області даних, яка присутня в кадрі.

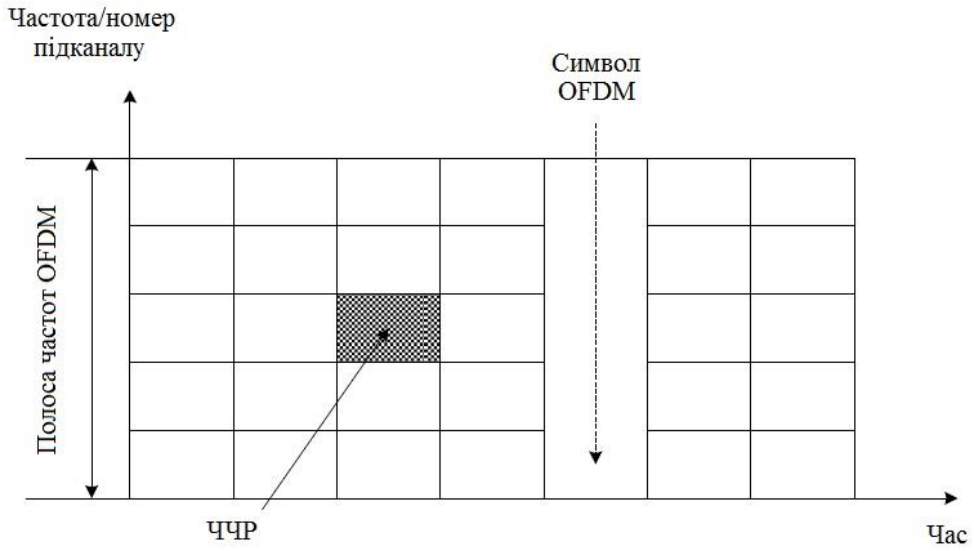



Рис. 3.3 Частотно-часовий ресурс в системах OFDMA

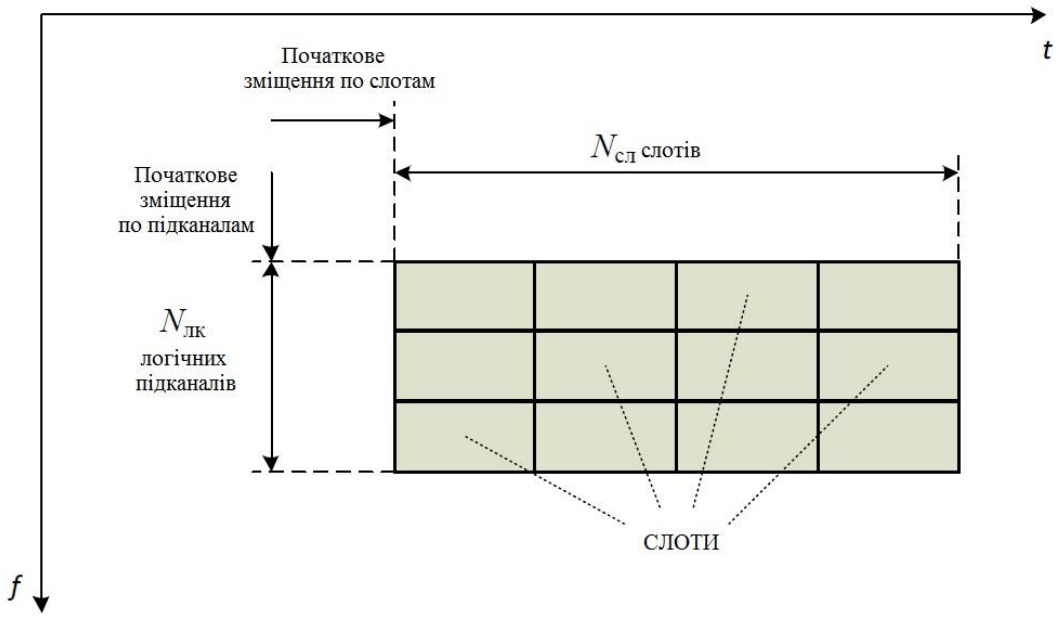



Рис. 2.4 Приклад області даних OFDMA

Після того, як абонентській станції виділена область даних певного розміру, дані в цій області розміщуються по слотах зверху вниз і зліва направо (рис. 2.5).

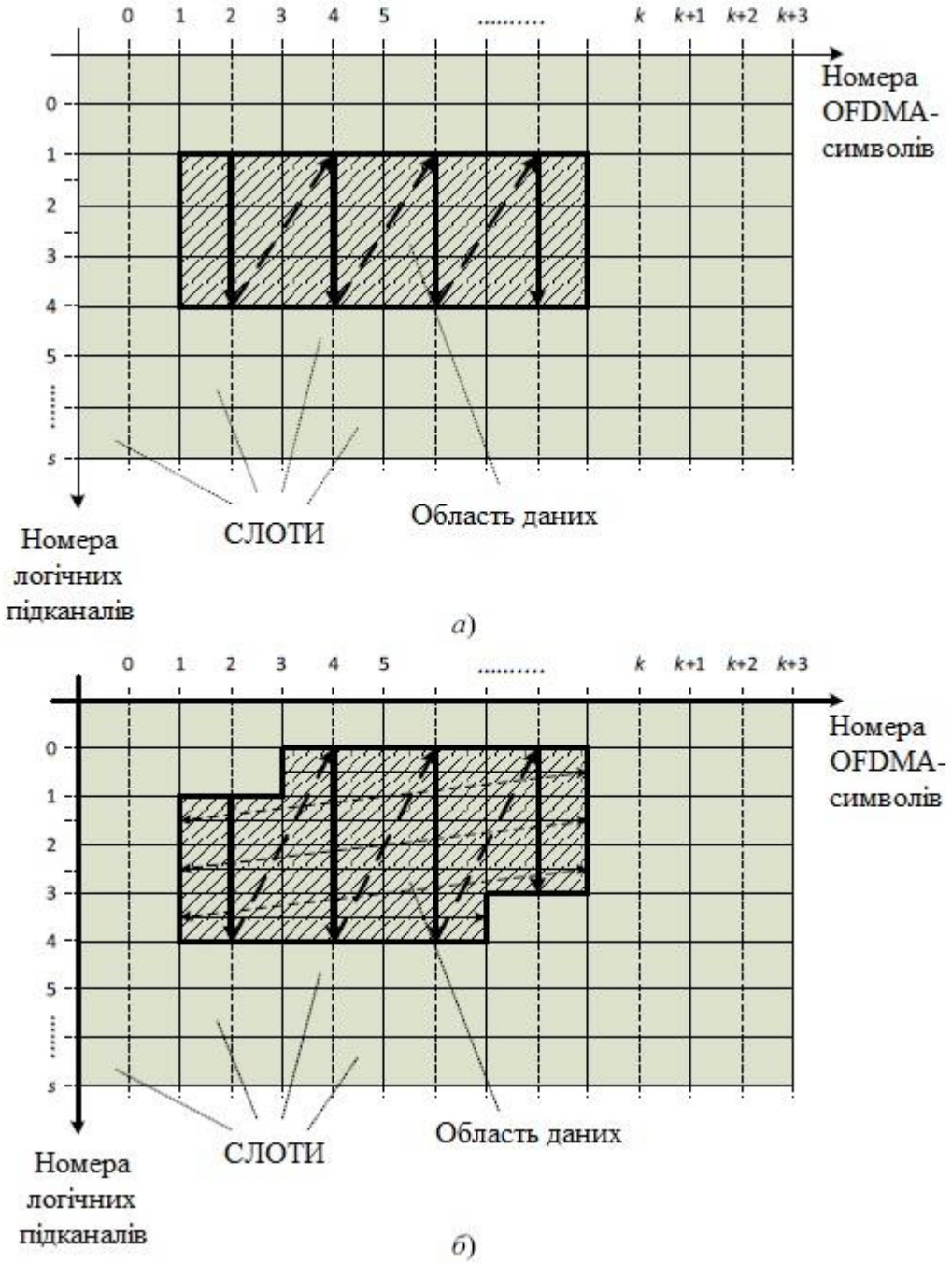



Рис. 2.5 Розміщення слотів в області даних для зони PUSC: а) канал «вниз»; б) канал «вгору»

У каналі «вниз» (низхідному) послідовність розміщення даних в області даних виглядає наступним чином (рис. 2.5, а). Спочатку дані на передачу розбиваються на блоки такого розміру, щоб повністю поміститися в одному слоті, далі зазначені блоки поміщаються в слоти області даних послідовно зверху вниз і зліва направо до кордонів області (рис. 2.5, б).

У каналі «вгору» (висхідному) розміщення даних в області даних відбувається в два етапи (рис. 2.5, б). На першому етапі дані на передачу розбиваються на блоки такого розміру, щоб повністю поміститися в одному слоті, далі вибираються слоти, в яких будуть передаватися дані. Слоти вибираються послідовно зліва направо до кордону зони і зверху вниз (на рис. 2.5, б - горизонтальні стрілки в області даних), при цьому пропускаються слоти, в яких розміщені блоки даних з ідентифікаторами UIUC = 0 , 11 (значення поля Type рівне 8, 12, 13). На другому кроці блоки даних поміщаються в обрані слоти зверху вниз і зліва направо (на рис. 2.5, б - вертикальні стрілки в області даних), також як і в низхідному каналі.

На рис. 2.5 по осі абсцис відкладені номери OFDMA-символів, а по осі ординат - номери логічних підканалів.

Частотно-часові ресурси для пакетів повинні виділятися таким чином, щоб утворена ними область розміщення з підканалів і символів була безперервною.

У зазначених процедурах в частотній області операції відбуваються над логічними каналами до їх перенумерації в низхідному каналі і до циклічного зсуву в висхідному каналі.

### 2.2.2 Структура кадру в режимі часового дуплексу

У стандартах IEEE 802.16e-2005, 2009 передбачено часовий і частотний методи дуплексу. У ліцензованих діапазонах частот може застосовуватися часове або частотне розділення висхідного і низхідного каналів (АС можуть бути напівдуплексними). У неліцензованому діапазонах частот метод дуплексу тільки часовий. Форумом Wi-MAX сертифікується тільки режим роботи мережі з часовим дуплексом, тому режим з частотним дуплексом розглядатися не буде.

У режимі часового дуплексу кожен кадр складається з підкадрів базової станції (низхідний канал) і підкадрів абонентських станцій (висхідний канал). Кожен кадр починається з преамбули, після якої йдуть пакети даних від БС до АС і пакети даних від АС до БС. Низхідний і висхідний підкадри розділяються

часовим інтервалом TTG. В кінці кожного кадру вставляється часовий інтервал RTG.

Структура кадру Wi-MAX IEEE 802.16e-2005 схематично зображення на рисинку 2.6.

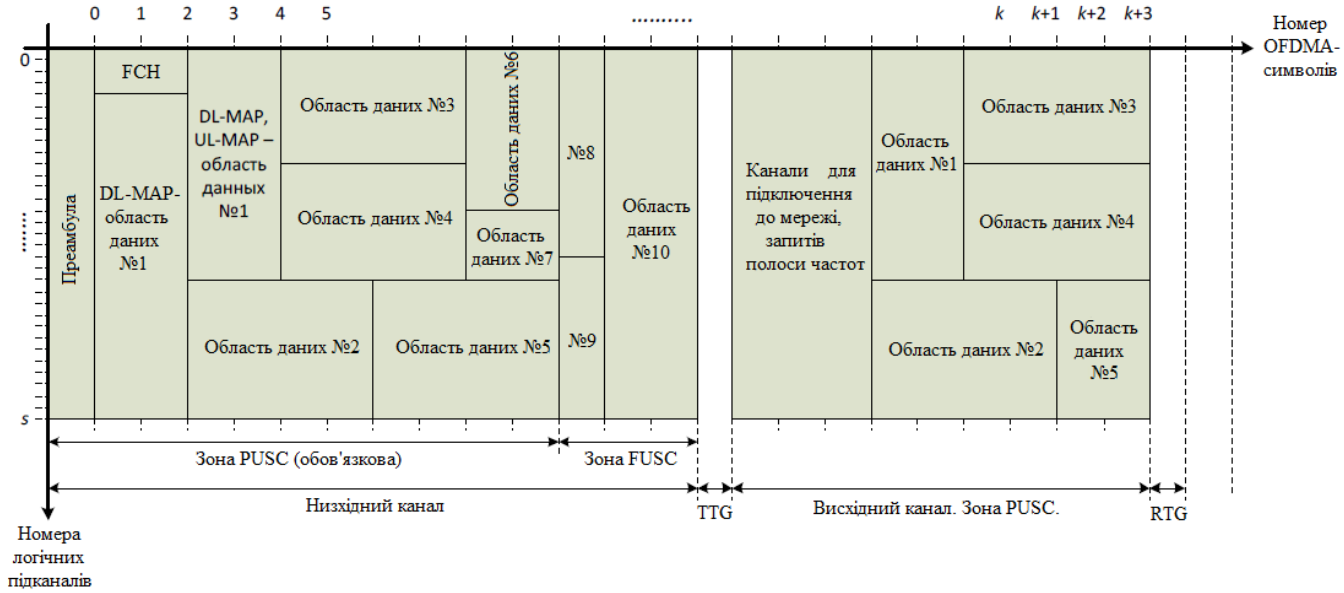



Рис. 2.6 Схематичне зображення структури кадру Wi-MAX IEEE 802.16e-2005, 2009

У перших чотирьох логічних підканалах перших двох OFDMA-символів, що настають за преамбулою, передається спеціальне службове повідомлення FCH (Frame Control Header), в якому міститься поле DL_Frame Prefix (в цьому полі вказуються використовувані групи підканалів в режимі PUSC, довжина службового повідомлення DL -MAP - карта каналу «вниз», службове повідомлення MAC-рівня, в якому зазначаються моменти початку передачі даних для AC - і спосіб завадостійкого кодування повідомлення DL-MAP).

Зміна схеми модуляції та/або завадостійкого кодування може відбуватися тільки від слота до слоту в часовій області і від логічного підканалу до логічного підканалу в частотній. Усередині слоту схеми модуляції і кодування не змінюються.

Підкадр висхідного каналу містить сервісні підканали, призначені для передачі до БС невеликих службових повідомлень, вимагаючих негайної

доставки. Зокрема, через цей канал передаються повідомлення HARQ, а також періодичні запити від АС на виділення ЧЧР висхідного каналу і підключення до мережі. За допомогою сервісного каналу відбувається підключення абонентських станцій до мережі і їх передача від одної БС до іншої при виході користувача за межі дії стільника. Всі запити являють собою 144-розрядні CDMA коди, що передаються за допомогою ФМ-2. В результаті для передачі одного такого коду достатньо шести підканалов. Сам код формується в генераторі псевдовипадкової послідовності - 15-розрядному сдвиговому регістрі з задаючим поліномом $x^{15} + x^7 + x^4 + x^1 + 1.$

Кожен кадр Wi-MAX в частотній області може ділитися на сегменти, а в часовій - на зони (рис. 2.7 і 2.8).

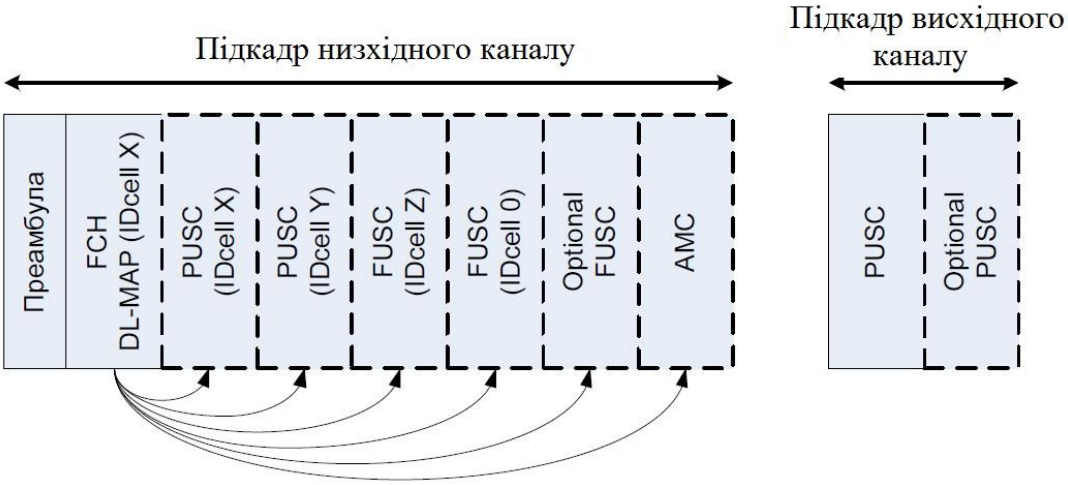



Рис. 2.7 Зональна структура кадру Wi-MAX. Пунктиром позначені необов'язкові зони

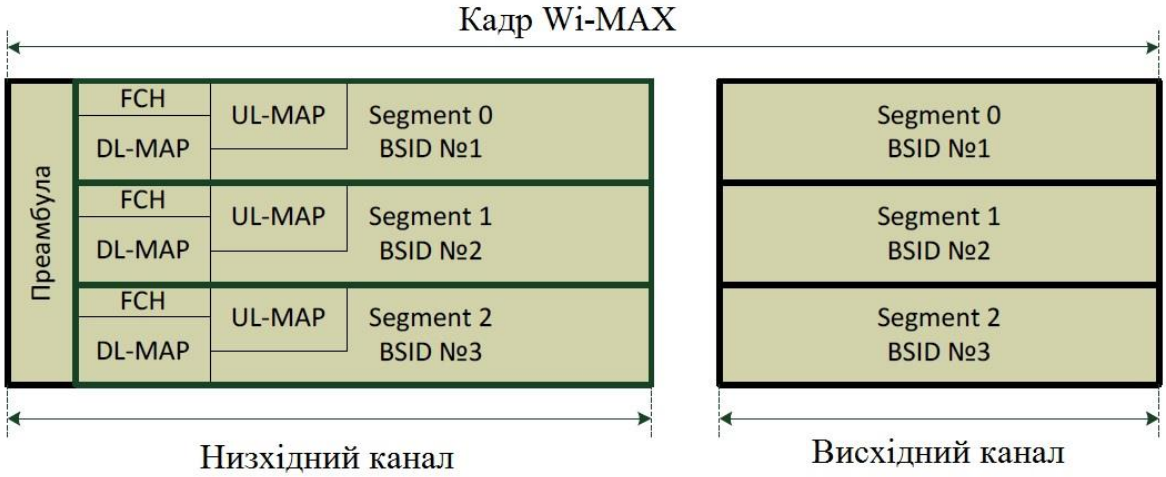



Рис. 2.8 Призначення сегментів кадру Wi-MAX трьом різним БС

Зони відрізняються одна від одної способом формування логічних підканалов. Розрізняють зони PUSC, FUSC, TUSC1,2 AMC, існують також модифікації цих зон при їх спільному використанні з просторово-часовим кодуванням, а також в залежності від направлення передачі даних. Застосування зон підвищує ефективність роботи БС з різними типами користувачів. Наприклад, абонентам, що пересуваються з високою швидкістю недалеко від БС, і повільним мобільним станціям на кордоні стільника виділяються області даних в різних зонах. Межі зон зазначаються в повідомленні DL-MAP в поле Zone_switch_IE. Максимальна кількість зон в низхідній частині кадру дорівнює восьми.

У частотної області кадр Wi-MAX може поділятися на сегменти. При формуванні сегментів піднесучі групуються в логічні підканали, підканали в свою чергу об'єднуються в групи, які далі призначаються різним сегментам. Кожному сегменту може призначатися окремий екземпляр MAC-рівня різних БС для реалізації Wi-MAX мережі в одній смузі частот (на основі однієї несучої) (рис 2.8 і рис. 2.9).

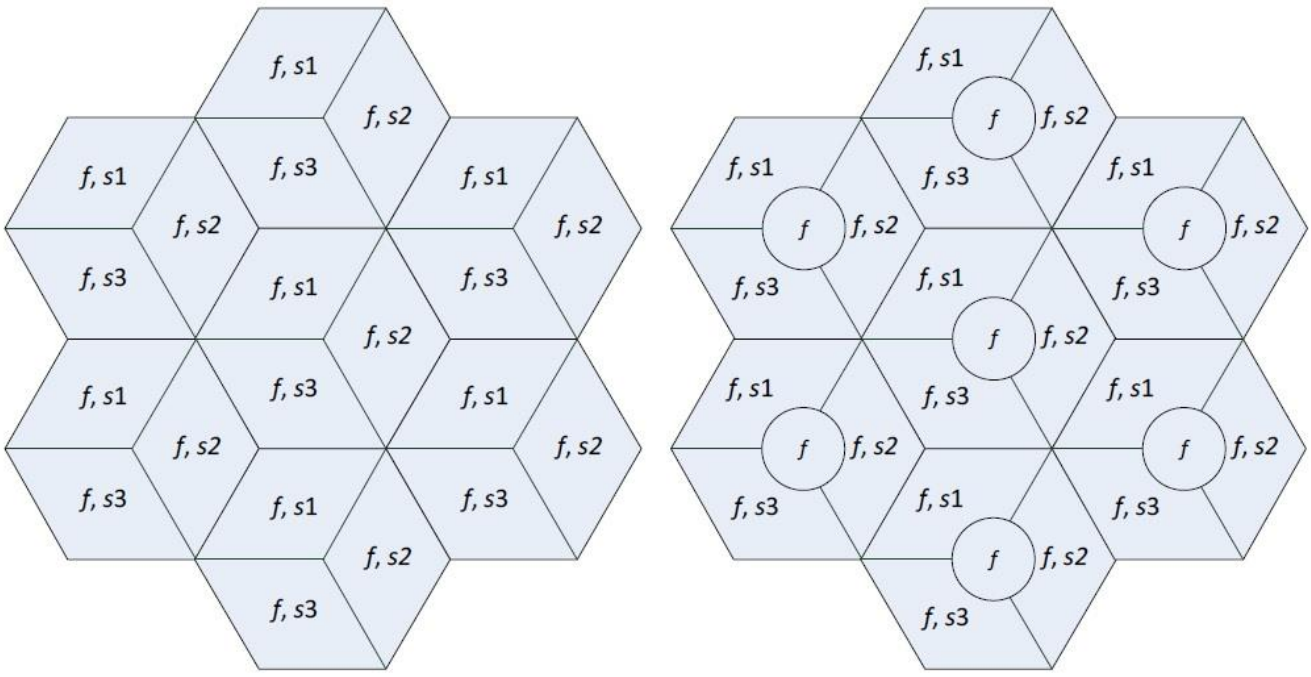



Рис. 2.9 Приклад частотного плану мережі Wi-MAX, побудованої на основі сегментів: а) - кожному сектору призначається сегмент; б) - кожному сегменту призначається сегмент, але на відстанях від БС, на яких неможлива інтерференція з сигналами від сусідніх БС, сегменти не застосовуються

На рис 2.9 представлені схеми мережі Wi-MAX, що використовують сегменти для підвищення ємності і зниження витрат на смугу займаних частот. В обох варіантах мережі сусідні БС працюють в одному і тому ж діапазоні частот, але за рахунок використання в різних секторах що не перекриваються по частоті сегментів міжстанційні перешкоди відсутні. У другому способі побудови мережі для підвищення ємності і збільшення швидкості передачі для абонентів, розташованих недалеко від БС, виділяються всі три сегменти.

### 2.2.3 Структура преамбули

Перший OFDMA-символ кадру в низхідному каналі є преамбулою. Піднесучі преамбули модулюються за допомогою ФМ-2 спеціальної псевдовипадкової послідовністю, яка залежить від використовуваного БС сегмента і значення змінної IDcell. OFDMA-символ преамбули складається з піднесучих, на яких передаються біти ПВП, піднесучих, що складають захисний інтервал і піднесучих з нульовою амплітудою. У кожному сегменті з номерами $n$=0, 1, 2 застосовується визначений набір піднесучих. Використовується кожна третя під несуча $P_{\{k,n\}}$ з початковим зсувом рівним $n$:

$$P_{\{k,n\}} = n + 3k, \tag{2.2}$$

де $n$ - номер набору пілотних піднесучих, $k$=0,1,...,283 для 1024-ОБПФ. У сегменті 0 амплітуда піднесучої, відповідної нульовій частоті, приймається рівною нулю. Структура преамбули в частотній області при $N_{fft} = 1024$ представлена на рис. 2.10.

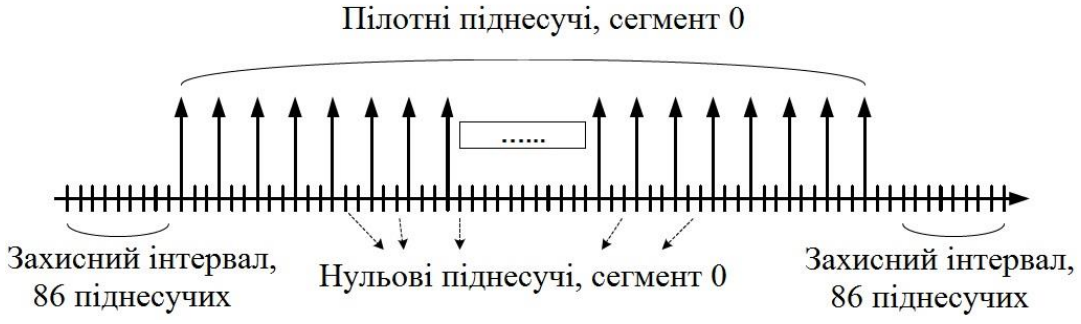



Рис. 2.10 Структура преамбули в частотній області при $N_{fft} = 1024$

Амплітуди використовуваних в преамбулі піднесучих формуються відповідно до виразу (2.3):

$$A_k = 4\sqrt{2}(1/2 - \omega_k), \tag{2.3}$$

де $A_k$ - амплітуда *k*-ї використовуваної піднесучої, *k*=0,1,...,283 для 1024-ОБПФ;

$\omega_k$ - *k*-й символ ПВП. Потужність преамбули вище потужності інформаційних OFDMA-символів.

За преамбулою АС виробляє синхронізацію в часовій і частотній області, знаходить значення параметра IDcell і номер використовуваного сегмента, а також визначає режим роботи БС.

### 2.2.4 Повідомлення DLFP і FCH

Повідомлення FCH передається в першому OFDMA-символі після преамбули на чотирьох підканалах з послідовними логічними номерами. FCH містить повідомлення DL_Frame Prefix в закодованому вигляді. У таблиці 2.2 представлені параметри повідомлення FCH.

Таблиця 2.2

Параметри повідомлення FCH

| Параметри | Значення параметру |
|---|---|
| Вид модуляції | QPSK |
| Кількість повторів | 4 |
| Швидкість коду | 1/2 |
| Тип коду | Обов’язковий згортковий код з формуючими полігонами (171, 133) |
| Зона | PUSC |

DL_Frame Prefix - це повідомлення, яке міститься в FCH, передається спочатку кожного кадру і визначає параметри повідомлень DL-MAP, UL-MAP і Compressed-DL/UL-MAP. У табл. 2.3 представлений формат повідомлення DL_Frame Prefix.

Таблиця 2.3

Формат повідомлення DL_Frame Prefix

| Поле | Довжина, біт | Роз’яснення |
|---|---|---|
| DL_Frame_Prefix format { | | |
| **Used subchannel bitmap** | 6 | Біт 0: група підканалів 0<br>Біт 1: група підканалів 1<br>Біт 2: група підканалів 2<br>Біт 3: група підканалів 3<br>Біт 4: група підканалів 4<br>Біт 5: група підканалів 5 |
| Зарезервовано | 1 | Значення бітів повинно бути рівно 0 |
| **Repetition_ Coding Indication** | 2 | 0b00: в DL-MAP кодуванням повторенням не використовується<br>0b01: в DL-MAP використовується повторення 2 рази<br>0b10: в DL-MAP використовується повторення 4 рази<br>0b11: в DL-MAP використовується повторення 6 разів |
| **Coding_ Indication** | 3 | 0b000: в DL-MAP використовується CC<br>0b001: в DL-MAP використовується BTC<br>0b010: в DL-MAP використовується CTC<br>0b011: в DL-MAP використовується ZT CC<br>0b100: в DL-MAP використовується CC з необов’язковим перемежувачем<br>0b101: в DL-MAP використовується LDPC<br>0b110-0b111 - зарезервовано |
| **DL_MAP_ Length** | 8 | |
| Зарезервовано | 4 | Значення бітів повинно бути рівно 0 |
| } | | |

**Used subchannel bitmap** - визначає, які групи підканалів використовуються в першій зоні PUSC і в зонах PUSC, для яких індикатор в STC_DL_Zone_IE () _use all SC дорівнює 0. Значення _1 - група підканалів використовується даним сегментом, _0 - група підканалів не використовується даним сегментом (табл. 2.4).

**Repetition_Coding_Indication** - визначає вид кодування повторюванням раніше, який застосовується в DL-MAP. Кодування повторенням 0 - повторення відсутня, 1 - одне додаткове повторення, 2 - три додаткових повторення, 3 - п’ять додаткових повторень.

**Coding_Indication** - визначає вид перешкодостійкого коду, котрий застосовується в DL-MAP. Для передачі повідомлення DL-MAP використовується QPSK і перешкодостійкий код зі швидкістю - 1/2.

**DL_MAP_Length** - визначає довжину повідомлення DL-MAP в слотах.

Таблиця 2.4

Індекси підканалів в групах

| Група підканалів | Діапазон підканалів |
|---|---|
| 0 | 0-5 |
| 1 | 6-9 |
| 2 | 10-15 |
| 3 | 16-19 |
| 4 | 20-25 |
| 5 | 26-29 |

24-бітове повідомлення DL_Frame Prefix має бути повторено два рази перед відображенням в FCH. Отриманий блок довжиною 48 біт є мінімально можливим блоком для завадостійкого кодування.

# 3 МОДЕЛІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ WI-MAX

## 3.1 Етапи впровадження технології Wi-MAX

Успішний розвиток технологій бездротового доступу зумовило розробки в області широкосмугового високошвидкісного бездротового зв'язку. З середини 1999 року корпорація Intel почала формування концепції принципів роботи і вимог до пристроїв такого рівня. Уже в січні 2000 р. формуються і узагальнюються умови використання операторського рівня MAC. У лютому 2001 р. сформована робоча група (Working Group Review) для опрацювання технічних проблем і розробки стандарту. У грудні 2001 р. корпорація Intel представила вихідну версію стандарту IEEE 802.16, що охоплює діапазон частот 10-66 ГГц і описує загальні принципи мережі. Одночасно велося опрацювання окремих складових стандарту і пошук найкращого діапазону частот. Станом на 2003 рік з'явилися вдосконалені версії стандарту 802.16c (опрацювання профілю обладнання в діапазоні 10-66 ГГц) і 802.16a (2003 рік) (стандарт із застосуванням фіксованих антен клієнтських станцій в діапазоні 2-11 ГГц). Стандарт IEEE 802.16a, по суті, є бездротовим рішенням проблеми «останньої милі» і є альтернативою цифрових сполучних ліній DSL. Доопрацювання стандарту IEEE 802.16a була представлена під номером 802.16 Revd (802.16d), а в 2004 р. перейменована на IEEE 802.16-2004. У цьому стандарті були враховані всі поправки і він, по суті, замінює попередні версії 802.16, 802.16a і 802.16c.

### 3.1.1 Забезпечення зв'язку з мобільними об'єктами

На другому етапі розвитку технології Wi-MAX передбачається розгортання систем на основі стандарту IEEE 802.16e з метою забезпечення широкосмуговим зв'язком мобільних терміналів користувачів. У ці термінали повинні бути вбудовані мініатюрні трансівери з мікросхемою процесора управління, що підтримують технологію Wi-MAX. Крім того, повинна бути і спеціальна мініатюрна широкосмугова антена. Мікросхема Rosedale, трансівер Texas

Instruments і UWB-антена, розроблена спільно фірмами NEC і Anten здатні забезпечувати мобільність клієнтських терміналів.

На перших кроках забезпечення мобільним зв'язком може здійснюватися в межах тільки «своєї» базової станції. У міру опрацювання системи управління естафетної передачі в мережі мобільні термінали зможуть без втрати трафіку перемішатися в межах всієї мережі, тобто в межах міста і передмість.

Специфікації стандарту IEEE 802.16e є розширенням для мобільних клієнтів, забезпечуючи широкосмуговий високошвидкісний зв'язок в межах всього стільника (в потенціалі до 50 км). У цьому стандарті опрацьовані рішення, що забезпечують вхід і вихід на територію провайдера, локальний і регіональний роумінг. Такий рівень сервісу буде природним розвитком вже розгорнутих систем стандарту 802.16-2004 з фіксованими антенами. Доступ до магістральних лініях зв'язку та Інтернету буде забезпечений і для клієнтів з фіксованими антенами в офісах, і для мобільних абонентів в межах міської та приміської територій. Це буде прекрасним рішенням надання зв'язку бізнес-користувачам. Важливою особливістю стандарту IEEE 802.16e є підтримка високого, динамічно керованого рівня якості (QoS) для різних типів даних, що передаються. Система здатна автоматично визначати тип зв'язку і надавати різну смугу частот і різний рівень якості. Наприклад, для VoIP, для радіо- і відеомовлення можливий більший рівень втрат пакетів, ніж для передачі даних, однак потрібно істотно менше запізнювань і нестабільність часу затримки.

### 3.1.2. Перспективи розвитку

Наступне покоління Wi-MAX базується на подальшому розвитку стандарту IEEE 802.16 - 802.20, який орієнтований на забезпечення мобільності. Фізичний рівень (рівень управління радіодоступом і смугами частот) і рівень передачі даних (протокол управління середовищем - Medium Access Control protocol) спеціально розробляються для мобільного обладнання, такого як адаптивні антенні пристрої. Концепція, що лежить в основі адаптивних («розумних») смартантен (Smart), -

забезпечити обробку сигналу відразу від декількох антен з метою мінімізації інтерференції.

Специфікації 802.20 - це перший IEEE-стандарт, який повністю призначений для потреб мобільних клієнтів, включаючи і їх пересування на транспорті (автомобіль, поїзди і т. п.) до швидкостей 240 км/год. При цьому швидкість передачі даних не нижче 2 Мбіт/с. Такі умови передбачається мати повсюдно в світі.

У той час як стандарт IEEE 802.16e підтримує роумінг на регіональному рівні, стандарт IEEE 802.20, так само, як і технологія 3G, має здатність підтримки глобального роумінгу. На відміну від систем 3G, архітектура яких передбачає високий рівень скритності (захищеності, надійності) для всіх типів трафіку, стандарт 802.20 підтримує різний рівень надійності для різних типів трафіку, наприклад, висока якість передачі з меншою надійністю для голосового, аудіо- та відеомовного трафіку, де допустимі часткові втрати, і високу надійність для передачі даних. Іншим суттєвим значенням технології Wi-MAX стандарту 802.20 є надання симетричного високошвидкісного каналу і на лінії «вгору», і на лінії «вниз», на відміну від систем 3G (EDGE, CDMA, WCDMA, GSM), де принципово застосовується асиметричний режим, при якому каналам «вгору» надається помітно менша швидкість. Можливість користуватися високошвидкісними каналами на лінії «вгору» для багатьох бізнес-користувачів вельми приваблива як для доступу до магістральної мережі, так і для віддаленого доступу зі свого мобільного терміналу до тієї чи іншої корпоративної локальної мережі.

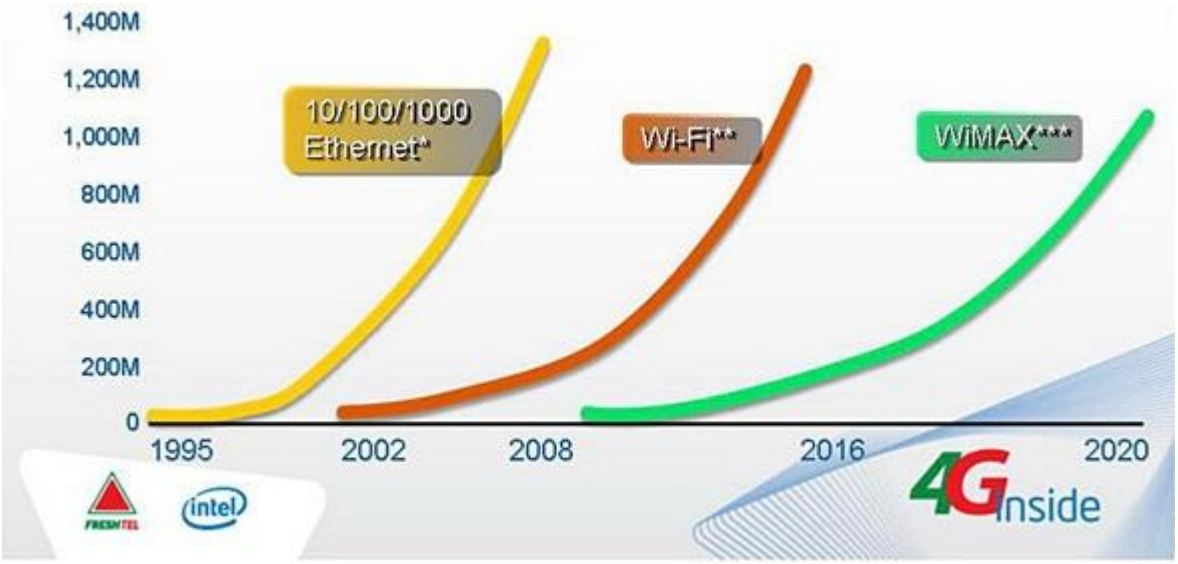
Стандарт IEEE 802.20 обіцяє об’єднати багато привабливих якостей 802.16e і 3G, в той же час зменшуючи їх обмеження. Більш того, зіставлення можливостей Wi-MAX стандарту IEEE 802.20 з проектованими стандартами 4G в рамках пропозицій UMT 2000 показує помітні технічні та економічні переваги стандарту IEEE 802.20.

## 3.2 Економічні розрахунки

Безсумнівним успіхом можна вважати те, що стандарт 802.16 з’явився раніше, ніж виробники почали освоювати випуск устаткування. Виробники

виявили суперечливі моменти стандарту, що змусило вносити корективи в цей стандарт і його наступні версії. З економічної точки зору позитивним моментом є те, що початок розробки обладнання і його випуск почалися практично відразу ж після опублікування стандартів технології Wi-MAX. Багато переваг цієї технології були оцінені відразу. Тому розробкою і випуском обладнання для Wi-MAX почали займатися багато провідних фірм. За 1,5-2 роки вже розгорнуті у багатьох країнах світу системи на основі стандарту 802.16 (preWi-MAX).

За дослідженнями відомих фірм: Dell'Oro Group, IDC та Intel, які зробили маркетингові дослідження, представлено графік зростання користувачів технологією Wi-MAX. Його приведено на рис. 3.1.




* - джерело: Dell'Oro Group; ** - джерело: IDC; *** - джерело Intel

Рис. 3.1 Ріст користувачів технологією Wi-MAX

По вертикалі приведено число користувачів (в мільйонах чоловік). Дані завжди коректуються в сторону зростання як користувачів так і технологій 4-го та 5-го поколінь.

Вже сьогодні багато абонентських гаджетів мають вбудовані вузли, що підтримують Wi-MAX. І їх кількість буде неухильно зростати, що, безумовно, підштовхне до ще більш широкого впровадження технології Wi-MAX в побутових телекомунікаційних мережах.

На рисунку 3.2 наведені показники зростання числа мобільних гаджетів та смартфонів, що підтримують технології ШСД.

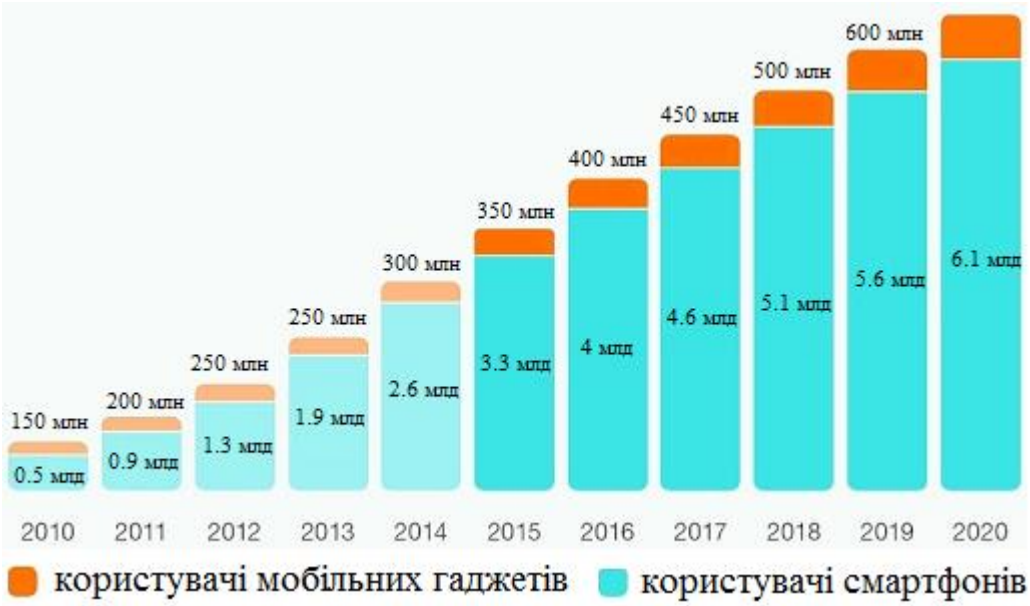



Рис. 3.2 Число мобільних гаджетів та смартфонів, що підтримують технології ШСД

Як показав досвід перших розгорнутих в деяких країнах вузлів доступу за технологією Wi-MAX, на перших етапах основна кількість користувачів - це представники бізнесу та студенти. Важливе значення для них, безумовно, має вартість обладнання. Для студентів актуальним є вартість гаджетів, а для бізнес-користувачів, в основному, які працюють в офісах, важлива вартість станцій користувачів SS. У таблиці 3.1 наведені показники вартості обладнання Wi-MAX на різних етапах розвитку цієї технології.

Таблиця 3.1

Показники вартості обладнання Wi-MAX

| Етапи | Характерні особливості | Вартість абонентського комплекту з інсталяцією (у.о.) |
|---|---|---|
| Етап №1 | Установка фіксованих зовнішніх антен і станцій користувачів. Немає необхідності прокладати або орендувати високошвидкісні провідні лінії зв'язку | 1900 |
| Етап №2 | Поява кімнатних антен, що дозволяють встановлювати з'єднання безпосередньо з базовою станцією; сумісність з Wi-Fi; застосування станції користувачів для мобільних комп'ютерів не є обов'язковим | 500-600 |
| Етап №3 | Сертифіковані засоби зв'язку з вбудованими пристроями Wi-MAX; мобільність, роумінг в межах мережі, а в перспективі - глобальний роумінг | 250-450 |

Вартість абонентського обладнання етапу №1 визначається вартістю станції користувачів. Привабливо, що цю станцію може встановити і ввести в роботу сам користувач без залучення фахівців провайдера мережі. Це дозволить заощадити витрати. На етапі №2 і етапі №3 вартість визначається ціною вбудованих Wi-MAX-пристроїв. Їх ціна при масовому випуску і конкуренції виробників значно знижується і вже на етапі №3 стає доступною для масового користувача. На сьогоднішній день вартість базової станції становить $15-20 тисяч з очікуваним зниженням ціни до $10 тисяч. Вартість користувальницької станції $250-450 з очікуваним зниженням при масовому випуску до $200.

На першому етапі вартість послуг доступу до Wi-MAX мережі може становити $6-10 на годину ($25-30 на добу). З розвитком мережі ціна за послуги буде знижуватися. Привабливо, що вартість послуг може визначатися не часом заняття каналу або кількістю переданих/прийнятих даних, а також вираховується системою Wi-MAX виходячи зі швидкістю передачі. При високошвидкісному доступі вартість мегабайта даних виявиться порівняно невисокою.

У мільйонному місті може бути достатнім мати 4-5 базових станцій з радіусом зони покриття 20-30 км. Впровадження системи виявиться економічно вигідним, бо термін окупності вкладень становить не більше 5 років, а щомісячний дохід з одного клієнта може становити $200-250.

Виходячи з досвіду перших провайдерів послуг, можна привести (таблиця 3.2) деякі зведені дані про можливі доходи.

Таким чином, з економічної точки зору технологія Wi-MAX виглядає дуже привабливо. За оцінками представників Siemens Business Services, використане в пілотній програмі обладнання, яке забезпечило широкосмуговий бездротовий доступ на площі понад 200 квадратних миль, вартувало менше $20 тисяч. Щоб забезпечити доступ такої ж якості за допомогою дротових технологій, довелося б витратити не один мільйон доларів.

Вражаючі успіхи останніх років дозволяють з упевненістю стверджувати, що використання різних бездротових технологій в телекомунікаційного зв’язку надзвичайно вигідно.

Таблиця 3.2

Зведені дані о можливих доходах

| Група клієнтів | Сервіс | Середній місячних дохід, $ |
|---|---|---|
| Приватні клієнти | Дані | Від 10 до 15 |
| | Дані + голос | Від 20 до 30 |
| Малий бізнес | Дані | Від 30 до 40 |
| | Високоякісні послуги зв’язку з SLA | Від 40 до 50 |
| | Передача даних та голосу | Від 50 до 60 |
| | Повний набір послуг (VPN, ASP) | Від 65 до 75 |
| Середній бізнес | Дані | Від 100 до 125 |
| | Високоякісні послуги зв’язку з SLA | Від 125 до 150 |
| | Передача даних та голосу | Від 150 до 175 |
| | Повний набір послуг (VPN, ASP) | Від 200 до 350 |

За даними маркетингових досліджень виробництво стаціонарного і портативного широкосмугового обладнання в діапазоні нижче 11 ГГц в світі виросло з $430 млн. до $562 млн., тобто більш ніж на 30% лише за останній рік. За прогнозом виробництво обладнання широкосмугового доступу зросте до $2,5 млрд. до 2025 р.

Одні з перших випуск широкосмугового обладнання почали Airspan і Alvarion. Сильний поштовх до розвитку виробництва широкосмугового обладнання призвели маркетингові дослідження Intel і досягнення Wi-MAX-форуму, пов’язані з випуском стандарту IEEE 802.16. За дуже короткий термін безліч компаній приступило до розробки і випуску різного обладнання, що використовує технологію Wi-MAX.

# ВИСНОВКИ

Сучасні телекомунікаційні системи і технології потребують нових, більш швидких та більше ємкісних мереж передачі даних. Системи 3-го покоління, які на даний момент широко представлені на ринку телекомунікацій України не завжди можуть задовольнити вимоги користувачів. Саме тому, в найближчий час по всій території країни будуть розгорнуті мережі 4-го покоління.

Технологія Wi-MAX – це еволюційний перехід на сучасні та високошвидкісні мережі, що дозволить вивести користування мобільним гаджетом на більш високий рівень.

В роботі розглянуті аспекту проектування, організації та впровадження технології Wi-MAX на телекомунікаційний ринок країни. Відповідно, розглянуті труднощі та економічні складові на кожному етапі.

Перший розділ роботи присвячено огляду технології Wi-MAX. Проведено аналіз архітектури мережі, виявлено схожості та відмінності від мереж Wi-Fi та систем мобільного зв’язку 3-го покоління.

У другому розділі роботи проведено аналіз фізичного рівня мережі. Розглянуто параметри сигналу системи та структуру кадру при передачі повідомлення.

Третій розділ роботи дає можливість проаналізувати моделі застосування систем зв’язку технології Wi-MAX. Розглянуто етапи впровадження систем даної технології, перспективи її подальшого розвиту та наведено узагальнені дані щодо економічної доцільності як з боку оператора так і з боку користувача телекомунікаційних послуг.

Виходячи с проведеного аналізу можна зробити висновок, що не дивлячись на активний розвиток систем 4-го покоління (LTE) системи Wi-MAX мають ряд переваг, стосовно організації та розгортання мережі. Перш за все – це зручність

роботи з обладнанням (для організації мережі підійде обладнання вже наявне обладнання систем 3-го покоління). Проте є і недоліки: у порівнянні з системами LTE Wi-MAX має дещо менші швидкості передачі даних, що частіше за все робить вибір між цими стандартами не на користь останнього.