

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут інноваційних освітніх технологій

Кафедра комп'ютерних інформаційних технологій

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

_____Савченко А.С.

“ _____ ” _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИЦІ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ

“МАГІСТРА”

ЗА СПЕЦІАЛІЗАЦІЄЮ “ІНФОРМАЦІЙНІ УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ
ТА ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ГАЛУЗЯМИ)”

Тема: «Інформаційна система розгортання та вибору комп'ютерної мережі
гібридного типу»

Виконавиця: Сидорець Оксана Михайлівна

Керівник: к.т.н., Колісник Олена Василівна

Нормоконтролер: _____ Райчев І.Е.

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії

Кафедра Комп'ютерних інформаційних технологій

Галузь знань, спеціальність, спеціалізація: 12 “Інформаційні технології”, 122 “Комп'ютерні науки”, “Інформаційні управляючі системи та технології (за галузями)”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Савченко А.С.

“ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи студентки

1. Тема роботи: «Інформаційна система розгортання та вибору комп'ютерної мережі гібридного типу» затверджена наказом ректора від 18.01.2020 № 10/ст

2. Термін виконання роботи: з 18.01.2020р. до 25.02.2020 р.

3. Вихідні данні до роботи: програмний засіб для оптимізації проектування і розгортання мереж доступу гібридного типу.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Аналіз сучасних технологій передачі даних.
2. Постановка задачі. Розробка алгоритмів і підходів для створення і роботи з мережами змішаного типу.
3. Прототип та структура програмного засобу.

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

1. Структурні схеми технологій передачі даних.
2. Конфігурація мережі змішаного типу.
3. Об'єктно-орієнтована-модель програмного засобу та структурна схема бази даних.
4. Результат роботи прототипу програмного засобу.

6. Календарний план-графік

№ пор	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
.	Ознайомлення з постановкою задачі та вивчення літератури Написання 1 розділу, представлення керівнику		
.	Написання 2 розділу, представлення керівнику		
.	Написання 3 розділу, представлення керівнику		
.	Написання 4 розділу, представлення керівнику		
.	Загальне редагування та друк пояснювальної записки, графічного матеріалу		
.	Проходження нормо-контролю, перепліт пояснювальної записки.		
.	Розробка тексту доповіді. Оформлення графічного матеріалу для презентації		
.	Отримання відгуку керівника, рецензії.		
.	Підготовка матеріалів для передачі секретарю ДЕК (ПЗ, ГМ, CD-R з електронними копіями ПЗ, ГМ, презентації, відгук керівника, рецензія, довідка про успішність, 1 папка, 1 конверт)		

7. Дата видачі завдання 18.01.2020

Керівник:

к.т.н. Колісник О.В.

Завдання прийняла до виконання:

Сидорець О.М.

Дата

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Інформаційна система розгортання та вибору комп'ютерної мережі гібридного типу»: 89 с., 32 рис., 1 таблиця, 16 інформаційних джерел.

МЕРЕЖА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, КОНФІГУРАЦІЯ, ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА МЕРЕЖА, БЕЗДРОТОВА МЕРЕЖА, ОПТИМІЗАЦІЯ.

Об'єкт розробки – конфігурація мережі передачі даних.

Предмет розробки – змішана бездротово-оптична мережа передачі даних.

Мета роботи – оптимізація конфігурації гібридної мережі шляхом розробки відповідного програмного засобу.

Explanatory note to the graduate work «The software means choosing the optimal configuration of a mixed wireless-optic network»: 89 p. , 32 Fig. , 1 Table 16 information sources.

DATA NETWORKS, SOFTWARE, CONFIGURATION, FIBER OPTIC NETWORKS, WIRELESS NETWORK, OPTIMIZATION.

Property development – network configuration data.

Subject development – mixed wireless-optic data network.

Purpose – to optimize the configuration of hybrid network by developing appropriate software.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ	10
1.1. Бездротові персональні мережі	11
1.1.1. Bluetooth.....	11
1.1.2. Wibree.....	13
1.1.3. ZigBee.....	13
1.1.4. UWB	15
1.2. Бездротові локальні мережі. Wi-Fi.....	16
1.3. Бездротові мережі масштабу міста	17
1.3.1. Система доступу 4G, LTE	17
1.3.2. Технологія WiMAX	18
1.4. Волоконно-оптична лінія передачі даних	23
1.4.1. FTTN.....	24
1.4.2. FTTC	24
1.4.3. FTTB	25
1.4.4. FTTN.....	26
Висновки першого розділу	27
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ «ОСТАННЬОЇ	
МИЛІ».....	28
2.1. Пасивні оптичні мережі	28
2.1.1. Технології APON та BPON	29
2.1.2. Технологія EPON	29
2.1.3. Технологія GPON.....	30
2.2. Змішаний бездротово-оптичний широкосмуговий мережевий	
доступ	31

2.3. Конфігурація змішаного бездротово-оптичного широкосмугового мережевого доступу	32
2.4. Налаштування змішаного бездротово-оптичного широкосмугового мережевого доступу	36
Висновки другого розділу.....	45
РОЗДІЛ 3. СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗБОШМД МЕРЕЖ.....	46
3.1. Інтеграція бездротових і волоконно-оптичних технологій передачі даних в мобільні персональні системи.....	46
3.2. Технології реалізації мобільного зв'язку з мультимедійними комп'ютерно-мережевими засобами.....	47
3.3. Архітектура системи мобільного зв'язку через оптичні канали	51
3.4. Засоби віддаленого доступу на базі мобільної персональної системи.....	54
3.4.1. Узагальнена структура засобів зв'язку МПС.....	64
3.4.2. Вибір технології бездротової передачі	64
3.4.3. Моделювання МПС	66
3.4.4. Внутрішня маршрутизація в МПС	69
Висновки третього розділу	72
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОНФІГУРУВАННЯ ГІБРИДНОЇ МЕРЕЖІ.....	73
4.1. Підхід обмеженого програмування.....	73
4.2. Практична реалізація конфігурації мережі гібридного типу.	74
4.2.1. Основні елементи засобу.....	75
4.2.2. Виведення результату роботи засобу	79
4.2.3. Додаткові можливості засобу	81
Висновки четвертого розділу	86
ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

WPAN	– Бездротові персональні мережі (Wireless Personal Area Network)
WLAN	– Бездротові локальні мережі (Wireless Local Area Network)
WMAN	– Бездротові мережі масштабу міста (Wireless Metropolitan Area Network)
WWAN	– (Wireless Metropolitan Area Network)
UWB	– «Надширока смуга» (Ultra-Wideband)
Wi-Fi	– «Бездротова точність» (Wireless Fidelity)
WiMAX	– Глобальна сумісність для мікрохвильового доступу (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
ВОЛП	– Волоконно-оптична лінія передачі
FTTx	– Оптичне волокно до точки X (Fiber to the X)
FTTB	– Волокно до мережевого вузла (Fiber to the Node)
FTTC	– Волокно до мікрорайону, кварталу або групи будинків (Fiber to the Curb)
FTTB	– Волокно до будівлі (Fiber to the Building)
FTTH	– Волокно до житла (квартири або окремого котеджу) (Fiber to the Home)
PON	– Пасивна оптична мережа (Passive optical network)
OLT	– Оптичний лінійний термінал (Optical Line Terminal)
ONU	– Оптичний (абонентський) пристрій мережі (Optical Network Unit)
ONT	– Оптичний (абонентський) термінал мережі (Optical Network Terminal)
APON	– Асинхронний PON
BPON	– Широкопasmовий (Broadband) PON
EPON	– Ethernet PON
GPON	– Гігабітний (Gigabit) PON
АМНШ	– Алгоритм маршрутизації найкоротшого шляху

- АММС – Алгоритм маршрутизації мінімальної кількості стрибків
- АМППСК – Алгоритм маршрутизації прогнозованої пропускної спроможності каналу
- ЗБОШМД – Змішаний бездротово-оптичний широкосмуговий мережевий доступ
- БС – Базова станція
- МПС – Мобільна персональна система
- ТфЗК – Телефонна мережа загального користування

ВСТУП

На сьогодні існує велика кількість технологій передачі даних. За фізичним середовищем передачі їх можна розділити на технології дротового і бездротового зв'язку. Кожна із них характеризується своїми перевагами і недоліками, та своєю, притаманною лише для неї, користю для кінцевого користувача.

Але особливий інтерес зараз викликають технології, які поєднують у собі переваги як дротового, так і бездротового зв'язку. Це пов'язано, насамперед, з вирішенням так званої «проблеми останньої милі» [1].

Взагалі, ця проблема має безліч рішень, проте у більшій частині з них є один загальний недолік – усі вони вимагають прокладення кабелів. А вартість прокладення кабелю у цьому випадку, зазвичай, складає більшу частину вартості наладки мережі. Крім цього завжди існує вірогідність необхідності прокладання додатково кабелю вже після наладки мережі.

Інша річ технології, які дозволяють обійтися без прокладення нових кабелів. Серед таких є – супутниковий доступ, пакетна передача даних в мережах стільникового зв'язку, передача даних за допомогою радіохвиль Wi-Fi і WiMAX [2], або технології бездротового широкосмугового доступу.

Тому поєднання властивостей обох технологій у змішану технологію завжди буде актуальною, а програмні засоби для оптимізації побудови і розрахунку устаткування такої змішаної мережі завжди будуть затребувані.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Бездротові мережі передачі даних можна розділити наступним чином:

- Бездротові персональні мережі (Wireless Personal Area Network, WPAN), або мережі комутації на робочому місці. Прикладом WPAN є технологія – Bluetooth;
- Бездротові локальні мережі (Wireless Local Area Network, WLAN). Прикладом WLAN є технологія – Wi-Fi;
- Бездротові мережі масштабу міста (Wireless Metropolitan Area Network, WMAN). Прикладом WMAN є технологія – WiMAX;
- Бездротові глобальні мережі (Wireless Wide Area Network, WWAN). Прикладом WWAN є технології – CSD, GPRS, EDGE, EV-DO, HSPA.

Кожна технологія має певні характеристики (рис. 1.1, 1.2) [2], які визначають область її застосування.

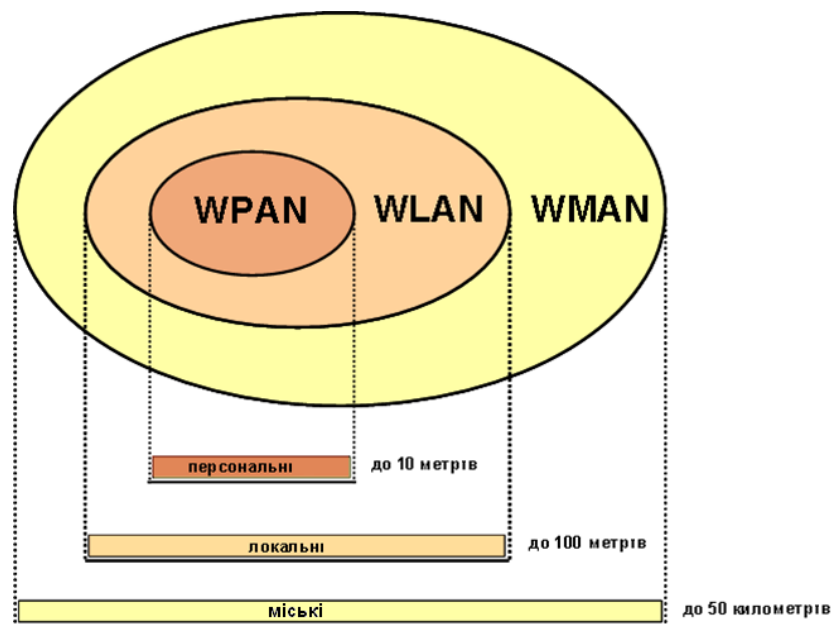


Рис. 1.1. Дальність дії бездротових мереж передачі даних.



Рис. 1.2. Класифікація бездротових мереж передачі даних по дальності дії.

1.1. Бездротові персональні мережі

1.1.1. Bluetooth

Bluetooth – це інтерфейсна безпроводова технологія. Діаметр мережі 10-30 м (деякі стандарти підтримують – 100 м). Працює в багатокористувальному режимі, не обов'язково в зоні прямої видимості. Головне призначення Bluetooth – створення побутових мереж, приєднання мультимедійної периферії, пральних машин, холодильників тощо (рис. 1.3).

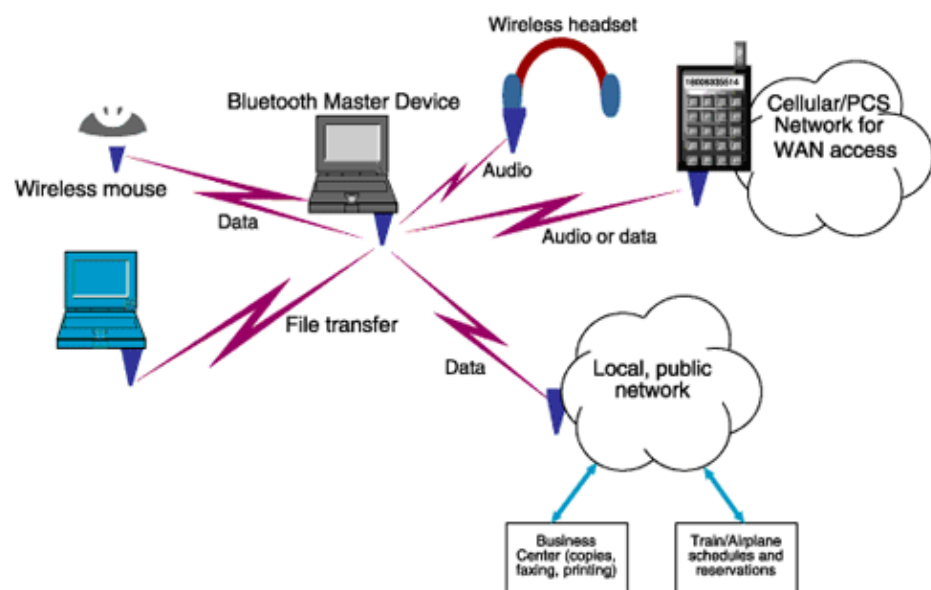


Рис. 1.3. Мережа Bluetooth

Концепцію мережі Bluetooth розробила 1994 р. шведська фірма Ericsson. Назва технології походить від прізвища, що його дали вікінгу Геральду Блатанду, який у X ст. об'єднав розрізнені землі, створивши Данське королівство. Вже в 1997 р. створено перші Bluetooth приймачі-передавачі, а у 1998 році сформовано групу SIG, до якої увійшли Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba, та яка у 1999 році випустила специфікації на обладнання для технології Bluetooth [2].

Інтерфейс Bluetooth дає змогу передавати як голос (зі швидкістю 64 Кбіт/с), так і дані. Для передачі даних можуть бути використані асиметричний (721 Кбіт/с в одному напрямку і 57,6 Кбіт/с в іншому) та симетричний (432,6 Кбіт/с в обох напрямках) методи. Працюючи на частоті 2.4 ГГц, прийомопередавач (Bluetooth-chip) дає змогу встановлювати зв'язок у межах 10 або 100 метрів. Різниця у відстані, безумовно, велика, однак з'єднання в межах 10 метрів дає змогу зберегти низьке енергоспоживання, компактний розмір і досить невисоку вартість компонентів.

У стандарті Bluetooth передбачене шифрування даних, що передаються з використанням ключа ефективної довжини від 8 до 128 біт і можливістю вибору односторонньої або двосторонньої аутентифікації. Додатково, до шифрування на рівні протоколу, може бути використано шифрування на програмному рівні [5].

Технологія Bluetooth працює за принципом FHSS (Frequency-hopping spread spectrum). Коротко це можна пояснити так: передавач розбиває дані на пакети і передає їх за псевдовипадковим алгоритмом стрибкоподібної перебудови частоти (1600 разів в секунду), або шаблоном (pattern), складеному з 79 підчастот. «Зрозуміти» один одного можуть тільки ті пристрої, які налаштовані на один і той самий шаблон передачі – для сторонніх приладів передана інформація буде звичайним шумом.

Забезпечувати підтримку Bluetooth пристроїв покликані спеціальні адаптери або контролери. Контролери бувають трьох класів:

- Class 3. Потужність 1 мВт. Радіус дії близько 1 метра;
- Class 2. Потужність 2,5 мВт. Радіус дії близько 10 метрів;

- Class 1. Потужність 100 мВт. Радіус дії близько 100 метрів.

Сьогодні найбільш поширені Class 1 і 2.

Bluetooth підходить для пристроїв яким не потрібна велика швидкість передачі даних, а також великий радіус дії. Саме він найчастіше використовується у них для гарнітури. Проте для передачі великого обсягу інформації потрібен більш стабільний потік даних з фіксованою швидкістю, що споживає мінімум енергії. Саме це спонукало деякі компанії до створення відгалужених стандартів.

1.1.2. Wibree

В середині червня 2007 року компанія Nokia виступила з офіційним прес-релізом, яким було повідомлено про ведення розробки стандарту Wibree. Wibree заснований на технології Bluetooth і покликаний доповнити її, але не конкурувати. Найголовнішою його відміною від «оригіналу» – є значно більш низьке енергоспоживання. Основне застосування модулів Wibree використовується в біометричних датчиках, які відстежують параметри життєдіяльності людини, в бездротових гарнітурах, клавіатурах, різних пристроях дистанційного керування.

Працює Wibree в тому ж діапазоні, що і Bluetooth: 2.4 ГГц. Максимальна пропускна здатність – до 1 Мбіт/с. Радіус дії – 5-10 м. В цілому нагадує Bluetooth 1.2 Class 2 з ультранизьким енергоспоживанням [5].

1.1.3. ZigBee

ZigBee – ще один бездротовий стандарт. Вперше він був задуманий ще в далекому 1998 році, коли стало зрозуміло, що Wi-Fi і Bluetooth підходять далеко не для всіх випадків. Як і останній ZigBee створений для сполучення пристроїв, але принцип його роботи дещо відрізняється.

Існує три види ZigBee-пристроїв: координатор (ZigBee Coordinator – ZC), роутер (ZigBee Router – ZR) і «кінцевий пристрій» (ZigBee End Device – ZED) (рис. 1.4). Перший є головним у створеній бездротовій мережі і може служити як

роутером, так і мостом для обміну даними і з іншими мережами. Роутер приймає дані від кінцевого пристрою, а також може вести обмін інформацією з іншими роутерами і координаторами. Сам кінцевий пристрій здатний тільки передавати дані [5].

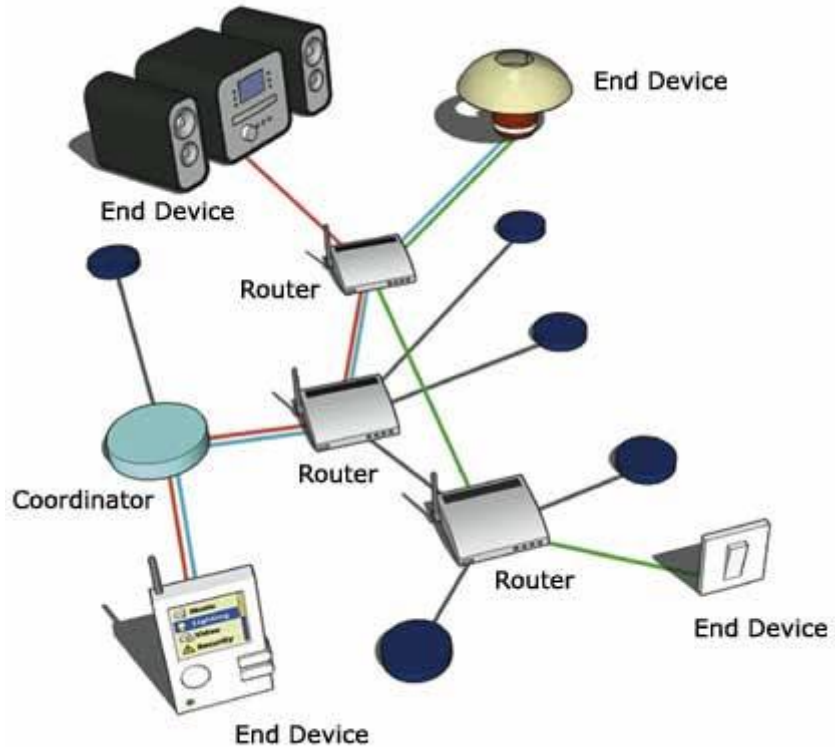


Рис. 1.4. Мережа ZigBee

Таким чином ZigBee не використовується як технологія для обміну даними між цифровими девайсами таких, як плеєри, фотоапарати, принтери, КПК, ноутбуки і так далі. Зате застосування цієї технології на виробництві, або в якості охоронної системи куди більш актуальне. Саме в цьому напрямку вона і використовується. По каналах ZigBee циркулюють переважно біти і байти з технічними відомостями від датчиків, пультів дистанційного керування і т.п.

ZigBee – приклад реалізації промислового бездротового стандарту, який розширює і спрощує наше життя і роботу. Bluetooth і Wibree погано підійшли б для цих цілей, тому і була створена така спеціалізована технологія. Сьогодні вона підтримується багатьма виробниками.

Існує ще кілька подібних розробок, наприклад, MiWi, JenNet, EnOcean, Z-Wave. Вони конкурують як з ZigBee, так і з Wibree і їх реалізація в деяких моментах збігається.

1.1.4. UWB

Зважаючи на деякі недоліки Bluetooth паралельно з цією технологією розвивалися стандарти, які також здатні працювати на відносно малих радіусах, але вже з величезними в порівнянні з Bluetooth швидкостями.

Наприклад, у випадку коли через бездротову мережу необхідно переглянути HDTV-фільм з сусіднього комп'ютера, а він займає декілька десятків Гбайт, то звісна річ, що Bluetooth не впорається з цією задачею. Навіть досить швидкий стандарт Wi-Fi тут погано підійде. Він створений скоріше для бездротового Інтернету, чим для широкосмужової передачі даних. В даному випадку потрібна технологія, здатна забезпечити високу швидкість передачі даних, причому не обов'язково на великій відстані. Саме це і є головна концепція UWB.

UWB – від аббревіатури (англ. Ultra-Wideband, «надширока смуга»). Завдяки широкосмужовій (wideband) передачі даних зв'язок дійсно виходить дуже швидким.

В основі UWB лежить стандарт IEEE 802.15.4a. На відміну від звичайної радіо-передачі UWB передає дані за допомогою хвиль, що генеруються в певні моменти часу. При цьому використовується широкий частотний діапазон, викликаючи таким чином модуляцію за часом [5].

Для передачі даних можуть використовуватися частоти від 500 МГц і вище. Максимальна швидкість UWB може досягати десятків гігабіт, все залежить від частоти. Хоч кожна країна сама визначає діапазон частот для UWB відомо, що при використанні надширокої смуги (не менше 500 МГц) технологія UWB дозволяє досягти швидкості передачі до 480 Мбіт/с на відстані до 3 м.

Від UWB знайшли свій початок не менш повільні технології WirelessUSB та WirelessHD.

1.2. Бездротові локальні мережі. Wi-Fi

Одним з найпоширенішим і найвідомішим безмережеским стандартом, на пару з Bluetooth, звичайно є – Wi-Fi (англ. Wireless Fidelity — «бездротова точність»). Сьогодні навіть найдешевші моделі цифрової техніки оснащуються пристроєм підтримки безпроводної мережі Wi-Fi. Але дана технологія стала популярною зовсім не відразу як була представлена.

Перші роботи над Wi-Fi почалися ще в 80-х роках минулого століття. Однак фінальні специфікації були готові лише в 1997 році. Організація IEEE привласнила їм маркування 802.11.

Точка доступу в Wi-Fi – це аналог роутера звичайної локальної мережі. Тільки підключення до неї здійснюються через радіопередачу, а не по дротах. Теоретично їх число необмежена, хоча для більшої швидкості і стабільності краще розподіляти комп'ютери між декількома точками (рис 1.5) [5].

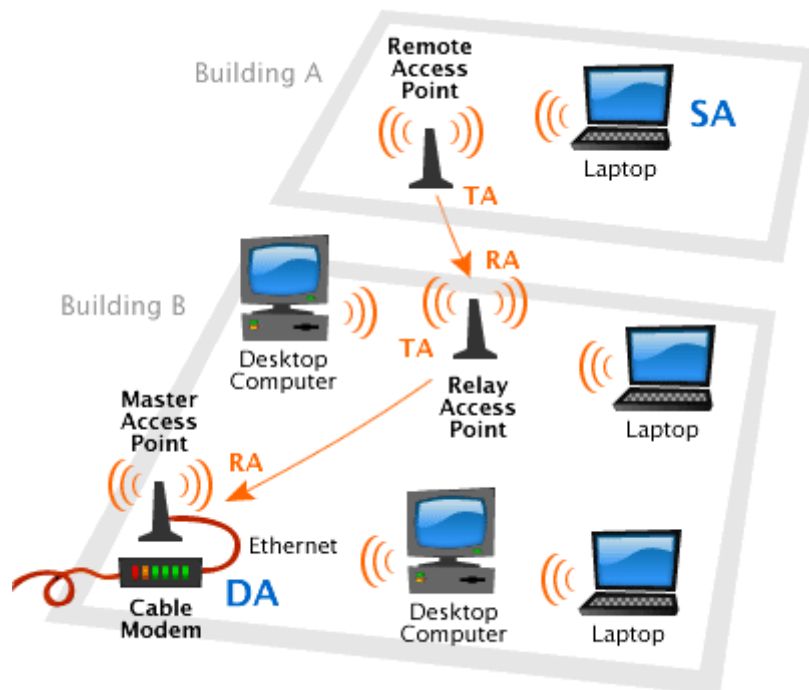


Рис. 1.5. Мережа Wi-Fi

Взагалі принцип розгортання Wi-Fi досить схожий з мережею. У ролі базових станцій виступають точки доступу. Якщо їх налаштувати відповідним чином, то вони будуть підтримувати зв'язок один з одним, роблячи можливим

обмін інформацією між комп'ютерами, підключеними до будь-якої з них. Якщо такого налаштування не робити, то програма управління картою Wi-Fi надасть можливість підключитися до однієї з наявних мереж.

На сьогодні стандарт Wi-Fi 802.11ac дозволяє істотно розширити пропускну здатність мережі, починаючи від 433 Мбіт/с до 6.77 Гбіт/с (на частоті 5.0 ГГц), що набагато швидше найпершої версії Wi-Fi, яка підтримувала швидкість до 2 Мбіт/с.

1.3. Бездротові мережі масштабу міста

1.3.1. Система доступу 4G, LTE

4G – перспективне (четверте) покоління мобільного зв'язку, що характеризується високою швидкістю передачі даних і підвищеною якістю голосового зв'язку. До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дозволяють здійснювати передачу даних зі швидкістю, що перевищує 100 Мбіт/с для мобільних абонентів і 1 Гбіт/с для стаціонарних.

Системи зв'язку 4G засновані на протоколах пакетної передачі даних. Для пересилки даних використовується протокол IPv4, а також, в майбутньому планується підтримка IPv6. Технологія 4G була стандартизована Міжнародним союзом електрозв'язку у 2012 році.

Зараз у багатьох країнах ще використовуються технології 3G і 3,5G (існує більше 100 комерційних мереж). Втім, деякі країни прагнуть відразу перейти до мереж 4G, «перестрибнувши» 3G. З технічної точки зору, основна відмінність мереж четвертого покоління від попереднього, третього, полягає в тому, що технологія 4G повністю заснована на протоколах пакетної передачі даних, тоді як 3G сполучає в собі передачу голосового трафіку і «пакетів». Для «голосу» в 4G передбачена технологія VoIP, що дозволяє здійснювати голосові дзвінки, застосовуючи швидку «пакетну» передачу даних.

Найбільш важливою проблемою поширення 4G являється низька активність інвесторів. Розвиток мереж четвертого покоління затримує те, що мережі 3G мають високий потенціал інтенсивного і екстенсивного розвитку. Ще до недоліків апаратів, здатних працювати з мережами 4G, полягає їх високе енергоспоживання.

Паралельно з терміном 4G дуже часто використовується термін LTE. По суті, з технічної точки зору, розбіжності між цими термінами немає. При використанні терміну LTE мають на увазі технологію мобільного зв'язку, яка робить можливу швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с. Термін 4G відзначає лише те, що використовує четверте покоління стандартів стільникового зв'язку.

1.3.2. Технологія WiMAX

Технологія WiMAX – це технологія бездротового широкосмугового зв'язку, що базується на стандарті IEEE 802.16, та забезпечує високошвидкісну передачу даних на великі відстані.

Технологія WiMAX здатна задовольнити потреби великої кількості користувачів. Вона дозволяє встановити дешеву та швидкісну мережу передачі даних без витрат коштів і часу, які необхідні для встановлення дротової мережі. Особливо актуальною ця технологія є для сільської місцевості, де є потреба в швидкій передачі даних, а провідні рішення можуть бути неефективними через великі відстані. Крім того WiMAX може використовуватися для мобільних додатків, надаючи високошвидкісні послуги для користувачів у дорозі.

З моменту першої появи цієї технології, було розроблено дві окремі версії WiMAX, і хоча вони базуються на одному і тому ж стандарті, реалізація кожного з них була оптимізована відповідно до конкретної задачі.

- 802.16d (фіксований WiMAX) – заміна DSL. Версію 802.16d часто називають 802.16-2004, і це ближче до того, що можна назвати оригінальною версією WiMAX, визначеною під 802.16a. Вона спрямована на фіксований доступ та забезпечує бездротовий еквівалент широкосмугових даних DSL – які часто називають

широкосмуговим WiMAX. Насправді, WiMAX описується як «альтернатива кабелю та DSL». 802.16d здатна забезпечити швидкість передачі даних до 75 Мбіт/с. Радіус дії, зазвичай, до 75 км.

- 802.16e (мобільний WiMAX). Першочергово WiMAX передбачав лише фіксовану технологію. Проте, користувачі потребували отримання даних під час руху в дорозі, причому отримання даних за меншою вартістю, ніж по стільниковому зв'язку. Саме це спонукало розробці та появі 802.16e. Цей стандарт ще відомий під назвою 802.16-2005. З його появою користувачі мають можливість підключитися до мережі WiMAX з різних місць. 802.16e здатний забезпечити швидкість передачі даних до 15 Мбіт/с, а відстань у радіусі дії становить від 2 до 4 км.

Спочатку вважалося, що WiMAX частково конкурує з Wi-Fi, проте, пізніше виявилися і інші напрями, яким WiMAX почав становити конкуренцію.

WiMAX може працювати у трьох основних режимах:

- TDD (дуплекс з часовим розділенням);
- FDD (дуплекс з частотним розділенням);
- напівдуплексний FDD.

Найпоширенішим режимом роботи WiMAX є режим TDD. Він дозволяє досягти більшої ефективності використання спектру, ніж режим FDD.

Використовуючи режим TDD, базова станція WiMAX пересилає повідомлення кінцевим користувачам з однією частотою, але для того, щоб повідомлення не перешкоджали один одному, їх передача розділяється за часом.

Мережева архітектура WiMAX базується на моделі IP, а загальна архітектура розроблена з урахуванням постійної підтримки фіксованої та мобільної передачі даних.

Мережа WiMAX включає в себе три основні елементи:

- віддалені або мобільні станції;
- мережа служб доступу (Access Service Network, ASN);

- мережа обслуговування підключення (Connectivity Service Network, CSN).

А архітектура мережі WiMAX складається з наступних об'єктів:

- Абонентська/Мобільна станція. Основне призначення абонентських станцій це обслуговування клієнтів. Вони бувають різноманітних форм, і їх можна встановлювати як в приміщенні, так і назовні. Зовнішня станція має ряд переваг, насамперед, в результаті кращого положення антени. Можливі також використання мобільних станцій. Вони часто бувають у вигляді ключа для ноутбука, тощо.
- Базова станція. Базова станція є важливим елементом мережі WiMAX. Вона відповідає за надання бездротового інтерфейсу абонентській та мобільній станціям. Вона також надає додаткову функціональність з точки зору управління мережею, таких як:
 - прийом/передача повідомлень;
 - встановлення тунелів;
 - управління радіоресурсами;
 - запровадження політики QoS;
 - класифікація трафіку;
 - надання послуг проксі та DHCP сервера;
 - керування ключами;
 - управління сеансами;
 - багатоадресна передача управління.
- Шлюз ASN. Шлюз ASN в архітектурі мережі WiMAX, як правило, виступає точкою агрегації трафіку другого рівня у загальній системі ASN. Шлюз ASN може також надавати додаткові функції, які включають в себе:
 - управління внутрішньою локальною мережею та пейджингом;
 - керування радіоресурсами та контроль доступу;
 - кешування абонентських профілів та ключів шифрування;
 - підтримка функціональності клієнта AAA (див. нижче);

- встановлення та управління тунелем мобільності з базовими станціями;
 - підтримка QoS та політики примусового виконання;
 - функціонування зовнішнього агента для мобільного IP;
 - маршрутизація до обраного CSN.
- Домашній агент. Домашній агент у мережі WiMAX розташований у межах CSN. Оскільки мобільний IP утворює ключовий елемент технології WiMAX, домашній агент працює спільно з зовнішнім агентом, таким як шлюз ASN, для забезпечення ефективного мобільного IP-рішення. Домашній агент слугує точкою прив'язки для абонентів, забезпечуючи безпечний роумінг із можливостями QoS.
 - Сервер аутентифікації, авторизації та абонентського обліку (AAA). Як і будь-яка комунікаційна або бездротова система, яка вимагає послуги передплати, WiMAX використовує сервер аутентифікації, авторизації та абонентського обліку. Це включено до CSN.

Якщо порівнювати WiMAX і Wi-Fi то слід чітко розрізняти, що ці технології спрямовані на вирішення суттєво різних завдань.

WiMAX – це система далекої дії, що покриває великі відстані (рис. 1.6). Вона, зазвичай, використовує ліцензовані спектри частот для встановлення з'єднання з Інтернетом. Різні стандарти сімейства 802.16 забезпечують різні види доступу, від мобільного (схожий з передачею даних у мережах мобільного зв'язку) до фіксованого (альтернатива дротовому доступу, при якому бездротове обладнання користувача прив'язане до розташування).

Wi-Fi – це система більш короткої дії (рис. 1.6), що зазвичай покриває невеликі відстані. Вона використовує неліцензовані діапазони частот для забезпечення доступу до мережі. Зазвичай Wi-Fi використовується користувачами для доступу до їхньої власної локальної мережі, яка може бути не під'єднана до Інтернету.

WiMAX і Wi-Fi мають зовсім різний механізм QoS. WiMAX використовує механізм, заснований на встановленні з'єднання між базовою станцією й

пристроєм користувача. Кожне з'єднання базується на спеціальному алгоритмі планування, який може гарантувати параметр QoS для кожного з'єднання. Wi-Fi, у свою чергу, використовує механізм QoS подібний тому, що використовується у технології Ethernet, при якому пакети отримують різний пріоритет. Останній підхід не гарантує однаковий QoS для кожного з'єднання [5].

Якщо порівнювати стандарти бездротового зв'язку для Wi-Fi і WiMAX то можна виділити наступні відмінності (табл. 1.1).

Таблиця.1.1.

Порівняльна таблиця стандартів бездротового зв'язку

Технологія	Стандарт	Використання	Пропускна здатність	Радіус дії	Частота
Wi-Fi	802.11a	WLAN	до 54 Мбіт/с	до 100 метрів	5,0 ГГц
Wi-Fi	802.11b	WLAN	до 11 Мбіт/с	до 100 метрів	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11g	WLAN	до 54 Мбіт/с	до 100 метрів	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11n	WLAN	до 300 Мбіт/с	до 100 метрів	2,4 ГГц або 5,0 ГГц
WiMax	802.16d	WLAN	до 75 Мбіт/с	6-10 км	1,5-11 ГГц
WiMax	802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбіт/с	1-5 км	2.3-13.6 ГГц
WiMax	802.16m	Mobile WMAN, WLAN	до 1 Гбіт/с (WMAN), до 100 Мбіт/с (Mobile WMAN)	120-150 км	до 11 ГГц

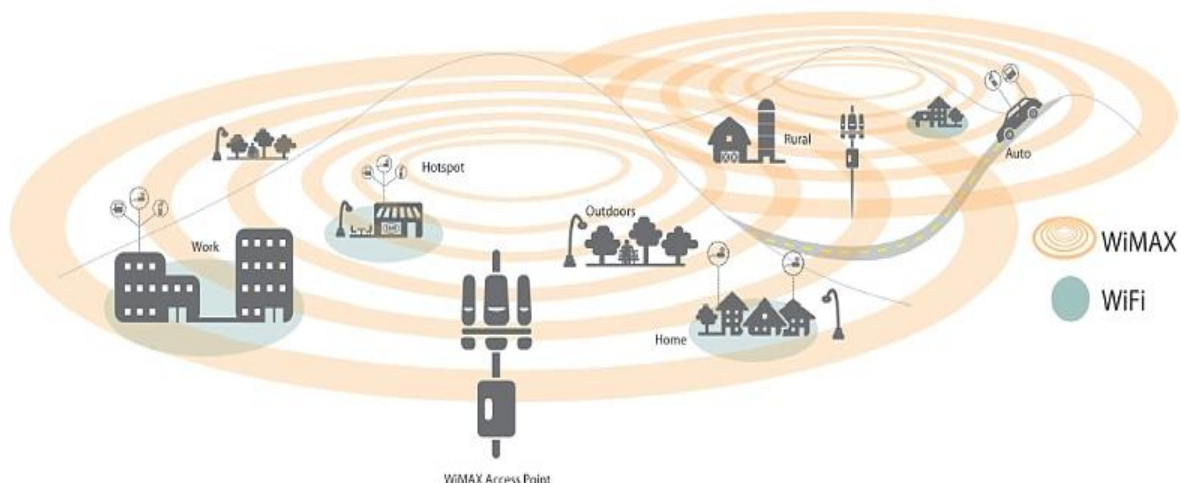


Рис.1.6. Приклад реалізації мережі з використанням Wi-Fi і WiMAX.

1.4. Волоконно-оптична лінія передачі даних

Одним з найперспективніших напрямів в області дротового зв'язку на сьогодні безумовно є оптоволоконні мережі. Розвиток волоконно-оптичної лінії передачі (ВОЛП) різко підвищили швидкодню кінцевих пристроїв систем передачі інформації до 40...80 Гбіт/с і розширили їхню смугу пропускання до 100 ТГц. При цьому смуга пропускання середовища передачі (оптичних кабелів) складає десятки ТГц. Завдяки цьому обсяг переданої інформації з одного волокна у волоконно-оптичних лініях зв'язку збільшився в багато разів. Дальність передачі сигналів без проміжних пунктів регенерації зросла до декількох сотень кілометрів і в перспективі досягне тисяч кілометрів [3].

На сьогодні існує багато концепцій широкосмугової телекомунікаційної мережі передачі даних, які використовують у своїй архітектурі оптоволоконний кабель. Є загальний термін для таких концепцій, який у перекладі звучить, як оптичне волокно до точки X – FTTx (англ. Fiber to the X). Тобто від вузла зв'язку до певного місця, точка «X», доходить оптоволокно, а далі, до абонента – мідний кабель [8-9].

У сімейство FTTx входять різні види архітектур, серед яких чотири основні (рис. 1.7):

- FTTN (Fiber to the Node) – волокно до мережевого вузла;

- FTTC (Fiber to the Curb) – волокно до мікрорайону, кварталу або групи будинків;
- FTTB (Fiber to the Building) – волокно до будівлі;
- FTTN (Fiber to the Home) – волокно до житла (квартири або окремого котеджу).

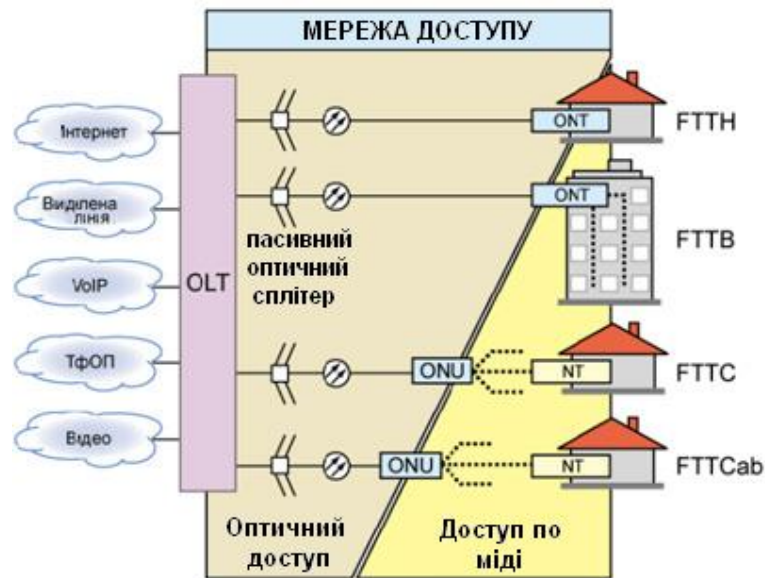


Рис. 1.7. Сімейство FTTx.

1.4.1. FTTN

Історично першими з'явилися рішення FTTN.

На сьогодні FTTN використовується в основному як бюджетне і швидко впроваджуване рішення там, де існує розподільна «мідна» інфраструктура і прокладення оптоволокна нерентабельне. Усім відомі пов'язані з цим рішенням труднощі: невисока якість послуг, що надаються, обумовлена специфічними проблемами мідних кабелів, що лежать в каналізації, істотне обмеження за швидкістю і кількістю підключень в одному кабелі.

1.4.2. FTTC

FTTC – це поліпшений варіант FTTN, позбавлений частини властивих останньому недоліків. У випадку з FTTC в основному використовуються мідні кабелі, прокладені усередині будівель, які, як правило, не схильні до проблем, пов'язаних з попаданням води в телефонну каналізацію, з великою протяжністю лінії і якістю використовуваних мідних жил, що дозволяє добитися більш високої швидкості передачі на мідній ділянці.

FTTC в першу чергу призначена для операторів, що вже використовують технології xDSL або PON, і операторів кабельного телебачення. Реалізація цієї архітектури дозволяє їм з меншими витратами збільшити число обслуговуваних користувачів [8]. В Україні цей тип підключення часто застосовується невеликими операторами Ethernet-мереж. Пов'язано це з нижчою вартістю мідних рішень і з тим, що монтаж оптичного кабелю вимагає високої кваліфікації виконавця.

1.4.3. FTTB

Архітектура FTTB отримала найбільше поширення, оскільки при будівництві мереж FTTx на базі Ethernet (ETTx) часто це єдина технічно можлива схема. Окрім цього, в структурі витрат на створення мережі ETTx різниця між варіантами FTTC і FTTB відносно невелика, при цьому операційні витрати при експлуатації мережі FTTB нижчі, а пропускна спроможність вища. Архітектура FTTB домінує у будинках, які тільки зводяться, і у великих операторів зв'язку. Тоді як FTTN затребувана тільки в новому малоповерховому будівництві. В першу чергу це пов'язано з істотно більш високою вартістю її реалізації в порівнянні з вартістю мережі FTTC/FTTB, та відсутністю переваг в смугі пропускання для користувача.

1.4.4. FTTH

Однозначно на користь рішень FTTH виступають експерти компанії Motorola. Проведений ними аналіз показує, що якщо технічні рішення, які закладаються в основу сегменту доступу мережі сьогодні, виявяться нездатними забезпечити швидкість 10 Гбіт/с в 2018-2020 роках, то моральне застарівання устаткування станеться до закінчення інвестиційного циклу. Оператор повинен обов'язково враховувати ці дані, інакше він ризикує виявитися уразливим перед лицем конкурентів у міру прагнення користувачів до отримання послуг усе більш високого класу.

У свою чергу експерти компанії Alcatel-Lucent перераховують наступні переваги архітектури FTTH:

- з усіх варіантів FTTx вона забезпечує найбільшу смугу пропускання;
- це повністю стандартизований і найбільш перспективний варіант;
- рішення FTTH забезпечує масове обслуговування абонентів на відстані до 20 км від вузла зв'язку;
- FTTH дозволяє істотно скоротити експлуатаційні витрати – за рахунок зменшення площі технічних приміщень (необхідних для розміщення устаткування), зниження енергоспоживання і власне витрат на технічну підтримку [9].

Висновки першого розділу

Будь-яка технологія не залежно від сфери застосування проходить шлях від становлення до широкого використання або з часом забувається як малоперспективна або неперспективна зовсім. З Технологією FTTX усе йде трохи інакше, з моменту появи технології її майбутнє було очевидним, але як і будь-яке нововведення, вона вимагає великих капіталовкладень, навіть у разі повної переваги над іншими технологіями, а також потребує часу.

Технологія WiMAX дозволяє здійснювати доступ в мережу Інтернет на високих швидкостях, з набагато більшим покриттям, ніж у Wi-Fi мереж. Це дозволяє використати технологію в якості «магістральних каналів», продовженням яких виступають традиційні DSL – та виділені лінії, а також локальні мережі. В результаті подібний підхід дозволяє створювати масштабовані високошвидкісні мережі в масштабах цілих міст.

Використання технології FTTx спільно з WiMAX може вирішити більшість проблем що виникають в усіх провайдерів відносно «останньої милі». Узявши від кожної з технологій її переваги, і тим самим компенсуючи недоліки кожної, ми можемо отримати оптимальну на сьогодні мережу, по будь-якому з критеріїв, при цьому допустивши лише малі втрати в інших критеріях в порівнянні з використанням кожної технології окремо.

РОЗДІЛ 2.

ТЕХНОЛОГІЇ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ»

2.1. Пасивні оптичні мережі

Волоконно-оптичні лінії передачі як правило складаються із пасивних та активних елементів. З економічної точки зору для забезпечення широкосмужової передачі інформації, високої пропускної здатності та необхідної ефективності нарощування вузлів мережі повністю задовольняє архітектура пасивної оптичної мережі (PON, Passive optical network).

Ця архітектура складається з таких основних елементів:

- оптичного лінійного терміналу OLT (Optical Line Terminal), який містить у собі певну кількість портів PON (типово від 4 до 112) та порти Gigabit Ethernet або 10 Gigabit Ethernet для підключення до транспортної IP мережі;
- оптичного (абонентського) пристрою мережі ONU (Optical Network Units), або оптичного (абонентського) терміналу мережі ONT (Optical Network Terminal). ONT може бути розрахованим на одного користувача, на групу користувачів, або на організацію, та мати порти для різних мережевих технологій;
- повністю пасивної оптичної розподільчої мережі між ними, яка складається зі сплітерів з коефіцієнтом розділення від 1:2 до 1:64, що розташовані централізовано, або розподілено.

Оптичний лінійний термінал OLT встановлюється в центральному офісі та здатний приймати потоки даних з боку магістральних мереж і формувати низхідний потік до абонентських терміналів по дереву PON. Абонентський термінал ONT є інтерфейсом для підключення до дерева PON і абонентських портів, які воно має.

Пасивна оптична мережа може розгортуватися практично за усіма топологіями звичайної локальної мережі, а її розвиток привів до появи цілого сімейства різних технологій, таких як: APON, BPON, EPON і GPON. Ці технології відрізняються, головним чином, швидкістю передачі, кількістю абонентських вузлів на одне закінчення OLT, а також інтерфейсами сполучення з устаткуванням користувача.

2.1.1. Технології APON та BPON

Починаючи з 1995 року почалася активна робота для забезпечення та реалізації архітектури FTTH. Робочими групами основних постачальників телекомунікаційних послуг було оформлено повний набір послуг для надання доступу до мережі FTTH. Саме тоді Міжнародний союз електрозв'язку стандартизував дві технології PON, які призначалися для FTTH. Перший використовував асинхронний режим передачі даних – APON, другий широкосмуговий (broadband) режим передачі – BPON. Проте ці технології не здобули широкої популярності та застосування. Типові APON/BPON змогли забезпечити швидкість передачі даних 155 – 622 Мбіт/с та виявилися доволі дорогими у реалізації [4, 6].

2.1.2. Технологія EPON

Технологія доступу по пасивній оптичній мережі EPON була розроблена для надання широкосмугового мультисервісного множинного абонентського доступу по оптичному волокну. Вона дозволяє економити на кабельній інфраструктурі за рахунок скорочення сумарної протяжності оптичних волокон, оскільки на ділянці від центрального вузла до розгалужувача використовується лише одне волокно. Також економія робиться за рахунок скорочення числа оптичних передавачів і приймачів в центральному вузлі і виключення активного устаткування на проміжних

точках відгалуження потоку до клієнта, відповідно до стандарту один волоконно-оптичний сегмент мережі EPON охоплює до 32 абонентських термінальних вузлів в радіусі до 20 км [6].

Рішення на основі архітектури EPON використовують логічну топологію «точка – багато точок». Основною топологією побудови мережі EPON є дерево з пасивним оптичним розгалуженням. До одного порту центрального вузла EPON можна підключати цілий волоконно-оптичний сегмент, що включає десятки абонентських терміналів. Кожен абонентський термінал у свою чергу здатний обслуговувати десятки клієнтів. У проміжних вузлах дерева встановлюються компактні пасивні розгалужувачі (сплітери), що не вимагають живлення і обслуговування.

2.1.3. Технологія GPON

Архітектуру мережі доступу GPON (Gigabit PON) можна розглядати як органічне продовження технології APON. При цьому реалізується збільшення як смуги пропускання мережі PON, так і ефективності передачі різноманітних мультисервісних застосувань [14].

Передача з OLT ведеться на довжині хвилі 1490 нм зі швидкістю 2,5 Гбіт/с, а прийом – на довжині хвилі 1310 нм зі швидкістю 1,25 Гбіт/с. Таким чином забезпечується робота системи по одному волокну за принципом WDM (спектральне ущільнення каналів). Асиметричність швидкостей потоку обумовлена характером трафіку низхідного потоку (закачування файлів, передача відео) [13].

Одночасна робота багатьох абонентів у одному волокні забезпечується:

- у низхідному потоці (від OLT до ONT) за принципом широкомовлення – усі кадри передаються усім абонента у зашифрованому 128-бітним ключем вигляді, і кожен ONT має доступ своїх кадрів;

- у висхідному потоці працює принцип TDM (часового мультиплексування). Кожен з ONT веде передачу тільки у своєму проміжку часу.

Стабільна та гнучка робота досягається завдяки повній синхронізації мережі разом з динамічним розподілом смуги перепуску [4].

Побудова розподільної мережі GPON є цікавим і творчим процесом, при якому необхідно враховувати як технічні характеристики, так і економічні аспекти різних топологій. У міській місцевості раціональним є застосування сплітерів малої ємності (1:2 – 1:4 у зовнішній мережі), далі у будинку коефіцієнт сплітера залежить від кількості абонентів (1:8, 1:16, 1:24, 1:32, 1:64) і далі індивідуальне волокно іде до кожного з абонентів. У сільській місцевості переваги GPON проявляються навіть у більшій мірі. Тут раціональним є встановлення кінцевого сплітера в залежності від групи близьких один до одного домів. Також, окрім FTTH, GPON може використовуватися у FTTB та FTTC із застосуванням групових ONT.

Завдяки найвищим швидкостям та механізмам керування трафіком технологія GPON дозволяє надати найкращий та найякісніший пакет послуг та максимізувати прибутки оператора. Експлуатаційні витрати є головною статтею економії завдяки GPON. Головні фактори — централізація обладнання та керування мережею, проста та надійна пасивна інфраструктура мережі, відсутність активного обладнання всередині мережі, відповідно значна економія електроенергії та орендних витрат.

2.2. Змішаний бездротово-оптичний широкосмуговий мережевий доступ

Змішаний бездротово-оптичний широкосмуговий мережевий доступ (ЗБОШМД) є перспективною технологією для мереж доступу майбутнього. Зараз ЗБОШМД стали приділяти все більше уваги [4]. На сьогодні ранні версії його бездротової частини використовуються як самоврядні (автономні)

рішення доступу, які можуть виключити встановлення абонентських бездротових маршрутизаторів в приміщенні замовника. Ця конфігурація дозволяє заощадити на вартості прокладення мережі, оскільки волокно не завжди повинно охоплювати кожного кінцевого користувача. Тому актуальним на даний момент є пошук нових рішень для мереж PON, і саме таким рішенням є – ЗБОШМД.

Конфігурація ЗБОШМД використовує краще з обох технологій:

- з дротово-оптичної – надійність, міцність і високу якість зв'язку;
- з бездротової – гнучкість (підхід: «у будь-який час, у будь-якому місці») та економію.

ЗБОШМД складається з бездротової мережі в передній (абонентській) частині, і підтримується оптичною мережею в задній (провайдерській) частині (рис. 2.1). У якості оптичної мережі використовується PON, так як на сьогодні вона являється домінуючою оптичною технологією доступу, а у якості бездротової мережі використовуються технології Wi-Fi або WiMAX [11].

2.3. Конфігурація змішаного бездротово-оптичного широкосмугового мережевого доступу

Початок кожного сегменту PON веде до оптичного-лінійного терміналу OLT, який знаходиться в центральному офісі. Кінець кожного сегменту PON містить деяку кількість оптичних вузлів мережі ONU, які зазвичай встановлені у кінцевих користувачів в стандартній конфігурації PON. Для бездротової частини ЗБОШМД, ONU будуть сформовані за допомогою бездротових базових станцій (БС) або точок доступу. Бездротові БС, які безпосередньо пов'язані з ONU виступають бездротовими «мережевими шлюзами» тому що вони є шлюзами як для оптичної так для бездротової частини мережі. Крім того, ці шлюзи – бездротові закінчення ЗБОШМД бо

вони складаються з інших бездротових маршрутизаторів, що забезпечує ефективне управління мережею [12].

Таким чином, передня (абонентська) частина ЗБОШМД являється по суті багатократним повторювачем бездротової мережі з декількома бездротовими маршрутизаторами і шлюзами. У бездротовій частині ЗБОШМД можуть використовуватися стандартні технології, такі як Wi-Fi або WiMAX (рис. 2.1) [7].

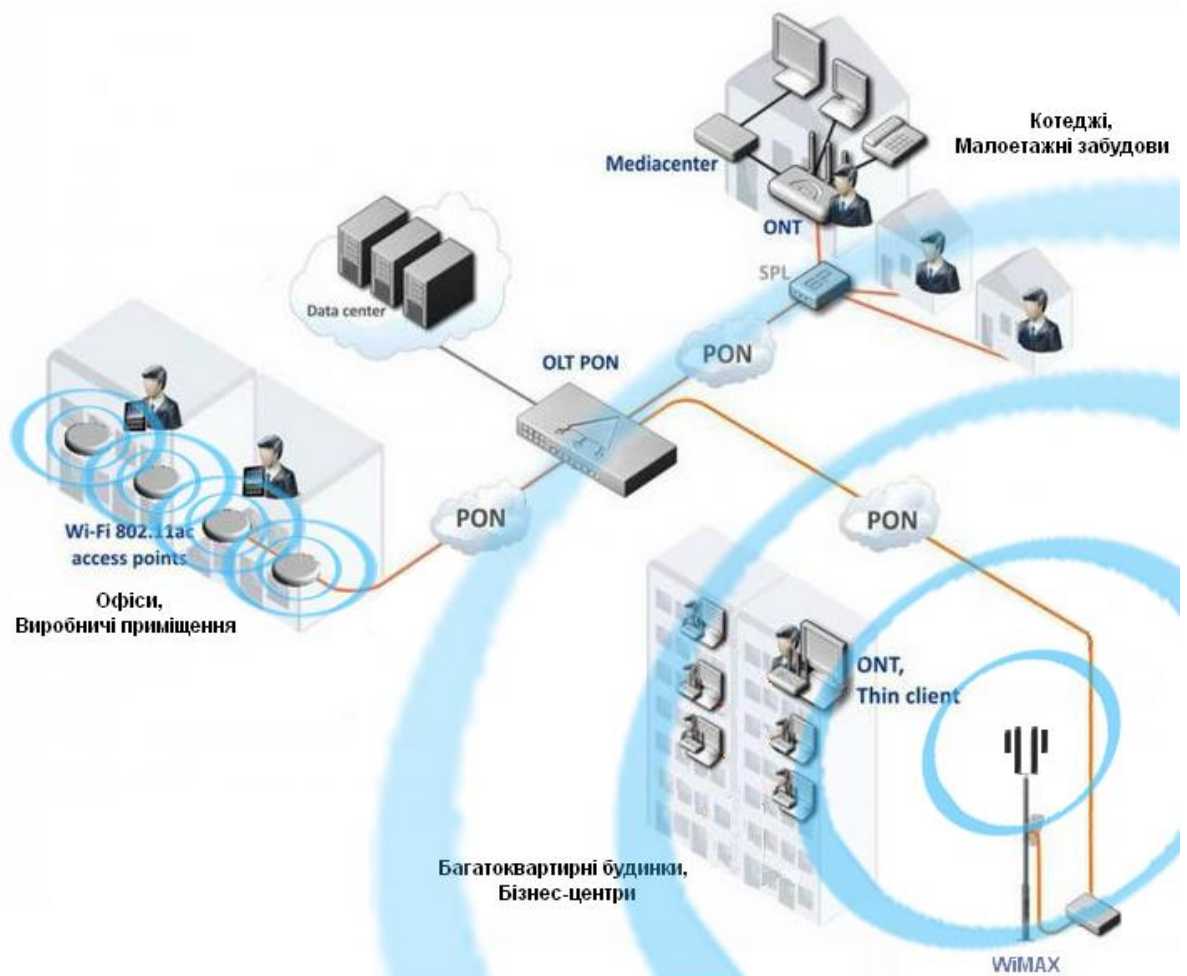


Рис.2.1. Конфігурація ЗБОШМД

Але іноді надання бездротового доступу від центрального офісу до кожного кінцевого користувача може виявитися неможливим із-за обмеженої дії БС. Таким чином, за рахунок використання високої місткості оптоволоконної інфраструктури на одному кінці, ЗБОШМД потенційно може підтримувати набагато більшу базу користувачів з більш високою

пропускною спроможністю на іншому, в порівнянні з традиційними бездротовими рішеннями.

У типовій ЗБОШМД, кінцевий користувач відправляє дані до найближчого бездротового маршрутизатора, який, у свою чергу, пересилає пакети далі у бездротову мережу ЗБОШМД. Причому у випадку багатократного повторювання, пакет може декілька раз пересилатися (повторюватися) через шлюзи поки не потрапить до оптичної частини ЗБОШМД.

ЗБОШМД є мультидоменною змішаною мережею. По суті це інтегрована мережа деревовидної архітектури де оптичний-лінійний термінал OLT є початком дерева.

Розгортання ЗБОШМД має ряд переваг над дротяними оптичними і бездротовими мережами:

- ЗБОШМД може бути економічнішим і ефективнішим в порівнянні з дротяними мережами. Представлена архітектура (рис. 2.1) показує, що можна уникнути дорогого підключення оптоволокна до бізнес-центру, оскільки установка і обслуговування оптоволокна прокладеного до будинків може бути дуже дорогим. За попередніми оцінками вартість прокладення волоконно-оптичних мереж з використанням технології FTTH, дорожче за використання для тих же цілей бездротових мереж, в середньому, в 20-30 разів. Це в першу чергу пов'язано з кількістю прокладеного кабелю і в масштабах великого міста мережі на основі оптоволокна будуть дорожчі в 25-27 раз. У мережі ЗБОШМД, користувач підключатиметься до його найближчого ONU у бездротовому режимі, можливо, в декілька «стрибків» через інші бездротові маршрутизатори. У

ONU дані від користувачів бездротових мереж будуть оброблені і відправлені до OLT через оптоволокно;

- бездротова частина цієї архітектури дозволяє користувачам усередині ЗБОШМД безперешкодно зв'язатися один з одним. Так, ЗБОШМД є гнучкішим рішенням, ніж оптичні мережі доступу. Підхід «у будь-який час, у будь-якому місці» може бути застосований і до ЗБОШМД. Таким чином, Wi-Fi якраз є відповідною технологією для абонентської частини ЗБОШМД, оскільки може бути використана гнучкість і мультиспопові можливості ЗБОШМД. WiMAX є альтернативою Wi-Fi для абонентської частини ЗБОШМД, оскільки, окрім гнучкості, його перевагою є більш висока швидкість передачі даних в порівнянні з Wi-Fi;
- ЗБОШМД надійніший в порівнянні із звичайною дротяною мережею. У традиційних PON, якщо рветься волокно підключення розгалужувача до ONU, то ONU не працюватиме. Ще гірше, якщо збій відбувається в магістралі від OLT до розгалужувача, тоді буде збій в усіх ONU. Але, в ЗБОШМД, оскільки користувачі мають можливість формувати топології багатоланкової мережі, бездротовий зв'язок може адаптуватися таким чином, що користувачі можуть під'єднатися до сусіднього «живого» ONU. Користувачі використовуватимуть цей ONU, який, у свою чергу, сполучений з іншим OLT;
- завдяки оптичним магістралям, які мають велику пропускну спроможність, пропускну спроможність ЗБОШМД вище в порівнянні з бездротовою мережею;
- ЗБОШМД надійніше за бездротову мережу. Завдяки цьому виникає менше проблем з перевантаженням мережі і втратою

інформації в порівнянні з бездротовою мережею. Крім того, користувач може використати будь-який сусідній ONU, якщо його основний ONU несправний або перевантажений, таким чином ЗБОШМД виграє в плані балансування пропускної спроможності;

- ЗБОШМД являється «самоорганізаційною» системою за рахунок відмовостійкості і своєї надійності в плані підключення до мережі і балансування навантаження;
- у багатьох країнах світу волокна, що розвиваються, прокладені далеко (20 км) навіть в сільській місцевості, але прокладення і забезпечення широкосмугового зв'язку є дуже дорогим і трудомістким процесом. У таких випадках уряд може або побудувати схожі з ЗБОШМД архітектури, або створити умови які стимулюватимуть операторів для їх розгортання.

Слід зазначити, що ЗБОШМД являється рентабельною широкосмуговою мережею, що має високу місткість, і останнім часом його ранні версії (бездротовий комунікаційний процесор ЗБОШМД) впроваджують як рішення доступу у багатьох містах по всьому світу. Таким чином, впровадження ЗБОШМД є важливим чинником розвитку мережевого сценарію.

Відколи ЗБОШМД об'єднав в собі два потужні методи, з'явилося багато цікавих наукових досліджень і методів рішення складних проблем в області планування і експлуатації мереж.

2.4. Налаштування змішаного бездротово-оптичного широкосмугового мережевого доступу

Продуктивності мережі багато в чому залежить від впровадження ONU, тобто шлюзових маршрутизаторів, де перетинається оптична і бездротова частини мережі. Правильне розміщення ONU має вирішальне значення для оптимізації витрат ЗБОШМД. З метою вирішення цієї проблеми, використовуються наступні алгоритми розташування ONU в ЗБОШМД:

- довільне розташування ONU. Це, по-суті, метод спроб і помилок, коли після ділення мережі на декілька частин, що не перетинаються, ONU довільно розміщуються в кожній ділянці мережі. Такий метод прокладення мережі нерентабельний і може не забезпечити необхідну якість підключення (тому що, якщо ONU розташовуються випадковим чином, їх може виявитися занадто багато на одній ділянці мережі і не вистачати на іншій частині);
- детермінований підхід за заздалегідь спланованою схемою (як правило симетричне розташування ONU). Це заздалегідь спланована схема, в якій після ділення мережі на декілька ділянок, що не перетинаються, ONU поміщають в «Центри» кожної такої ділянки. Детермінований підхід хороший для симетричної мережі, і має набагато нижчі технологічні вимоги. Такий підхід не вимагає попередньої оптимізації, але він не підходить для мереж з неоднорідним розподілом користувачів;
- поглинаючий або жадібний алгоритм – полягає в прийнятті локально оптимальних рішень на кожному етапі прокладення мережі, допускаючи, що кінцеве рішення також виявиться оптимальним. алгоритм, що полягає в прийнятті локально оптимальних рішень на кожному етапі, допускаючи, що кінцеве рішення також виявиться оптимальним. Проте для цього алгоритму характерні дві особливості: по-перше, до них

застосовується *Принцип поглинаючого вибору*, а по-друге, вони мають властивість *Оптимальності для підзадач*. Говорять, що до оптимізаційного завдання застосовано принцип поглинаючого вибору, якщо послідовність локально оптимальних виборів дає глобально оптимальне рішення. Говорять, що завдання має властивість оптимальності для підзадач, якщо оптимальне рішення задачі містить в собі оптимальні рішення для усіх її підзадач. У контексті виконуваної роботи мета цього алгоритму розташувати ONU в ЗБОШМД таким чином щоб оптимізувати середні витрати по усіх користувачах сусідніх ONU. Алгоритм розпочинається із заданого розподілу користувачів бездротової мережі. Це, в першу чергу, користувачі з житлових будівель і офісів, тому вони мало- чи взагалі немобільні. Алгоритм підраховує кількість заздалегідь визначених точок для розташування ONU. Далі підраховуються відстані від усіх ONU до користувача (координати якого відомі заздалегідь). Кожному користувачеві алгоритм надає свій номер (в порядку зростання), залежно від відстані між користувачем і ONU. Потім визначається основний ONU, який є найближчим (мінімальна відстань від користувача). Нарешті, алгоритм формує порядок користувачів для первинного ONU (преміям користувачі), і оптимізує розміщення кожного первинного ONU по відношенню до цих користувачів;;

- підхід умовного відпалу або комбінаційна оптимізація – виконує локальну оптимізацію кожного ONU після визначення преміум користувачів для цього ONU. Поглинаючий алгоритм є евристичним, тобто таким, який виконує локальну оптимізацію кожного ONU після визначення преміум користувачів для цього

ONU, але він не є глобально оптимальним. Для глобального вирішення по оптимізації потрібний ефективніший підхід. Алгоритм імітації (умовного) відпалу – загальний алгоритмічний метод рішення задачі глобальної оптимізації, особливо дискретної і комбінаторної оптимізації. Алгоритм ґрунтується на імітації фізичного процесу, який відбувається при кристалізації речовини з рідкого стану в твердий, у тому числі при відпалі металів. Алгоритм імітації відпалу схожий на градієнтний спуск, але за рахунок випадковості вибору проміжної точки потрапляє в локальні мінімуми рідше, ніж градієнтний спуск. Алгоритм імітації відпалу не гарантує знаходження мінімуму функції, проте при правильній політиці генерації випадкової точки в просторі X , як правило, відбувається поліпшення початкового наближення. У контексті даної роботи алгоритм умовного відпалу працюватиме у такий спосіб: за первинне розміщення ONU відповідає поглинаючий алгоритм. Мета цієї глобальної оптимізації – знайти мінімальні середні витрати для усіх користувачів (не лише преміум користувачів) по відношенню до мульти- ONU. Так, алгоритм переносить ONU із застосуванням малих випадкових величин (фаза обурення алгоритму). Після змін алгоритм обчислює величину нових витрат розміщення ONU (фаза розрахунку розміщення алгоритму) і відстежує наскільки змінилися витрати в порівнянні з попереднім розміщенням. Якщо нові витрати нижчі, алгоритм міняє ONU, інакше він приймає колишнє розташування (фаза прийняття алгоритму). Алгоритм повторює цей процес, поки є можливість коригування витрат (фаза оновлення алгоритму). Коли зникає можливість зменшення витрат, алгоритм приходить в так званий

«стан рівноваги», при якій ніякі зміни не можуть знизити витрати;

- підхід обмеженого програмування або спільна оптимізація – полягає в оптимальному синхронному розміщенні в абонентській частині БС і ONU і оптоволоконному устаткуванні від ONU до OLT в провайдерської частині. Обмеження програмування це парадигма програмування в якій відношення змінних вказані у формі обмежень. Обмеження відрізняються від спільних примітивних імперативних мов програмування тим, що вони не визначають крок або послідовність кроків для виконання, а визначають властивості рішення яке буде знайдено. Це визначає програмування в обмеженнях як форму декларативного програмування. Підхід спільної оптимізації припускає конструкцію-взаємодію між оптичною і бездротовою областями. Методика належної оптимізації перед прокладенням може заощадити дорогі оптичні і бездротові засоби, які потрібні для побудови цього типу мережі. Модель обмеженого програмування, що називається первинною моделлю розглядається для застосування в цій предметній області. Цей підхід досліджує аналітичні моделі, які розраховують витрати ONU та БС і вартість прокладення волокна. Це методика оптимізації мережі перед прокладенням, в якій вартість конструкції ЗБОШМД зводиться до мінімуму за рахунок скорочення числа БС і ONU, а також проводиться ефективно планування схеми прокладення волокна. Для належних операцій з ЗБОШМД, первинна модель прораховує декілька обмежень, що задовольняють умову: обмеження встановлюваних БС і ONU, обмеження розподілу користувачів, обмеження пропускну

спроможності, обмеження характеристики сигнал/якість і обмеження кількості перешкод. Оператори мереж можуть порахувати свої витрати по прокладенню ЗБОШМД керуючись запропонованою моделлю.

Враховуючи розташування «бездротових» користувачів, ці алгоритми орієнтовані на те, щоб знайти «хороше», найбільш рентабельне розташування для ONU [12].

Проте, коли ЗБОШМД зконфігурована, виникає проблема з тим як ефективно передати інформацію через неї. Існує декілька алгоритмів маршрутизації в абонентській частині бездротової мережі ЗБОШМД:

- алгоритм маршрутизації мінімальної кількості стрибків;
- алгоритм маршрутизації найкоротшого шляху. Алгоритм маршрутизації найкоротшого шляху (АМНШ) та алгоритм маршрутизації мінімальної кількості стрибків (АММС) широко використовуються у бездротовій частині ЗБОШМД, оскільки процедура їх впровадження проста там, де показник зв'язку в АММС дорівнює одиниці, а в АМНШ, як правило, обернено пропорційний до пропускної спроможності лінії. АММС і АМНШ працюють за принципом пошуку найкоротшого шляху, не враховуючи загальні показники трафіку в мережі. Таким чином, на АММС і АМНШ можуть негативно впливати обмеження маршрутизації, а саме, збільшення часу затримки, погана збалансованість навантаження і перевантаженість ланки або сегменту (що складається з декількох ланок);
- алгоритм маршрутизації по прогнозованій пропускній спроможності каналу. У сучасних підходах також розглядаються алгоритми, запатентовані провайдерами. Алгоритм маршрутизації прогнозованої пропускної спроможності каналу

(АМППСК) якраз один з таких підходів. АМППСК схожий на прогнозований бездротовий протокол маршрутизації (ПБПМ). Використання назви АМППСК замість ПБПМ, пов'язано з тим, що формулювання АМППСК точніше. На відміну від АММС і АМНШ, АМППСК побудований не на принципі пошуку найкоротшого шляху маршрутизації. Він оцінює стан каналу маршрутизації, і вибирає маршрут, з безлічі можливих маршрутів між парою шлюзів користувача, який задовольняє усім вимогам які висуваються до пропускної спроможності каналу. АМППСК періодично отримує результати вимірів коефіцієнтів мережі, використовуючи бездротовий зв'язок. Враховуючи пари шлюзів користувача, алгоритм обчислює доступні маршрути. На підставі історії вибірок, АМППСК динамічно прогнозує стан мережі і потім оцінює пропускну спроможність кожного маршруту. Він вибирає шлях з найбільш високою пропускнуою спроможністю. Хоча АМППСК використовується тільки для передачі пакетів у бездротовій частині ЗБОШМД, його головний мінус в тому, що пакет може зрештою подорожувати усередині мережі довше, ніж очікується, оскільки АМППСК не враховує можливість затримки пакетів. Через це, АМППСК не підходить для сервісів, де затримка є критичною, оскільки передача пакетів може затягнутися, так як буде вибраний маршрут передачі, який задовольняє в першу чергу критерію пропускної спроможності;

- алгоритм маршрутизації заснований на затримці пакетів. Маршрутизація у бездротовій частині мережі ЗБОШМД займається доставкою пакетів від маршрутизатора до шлюзу і навпаки. Шлях бездротової маршрутизації складається з двох

частин: пошук найближчого до користувача бездротового маршрутизатора, і шлях від цього маршрутизатора до відповідного шлюзу через бездротову мережу. Алгоритм маршрутизації заснований на затримці пакетів (АМОЗ) – це попереджуючий похід в маршрутизації, орієнтований на затримки пакетів на стороні користувача бездротової мережі ЗБОШМД, тобто затримки пакетів на шляху від маршрутизатора до шлюзу сполученого з ONU, і навпаки. Затримка пакетів може бути досить великою, зважаючи на те що пакет може проходити декілька маршрутизаторів в мережі перш ніж досягти шлюзу у висхідному потоці даних, або користувача у низхідному потоці. Чим більше мережа ЗБОШМД, тим довше очікувана затримка. АМОЗ моделює мережу з урахуванням того що кожен бездротовий маршрутизатор приймається як стандартний маршрутизатор, періодично прогнозуючи стан бездротової мережі, використовуючи передбачуваний стан мережі або багаторівневий постачальник послуг. Ґрунтуючись на інформації багаторівневого постачальника послуг АМОЗ привласнює коефіцієнти з'єднання бездротового зв'язку. З'єднання з більш високим показником прогнозованої затримки мають вищий коефіцієнт. Потім АМОЗ обчислює шлях з мінімальною прогнозованою затримкою від маршрутизатора до будь-якого шлюзу, і назад. Під час переміщення у висхідному/низхідному потоці даних маршрутизатор/шлюз посилатиме пакети по обчисленому маршруту тільки тоді, коли прогнозована затримка буде нижче заданого порогу, інакше АМОЗ не пропустить пакети в мережу. АМОЗ демонструє метод

вибору маршруту з множини можливих і може знижувати перевантаження для кращого розподілу завантаження в мережі.

Ці алгоритми є в кожному бездротовому маршрутизаторі і шлюзі мережі.

Висновки другого розділу.

В сучасному суспільстві існує потреба в своєчасному та якісному доступі до мереж передачі даних. Саме тому, технології доступу до цих мереж розвиваються дуже швидко. Нові стандарти доступу вирішують не лише проблеми підвищення швидкості та якості надання послуг, але й питання зручності їх використання. Одним з таких стандартів є змішаний бездротово-оптичний широкосмуговий мережевий доступ. Технологія ЗБОШМД являє собою поєднання дротового (оптичного) та бездротового (Wi-Fi або WiMAX) зв'язку, що дозволило забезпечити широкосмуговий доступ на великих відстанях. Крім цього ЗБОШМД є одним із способів вирішення «проблеми останньої милі». Дане рішення особливо ефективно в тих місцях, де кабельні мережі розвинені недостатньо або відсутня можливість з'єднання кабелем. Технологія ЗБОШМД дає можливість легкого розгортання доступу до мережі в короткі терміни, забезпечення високої пропускної спроможності, економічної ефективності, забезпечення інформаційної безпеки операторові зв'язку та його клієнтам.

РОЗДІЛ 3.

СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗБОШМД МЕРЕЖ

3.1. Інтеграція бездротових і волоконно-оптичних технологій передачі даних в мобільні персональні системи

Інтеграція в мобільній персональній системі можливостей сучасних мультимедійних технологій і засобів телекомунікації для передачі аудіо-відеоінформації і цифрових даних дозволяє реалізувати концепцію інформатизації суспільства з точки зору надання необхідної користувачам інформації в часі і в просторі. З цією метою можуть бути використані останні світові досягнення в області створення оптичних мереж надання кожному будинку необхідної смуги пропускання мультимедійної інформації.

Пошук шляхів інтеграції різних засобів передачі і взаємодії мультимедійних інформаційних ресурсів є досить актуальним завданням. При цьому усі створювані засоби мають бути розроблені з урахуванням сучасного стану телекомунікації і мереж передачі даних. У цьому розділі досліджуються можливості інтеграції мобільних засобів зв'язку з оптичними засобами телекомунікації і передачі даних на основі технологій інтелектуальних мереж. Вибір оптичних мереж в якості засобів інтеграції обумовлюється, передусім, широкою смугою пропускання оптичних ліній зв'язку і можливістю організації каналів зв'язку типу FTTH і FTTC.

У основі пропонованої концепції лежить технологія інтеграції засобів мобільного зв'язку із засобами останньої милі, що реалізуються на базі мережеских оптичних модулів. Нині всюди надаються послуги мобільного зв'язку з використанням GSM і аналогічних систем. Мобільні засоби зв'язку постійно інтегруються з мережескими технологіями типу Internet, Web і тому подібне. З іншого боку, мультимедійні засоби кишенькових комп'ютерів, що бурхливо розвиваються, на даний момент виконують функції мобільного зв'язку, інтегруючи їх з колосальними можливостями по обробці інформації. Тому пропонується технологія буде орієнтована на побудову перспективних систем з використанням кишенькового комп'ютера. Як би не розвивалися ці дві технології, функції мобільного зв'язку завжди будуть невід'ємною частиною людської діяльності. Якщо до цього додати прийдешні можливості мобільного телебачення, то значущість інтеграційних технологій важко переоцінити.

3.2. Технології реалізації мобільного зв'язку з мультимедійними комп'ютерно-мережескими засобами

Розвиненим мобільним зв'язком, інтегрованим з сучасними мережами передачі даних, є технологія LMDS (Local Multipoint Distribution Service – локальна багатоточкова розподільна послуга) [15]. По архітектурі мережі для LMDS аналогічні мережам операторів стільникового зв'язку і реалізовані за допомогою «стільників», розташованих на відстані декількох кілометрів один від одного. Завдяки тому, що LMDS займає смугу 1,3 ГГц К-діапазона, цифровий зв'язок здійснюється з неймовірною швидкістю – більше 1 Гбіт/с. LMDS передає звукові і відеопрограми, а також цифрові дані, використовуючи мікрохвильовий сигнал в смузі 27,5-31,3 ГГц.

Стільникове телебачення надає додаткові телефонні канали, та допомагає взяти участь в міжнародних телеконференціях, що сполучають

абонентів за відеозв'язком, дозволяє дивитися передачі, заздалегідь вибравши потрібну мову. З її допомогою можна отримати високошвидкісний доступ у світову комп'ютерну мережу.

Безумовно, як сучасний мобільний зв'язок, так і мобільний зв'язок на базі LMDS мають ряд недоліків. Головні з них – велика витрата смуги пропускання ефірного простору, а також дорожнеча послуг, що надаються, і встановлюваного устаткування.

Альтернативним варіантом реалізації мобільного зв'язку, інтегрованого з мультимедійними комп'ютерно-мережевими засобами, є використання можливостей оптоволоконних засобів телекомунікації загального користування. Поява інтелектуальних мереж надання масових послуг на базі систем типу SONET, ATM, Ethernet не лише сприяє розвитку сучасних технологій, але і обумовлює необхідність створення нових мережових рішень для ефективної утилізації пропускнуєї спроможності оптичних мереж зв'язку. Існуючі можливості вирішення проблеми останньої милі за рахунок пасивних оптичних мереж дозволяють «протягнути» до кожної вулиці і до кожного будинку крайові пристрої на базі оптичних мережових модулів. Стандартизація і уніфікація цієї технології гарантує масове впровадження оптичних мереж.

Сьогодні радіо- та супутниковий зв'язок складають основу телефонних переговорів мобільних користувачів. Безумовно, поступова інтеграція цього виду зв'язку з мережами передачі даних відкриває широкі можливості для майбутніх технологій. Здається, що альтернативи для «ефірного» зв'язку не може бути за визначенням, оскільки немає альтернативного варіанту для самого «ефіру». Проте якщо заглянути в майбутнє на пару років, то можна стверджувати, що приблизно в 2021-2023 рр. ми станемо свідками становлення мереж, повністю заснованих на волоконній оптиці. Деякі автори навіть вважають, що буде досягнута «нірвана» в інформаційних технологіях,

оскільки замість перетворення сигналів з оптичної форми в електричну і навпаки увесь трафік здійснюватиметься виключно у вигляді світлових хвиль. Продуктивність мереж зростає на декілька порядків.

Впродовж приблизно п'яти найближчих років настане епоха інтелектуальних оптичних мереж. Старі системи SDH/SONET поступово витісняються оптичною інфраструктурою, в якій для передачі даних використовуватиметься світлове випромінювання як таке. З оптичним механізмом буде тісно пов'язаний протокол TCP/IP – комбінація протоколу управління передачею і протоколу Інтернет. При вступі нових запитів на IP-обслуговування конфігурація мережі змінюватиметься автоматично. На зміну каналам, що створюються раніше впродовж декількох тижнів, придуть організовані за декілька хвилин канали, здатні забезпечити саме ті параметри трафіку і терміни виконання замовлення, які потрібно для цього сеансу передачі [14].

Безумовно, практичний ефект від подібних технологій буде отриманий тільки тоді, коли оптоволокну «увійде» до кожного будинку, в кожному будівлю за доступною ціною. Вже сьогодні у багатьох великих містах світу оптоволоконними кабелями «оповиті» безліч вулиць і кварталів з можливістю розгалуження їх між користувачами. Таким чином, наближається час, коли у великих містах не залишиться старих мідних кабелів, всюди зв'язок здійснюватиметься за допомогою оптоволоконних ліній.

Нині найдорожчою ділянкою оптоволоконних мереж є ділянка «остання миля» (розділ 2) – ділянка від абонента (від будинку) до найближчого оператора зв'язку. Одним з вирішень проблеми останньої милі оптичними засобами є пасивні оптичні мережі, які використовують три типи активних пристроїв : оптичні мережеві термінали, оптичні мережеві модулі і оптичні лінійні термінали. Набір цих пристроїв спільно з оптоволоконними

кабелями, відгалужувачами, з'єднувачами дозволяє реалізувати всілякі схеми підключення користувачів до магістральних мереж.

Таким чином, поява оптоволоконного зв'язку може створити конкуренцію радіо- та супутникового зв'язку в мегаполісах і великих містах. Концепція створення альтернативного мобільного зв'язку полягає у використанні можливостей оптичних мереж передачі цих і сучасних інформаційних технологій.

Нині пропонована концепція може бути реалізована за допомогою апаратно-програмної і системної інтеграції трьох технологій, які останніми роками почали бурхливо розвиватися.

Інтелектуальна транспортна мережа передачі даних на базі надшвидкісних Ethernet -технологій (1 Гбіт/с, 10 Гбіт/с).

Пасивні оптичні мережі Ethernet для останньої милі (EPON – технологія).

Технологія бездротової Ethernet на базі міжнародного стандарту IEEE 802.11xx для мобільних користувачів (чи інші аналогічні засоби бездротового зв'язку з крайовими модулями оптичних мереж передачі даних).

Крім того, концепція ґрунтується на таких інваріантних відносно методу передачі цих технологіях, як «оптоволокло до будинку» (FTTH), «оптоволокло до будівлі» (FTTB), «оптоволокло до тротуару» (FTTC). І нарешті, основною складовою інтегрованого середовища є кишеньковий комп'ютер (чи аналогічний пристрій), оснащений засобами бездротового мобільного зв'язку з крайовими модулями оптичних мереж передачі даних.

Нині мережа Ethernet з продуктивністю 10 Гбіт/с прийнята як основа для розширення регіональних мереж загального користування.

3.3. Архітектура системи мобільного зв'язку через оптичні канали

Місце оптично-мобільного зв'язку серед інших видів телефонного зв'язку показана на рис. 3.1., який відбиває сучасний стан інтеграції різних видів телефонного зв'язку з урахуванням пропонованої технології. Оскільки спочатку засоби оптично-мобільного зв'язку повинні впроваджуватися у великих містах, охоплених оптоволоконними лініями, то для зв'язку з абонентами за межами міста передбачається інтеграція з існуючими засобами телекомунікації (з АТС, з радіо- або з супутниковими каналами). До речі, аналогічна інтеграція реалізована в сучасному мобільному зв'язку. В майбутньому по трасі магістральних оптичних каналів можуть бути встановлені відповідні повторювачі, комутатори або мости для телекомунікації.

Структурна організація «розводки» оптоволоконних ліній для вирішення проблеми останньої милі припускає наявність кореневих активних мультиплексорів (оптичних мережевих терміналів – ОСТ), сполучених з високошвидкісними мережами передачі даних. ОСТ мультиплексує дані що передаються між N оптичними мережевими модулями (ОСМ), сполученими з призначеними для користувача терміналами. Різноманітність варіантів структурної організації взаємодії ОСТ, ОСМ, оптичних розгалужувачів і тому подібне, дозволяє реалізувати мережеве середовище надання необхідних послуг.

Кожен ОСТ і/або ОСМ оснащується також модулем бездротового зв'язку для мобільних користувачів (802.11xx).

Розташування ОСМ і ОСТ повинно забезпечувати повне покриття території. При цьому за одиницю території може бути вибрана площа, що охоплюється одним або декількома ОСТ. Гнучкість засобів дозволить організувати безліч варіантів структурної організації бездротового зв'язку (у тому числі стільникового).

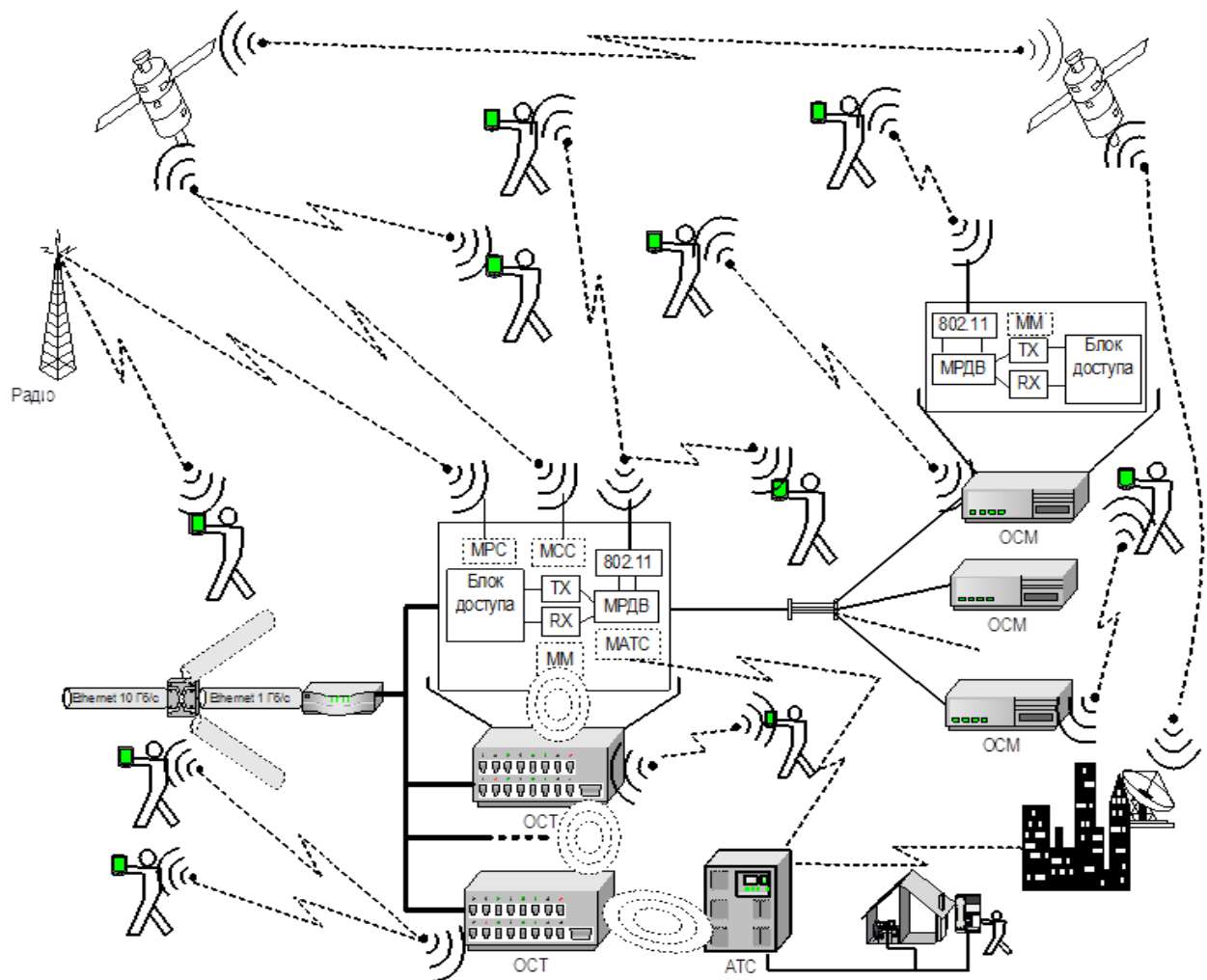


Рис. 3.1. Архітектура системи мобільного зв'язку через оптичні канали

Модуль 802.11xx забезпечує бездротовий зв'язок з мобільними користувачами, у яких як термінальний пристрій використовується кишеньковий комп'ютер. Модуль АТС (МАТС) призначений для передачі даних між модулем 802.11xx і телефонними мережами загального користування (АТС). Міст між засобами оптичний мобільному зв'язку і радіо- або супутниковими засобами зв'язку може бути реалізований відповідними модулями МРС (модуль радіозв'язку) і МСС (модуль супутникового зв'язку). Причому МРС, МСС і МАТС є факультативними і вибираються виходячи з необхідності забезпечення відповідного зв'язку. Крім того, існує модуль мосту (ММ), розширюваний діапазон видимості між модулями 802.11xx. ММ гарантує успішний пошук мобільного користувача у рамках міста в діапазоні видимості найближчих модулів 802.11xx: якщо між

двома ОСМ «видимість» бездротового зв'язку не забезпечується, то або на ОСМ, або на ОСТ встановлюються ММ. Таким чином забезпечується охоплення території, де знаходиться в даний момент мобільний користувач.

Розглянемо узагальнену структуру засобів оптичного мобільного зв'язку. Високошвидкісна транспортна мережа забезпечує передачу (зі швидкістю до 1Гбіт/с) мультимедійної інформації між мережами доступу, які доставляють цей трафік кінцевим користувачам (реалізується EPON - технологія, а оптичні мережеві термінали через оптичні мережеві модулі передають дані безпосередньо користувачам). Оскільки кожний розрахунковий ОСМ містить модулі бездротового зв'язку, то мобільний користувач через модуль 802.11xx, вбудований в кишеньковий комп'ютер, направляє запит на встановлення з'єднання. Цей запит приймається модулем 802.11xx найближчого ОСМ і по оптичній мережі перенаправляється абонентові, що викликається. Отримане від абонента підтвердження на встановлення з'єднання через транспортну мережу і EPON поступає мобільному користувачеві. У разі, коли абонент, що викликається, знаходиться за межами оптичного мобільного зв'язку (за мостом), в процес встановлення з'єднання включаються відповідні модулі МСС, МРС, МАТС. Взаємодія ОСТ і ОСМ для «доставки» оптичних даних по мережі забезпечують мультиплексори розділення довжин хвиль.

Вищеописані модулі оптичних мереж мають бути розроблені з урахуванням сучасних технологічних можливостей створення комп'ютерно-мережевих засобів. З розвитком цих засобів, а також апаратній інтеграції базових модулів оптичних мереж можлива реалізація і інших технічних рішень. Проте, як би то не було, запропоновані архітектурні рішення для створення оптичного мобільного зв'язку є інваріантними відносно функціонального і технологічного рівня розвитку оптичних засобів зв'язку. Засадничий чинник для нової перспективної технології - інтеграція двох розвинених технологій : засобів мобільного зв'язку і оптичних мереж передачі даних. На стику цих двох технологій можуть бути створені

досконалі технології з урахуванням поточного рівня розвитку відповідних апаратно-програмних засобів (наприклад, мобільне телебачення, мобільні аудіо-, відео- і телеконференції, системи інформування населення, мобільна глобальна система навігації і визначення положення і багато що інше).

Що ж до використання як призначеного для користувача терміналу кишенькового комп'ютера, то слід зазначити, що вибір зроблений з метою надання користувачеві можливостей по обробці інформації, аналогічних можливостям настільних комп'ютерів. Це обумовлено ще тим, що вже до теперішнього часу деякі моделі кишенькових комп'ютерів за своїми функціональними характеристиками прирівнюються до настільних комп'ютерів. При цьому мультимедійні можливості кишенькових комп'ютерів є досконалішими: вони оснащуються мікромобільними телефонами, модулями бездротового зв'язку і голосового управління, розпізнавання мови і тому подібне

В цілому запропоновані архітектурні, технічні і технологічні рішення по організації оптичного мобільного зв'язку дозволяють поступово реалізувати надання послуг інформаційних технологій, а також видаленого управління ресурсами і об'єктами, які потрібні мобільним користувачам виходячи з їх діяльності в часі і в просторі.

3.4. Засоби віддаленого доступу на базі мобільної персональної системи

Засоби віддаленого доступу розвиваються вже багато років, це дозволило їм придбати величезну функціональність – доступ до файлів, обчислювальних ресурсів, передача відео- і аудіоінформації, управління голосом, повний контроль над видаленою системою. Проте реалізація розвинених протоколів видаленого доступу в мобільних засобах передачі даних залишається обмеженою через відсутність ефективних методів і технологій. Тільки останнім часом на основі технології бездротового доступу

стали активно розвиватися мережі мобільного зв'язку GSM, мережі домашнього/офісного користування Wi-Fi, Bluetooth, бездротові мережі міського масштабу WiMax і тому подібне. Саме вони можуть не лише вирішити проблеми, властиві дротяному доступу, але і надати нові сервіси, розширити функціональність доступу до мультимедійної інформації (наприклад, забезпечити перегляд відеоконференцій, новин, читання пошти), не обмежуючи рухливості користувачів. Усе це стає можливим завдяки використанню не лише технологій бездротового доступу, але і продукту ще однієї складової сфери мобільних рішень, що бурхливо розвивається, – кишенькових комп'ютерів-комунікаторів і ноутбуків [16].

Безумовно, сучасні рішення в області бездротового зв'язку і мобільного доступу мають ряд недоліків :

- відносно низькі швидкості передачі даних і велика витрата смуги пропускання (наприклад, тільки останні стандарти 802.11 пропонують прийнятні швидкості передачі даних);
- слабо розвинена інфраструктура надання мобільного доступу;
- дорожнеча використання технології за рахунок слабкої або ускладненої інтеграції з існуючими системами дротяного доступу.

Взагалі кажучи, можливі найрізноманітніші варіанти побудови бездротової мережі. У типовому випадку бездротова мережа забезпечує функції доступу до існуючої корпоративної мережі або Інтернет. Сучасні бездротові мережі, що надають можливість переходу від локалізованих точок доступу до повністю бездротових зон, що охоплюють значні території (наприклад, в масштабі міста), можуть стати реальною заміною дротяним лініям зв'язку, а також рішенням проблеми «останньої милі» у великих містах.

Бездротовий доступ позбавлений недоліків, властивих кабельним з'єднанням. Його простіше розгортати, з його допомогою легко розширювати площу покриття. Бездротовий доступ надає більшу свободу для мобільного

користувача, позбавляючи його від прихильності до певного робітника місцю. Мережі нового покоління пред'являють набагато менше вимог до місць установки вузлів доступу. Їх не обов'язково встановлювати на спеціальних вишках – цілком можуть підійти дахи і стіни будинків, стовпи електропередач і тому подібне. За принципом побудови бездротові мережі дуже схожі на мережі мобільної GSM, що вже стали традиційними, - і CDMA-зв'язки. Бездротові мережі теж будуються за принципом базових станцій, діючих в межах стільники регіону покриття однією або декількома точками доступу, розмір якої – від декількох сотень метрів до декількох кілометрів.

Нині можна виділити три домінуючі мережі – телефонна мережа загального користування (ТфЗК), мобільна мережа і Інтернет. Кожна з них в процесі інтеграції, окрім властивих їй послуг і сервісів, придбаває нові, запозичені з суміжної мережі, або ж абсолютно нові, не властиві жодній з мереж до інтеграції.

Незважаючи на постійне взаємопроникнення технологій мобільного аудіо-, відеозв'язку і видаленого доступу до інформаційних ресурсів, нині ці технології реалізуються, як правило, різними засобами. Цілком логічним є припущення, що мережі майбутнього використовуватимуть єдине транспортне середовище на основі високоякісних волоконно-оптичних і бездротових ліній зв'язку, що дозволяють реалізувати широкий спектр мережевих послуг, – від цифрового телебачення, відеотелефонів з живим спілкуванням в реальному часі до миттєвого доступу до різних баз даних і величезних масивів інформації наукового, розважального або повчального характеру.

Спираючись на вищесказане, вже зараз можна зробити висновок про необхідність розробки системи, що дозволяє інтегрувати сучасні мережеві технології і телекомунікаційні засоби зв'язку, на основі високошвидкісної магістральної оптичної мережі (рис. 3.2).

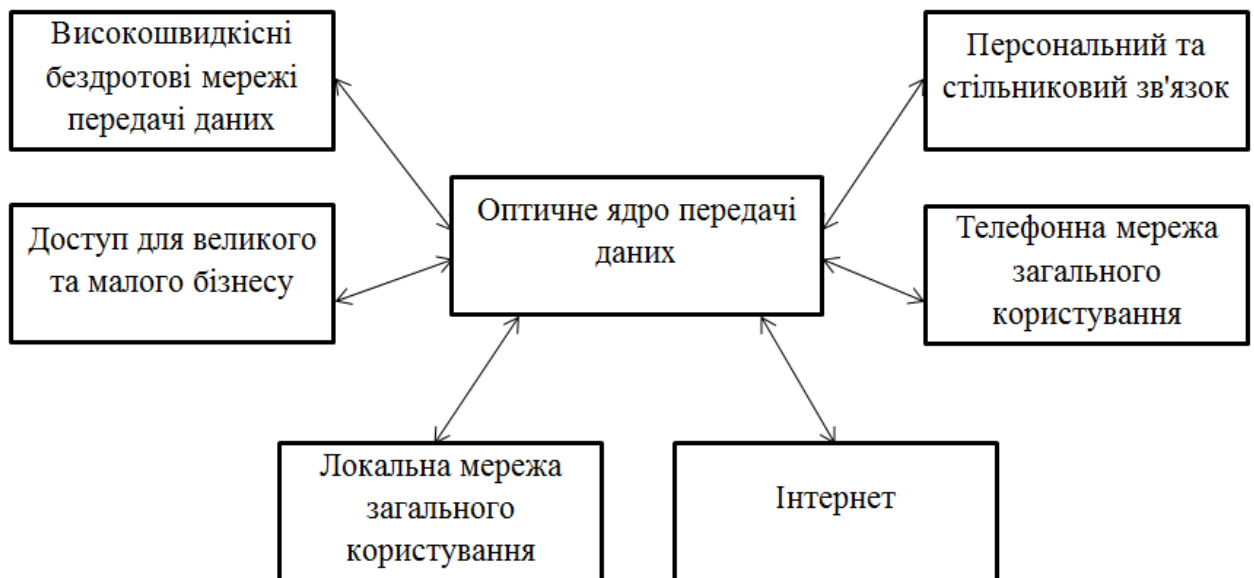


Рис. 3.2. Узагальнена структура інтегрованої системи зв'язку

Одним з варіантів реалізації такої системи може бути мобільна персональна система (МПС), інтегруюча в собі наступні дротяні і бездротові технології :

- бездротові мережі передачі даних (мережі мобільного зв'язку третього покоління, а також мережі стандартів 802.11 і 802.16);
- засоби доступу на основі високошвидкісних виділених ліній зв'язку для великого і дрібного бізнесу;
- локальні мережі загального користування;
- Інтернет;
- персональний і стільниковий зв'язок;
- телефонні мережі загального користування.

Модульність системи забезпечить розширення її функціональності за рахунок заміни або додавання нових блоків, дозволить виконати плавний перехід від однієї технології передачі даних до іншої непомітно для користувача (можливо, навіть з додаванням нових сервісів для різних методів доступу), як це сталося, наприклад, з поширеним стандартом 3G для GSM-мереж (мережі третього покоління), модернізація якого привела до впровадження 4G-стандарту зі збільшеними швидкостями і розширеною функціональністю доступу до мультимедійних ресурсів.

МПС, звичайно ж, не може усунути перераховані недоліки бездротового зв'язку і мобільного доступу повною мірою, але дозволить зробити рішучий крок у бік їх подолання. Система в змозі більш повно використати пропускну спроможність каналів зв'язку за рахунок так званої комірчастої структури. Вона проста в розгортанні, оскільки спирається на кабельну інфраструктуру оптичних мереж, що вже склалася. Більше того, на перших етапах значна частина системи може реалізовуватися за рахунок інтеграції з існуючими операторами мобільного і супутникового зв'язку. Використання інфраструктури мереж кабельного, оптичного і бездротового доступу, що склалася, значно знижує вартість розгортання цієї системи, згодом може бути реалізована власна інфраструктура.

Сьогодні інтегровані мережі мобільного і високошвидкісного Інтернету можна охарактеризувати так:

- мережі будуються на базі оптичного ядра передачі даних з пакетною комутацією і DWDM;
- швидкодіючі технології доступу зв'язують ядро з існуючими мережами, подібними ТфЗК і Інтернет;
- мережеві послуги відокремлені від систем комутації, внаслідок чого клієнти можуть мати доступ до усіх послуг незалежно від технології доступу (незалежність функцій, що надаються, від використовуваного середовища і телекомунікаційних протоколів зв'язку).

На таких же принципах, швидше за все, і базуватимуться мережі наступного покоління. МПС характеризується ще модульністю і гнучкістю архітектури для спрощення розгортання мереж, оскільки точки доступу повинні комплектуватися тільки необхідними інтерфейсами, без зміни функціональних можливостей стандартного устаткування. Передбачувана схема організації МПС показана на рис.3.3.

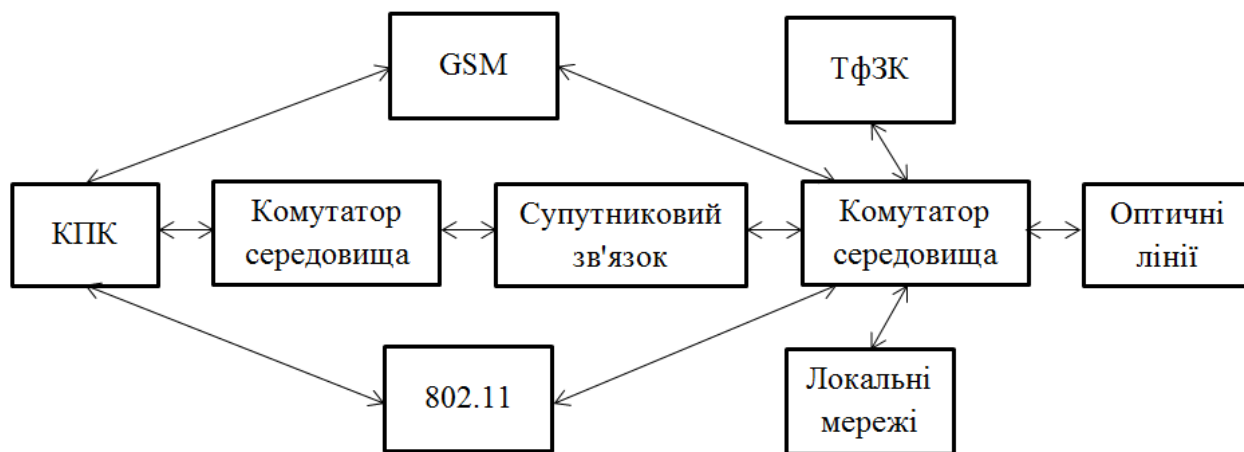


Рис. 3.3. Блок-схема організації мобільної персональної системи

Відмінність запропонованої системи від аналогів (наприклад, на основі WiMAX, рис. 3.4) полягає в інтегрованості в точку доступу декількох систем зв'язку – як дротових, так і бездротових – з використанням оптичної опорної магістралі і бездротової технології (рис. 3.5).

Інтерфейсні компоненти, об'єднані загальною оптичною магістраллю, надають доступ до певного середовища і технології передачі даних. Підключення мобільного користувача робиться по одному з доступних інтерфейсів зв'язку, а при цьому, окрім проблем роумінгу і маршрутизації даних, встає питання про вибір оптимального інтерфейсу передачі залежно від потреб користувача, завантаження каналів передачі і, звичайно ж, витрат на передачу даних. Ці функції виконує комутатор середовища – програмно-апаратний засіб, що реалізовує оптимальний вибір використовуваної технології зв'язку і є по суті своїй інтегратором методів доступу і послуг, що надаються.

Мережа на основі МПС є подібною стільниковій структурі як в системі мобільного зв'язку, рис. 3.6), де кожний стільник є точкою доступу, швидше за все, підключеною до загальної оптичної магістралі, і може обслуговувати *n* клієнтів за допомогою надання *m* методів доступу. Мережевий процесор, протоколи взаємодії вузлів і бездротовий інтерфейс зосереджені усередині кожного вузла – учасника мережі, тому необхідність в централізованій комутації зникає. Іншими словами, топологія комірчастих мереж передбачає

або прямий зв'язок між вузлами, що утворюють їх, або транзитну передачу даних між джерелом і одержувачем. Отже, перш ніж почати обмін даними, кожен вузол повинен «вирішити», чи буде він виконувати функції точки доступу, служити транзитним пристроєм або поєднувати обидві ролі. Далі кожний вузол, використовуючи протокол типу «запит/відповідь», визначає стан своїх вузлів-сусідів і характеристики комунікаційних каналів: потужність сигналу, що приймається, пропускну спроможність, затримку і частоту помилок. Вузли обмінюються цими значеннями, а потім на їх основі кожен вузол вибирає найкращий маршрут комунікації зі своїми сусідами. Процеси виявлення і вибору найбільш сприятливого маршруту виконуються у фоновому режимі, так що кожен вузол має в розпорядженні актуальний список сусідів. У разі недоступності з тих або інших причин якого-небудь вузла сусідні вузли можуть швидко реконфігурувати свої таблиці і вичислити новий оптимальний маршрут.

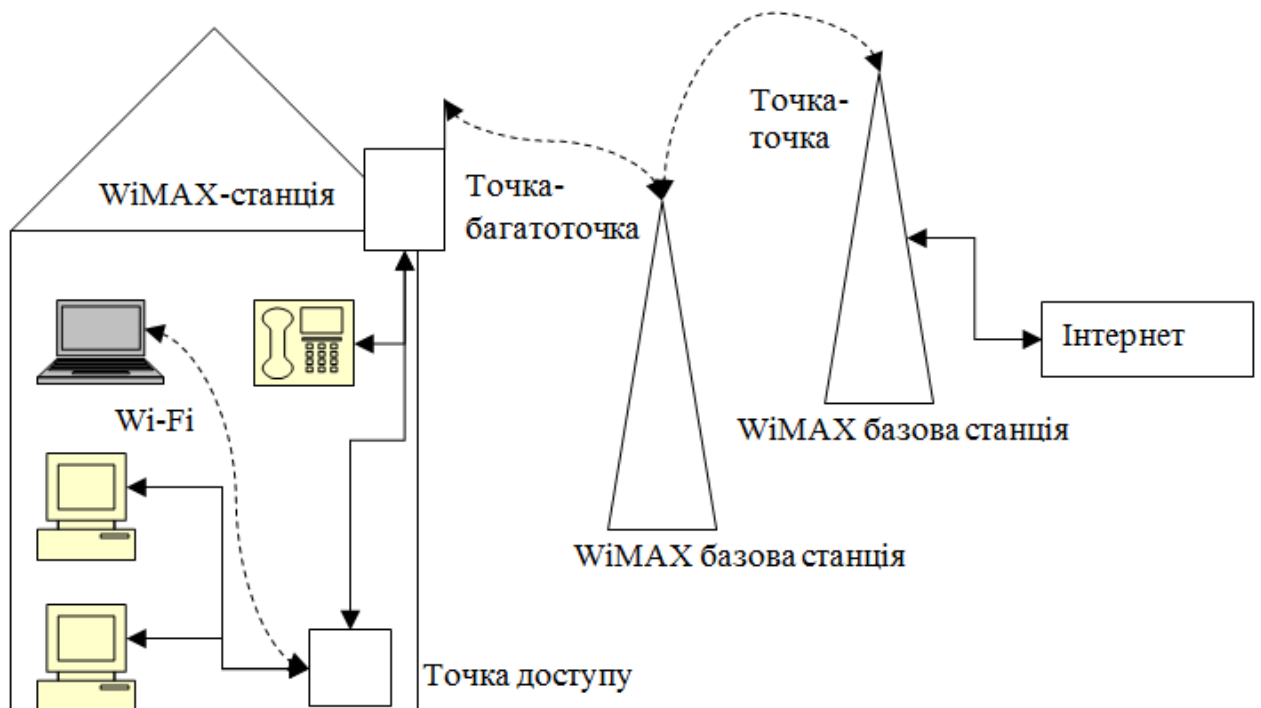


Рис. 3.4. Організація зв'язку на базі бездротової технології WiMAX

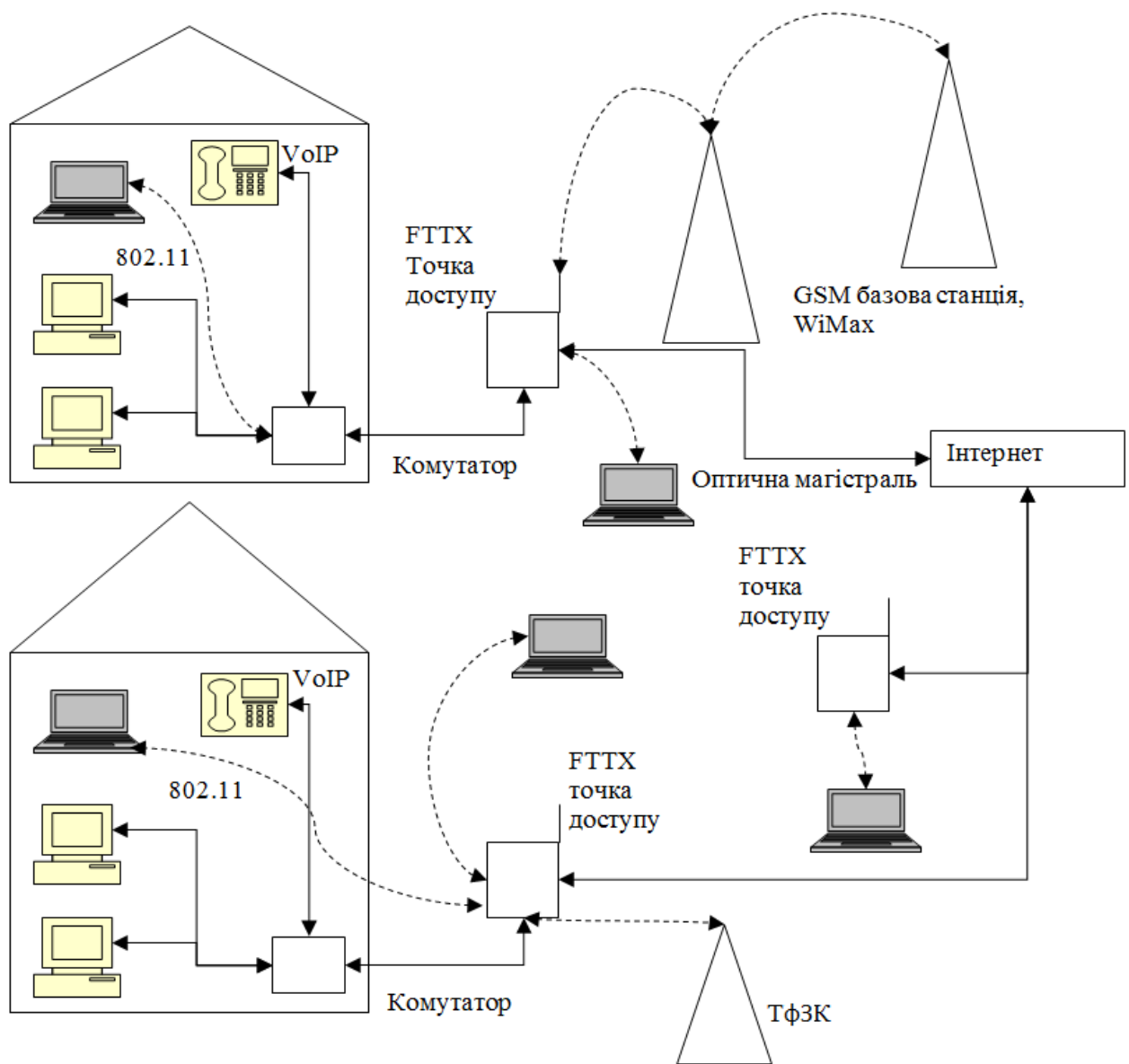


Рис. 3.4. Реалізація мережі на основі МПС

Стільникові бездротові мережі (СБМ) надійні і масштабовані, фактично багато їх переваг витікають з трьох особливостей самоврядування. Передусім ця автоматична конфігурація і реконфігурування – нові вузли підключаються до мережі і стають її частиною за лічені секунди після включення, як і усі підключені до них пристрої. Автоматичне реконфігурування робить СБМ самоналагоджувальними, дозволяючи їм динамічно перенаправляти трафік по найкоротшому, найшвидшому або найменш завантаженому шляху (функція інтелектуальної маршрутизації даних за станом каналу). З перших двох особливостей виходить третя – самовідновлення. Завдяки безлічі

надмірних шляхів збільшується надійність передачі (якщо вузол мережі вийде з ладу або буде переобтяжений, мережа автоматично реконфігурується і перенаправить трафік по новому шляху – оптимальному за тими або іншими критеріями). Таким чином, здатність до самоконфігурації і самовідновлення забезпечує стільниковим мережам високу надійність і живучість.

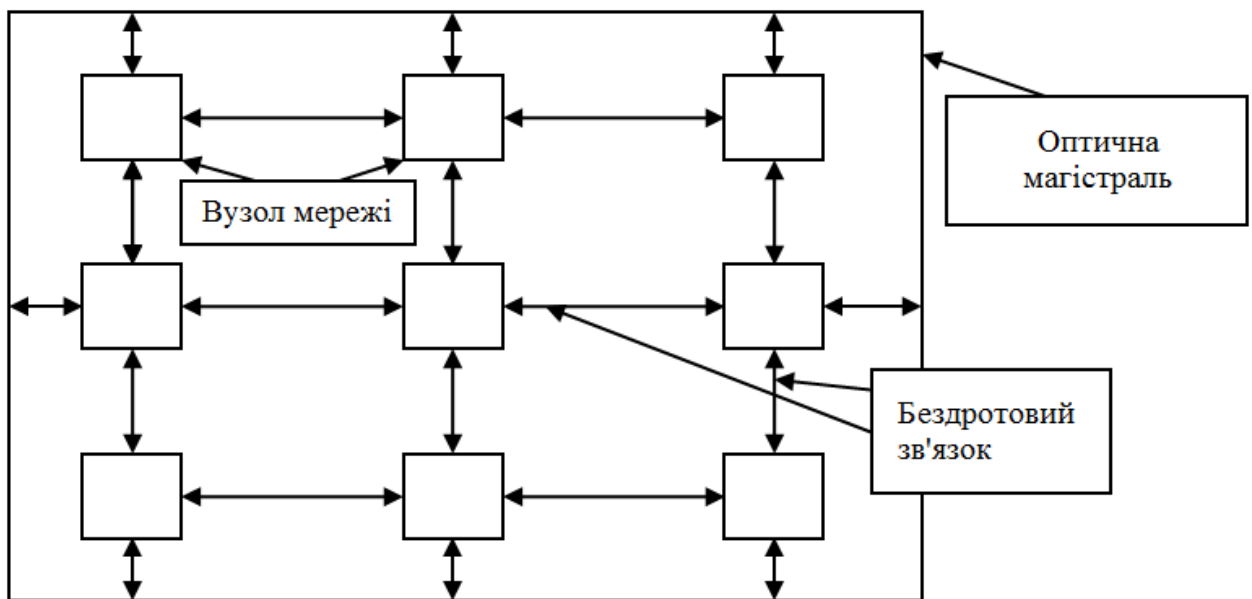


Рис. 3.6. Схема реалізації стільникової топології в МПС

Однією з додаткових переваг СБМ є масштабованість продуктивності – мережа здатна легко розширюватися, у тому числі і інкрементно. Бездротові комірчасті мережі можуть складатися з сотень і навіть тисяч вузлів, що дозволяє забезпечувати необхідну надмірність.

Фізичні властивості бездротових комунікаційних каналів такі, що зі збільшенням відстані пропускна спроможність мережі зменшується. Причиною цього можуть бути перешкоди, нелінійне послаблення сигналу і інші чинники, що впливають на втрату даних, дія яких накопичується у міру збільшення відстані, що є головним недоліком бездротових технологій. І тому одним із способів підвищення пропускної спроможності мережі стає

передача даних через декілька вузлів, розділених невеликими відстанями. Такий механізм і реалізується в мережах комірчастої топології. Оскільки агрегована смуга пропускання на різних ділянках мережі залежить від локальної топології, природи трафіку і інтелектуальності маршрутизації, те збільшення кількості вузлів сприятиме підвищенню загальної продуктивності і надійності (звичайно, за умови вибору оптимального шляху модулем маршрутизації).

Система маршрутизації і комутації, реалізована в МПС, включає наступні процедури:

- вибір інтерфейсу передачі – аналіз завантаження мережі, аналіз потреби в пропускній спроможності, аналіз витрат на передачу даних, аналіз шляху передачі;
- вибір оптимального шляху передачі – аналіз затримок і пропускну спроможності передачі, процедура перерозподілу навантаження мережі.

При пошуку оптимального шляху необхідно зважати на специфіку мереж з комірчастою структурою і множинними інтерфейсами передачі даних, перерозподіляючи навантаження між вузлами при перевантаженні окремих шляхів в мережі і оптимізуючи передачу даних з урахуванням характеристик конкретного фізичного середовища (дротяною і бездротовою).

У системі з стільниковою топологією можливі два принципово різних режиму роботи :

- без використання центральної магістралі коли точки доступу розташовані далеко від існуючих оптичних магістралей;
- з використанням центральної магістралі.

Поки оптоволокно ще не «увійшло» до кожного будинку і оптоволоконна інфраструктура розвинена тільки у великих містах (про

доступність технологій FTTx можна буде говорити тільки через декілька років), в межах міст МПС повинна працювати в другому режимі, а за межами міст і в місцях, де важко, а іноді і неможливо, провести кабельні мережі і доступні тільки GSM або супутникові системи зв'язку – в першому.

3.4.1. Узагальнена структура засобів зв'язку МПС

Високошвидкісна транспортна мережа (оптична магістраль) здійснює передачу інформації між точками доступу, а при неможливості її використання необхідно побудувати оптимальний маршрут передачі даних іншими методами з урахуванням характеристик середовища передачі і потреби користувача. Мережі доступу організовують доставку даних кінцевим користувачам, вибираючи оптимальне середовище передачі (можливе використання різних середовищ для витікаючого трафіку, що входить). Оскільки точка доступу містить модуль бездротового доступу, то мобільний користувач через цей модуль зв'язується з найближчою точкою доступу, використовуючи, наприклад, КПК, і отримує необхідні функції системи (роботу з мультимедійною інформацією, телефонні розмови з іншими користувачами) за допомогою дротяного інтерфейсу або супутникового зв'язку.

3.4.2. Вибір технології бездротової передачі

Стандарти бездротового зв'язку IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (WiMAX), Bluetooth розроблялися для різних сфер застосування. Так, стандарт бездротового зв'язку IEEE 802.16 (його ще називають IEEE WirelessMAN – Metropolitan area network) спочатку був задуманий для

організації роботи бездротових мереж на великих міських територіях. Технології 802.11 і Bluetooth призначені для використання в офісних приміщеннях з невеликими відстанями між ними і меншими потребами в швидкісних каналах передачі даних.

Мережа Bluetooth ґрунтується на радіозв'язку в діапазоні частот від 2,4 для несиметричного асинхронного каналу зв'язку, максимальна швидкість передачі - 723,2 Кб/з, при цьому для зворотного напрямку все ще залишається резерв в 57,6 Кб/с. Для симетричного варіанту з'єднання пропускна спроможність в обох напрямках складає 433,9 Кб/с. Синхронні канали відрізняються від асинхронних ще і тим, що перші не підтримують механізм виявлення і повторної передачі невірних прийнятих пакетів. З'єднання бувають як типу «один до одного», так і «один до багатьох». При цьому один з вузлів повинен виконувати функції майстра (master), а іншим відводиться роль підлеглого (slave). Обов'язки майстра зводяться до формування каналу (випадкова послідовність частотних стрибків, генерована на основі адреси пристрою-майстра) і підтримки синхронної структури. Структура мережі Bluetooth по суті своїй нагадує комірчасту топологію, описану раніше, що дозволяє на її основі повністю змодельовати засоби видаленого доступу на базі МПС.

Технології Wi-Fi, WiMAX і Bluetooth мають велику гнучкість розгортання і використання. Швидше за все, саме зв'язка цих технологій бездротового доступу може стати таким необхідним засобом "останньої милі" у великих містах.

3.4.3. Моделювання МПС

З метою перевірки практичності пропонованої технології і засобів МПС для бездротового доступу до глобальної мережі був створений інструментальний комплекс на базі локальної мережі віртуальних оптичних мережевих терміналів і кишенькового комп'ютера, розроблено відповідне програмне забезпечення. Бездротовий зв'язок між віртуальними оптичними терміналами і кишеньковим комп'ютером був організований за технологією Bluetooth. Це один з варіантів реалізації швидкісного бездротового доступу на невеликій відстані від 10 до 100 метрів залежно від класу використовуваного устаткування. Як магістральний канал використовувалася локальна мережа (100 Мбіт/с).

В процесі моделювання МПС була виявлена залежність між часом передачі одного і того ж об'єму даних і завдовжки пакетів (Bluetooth дозволяє варіювати об'єм призначених для користувача даних від 0 до 2745 біт, а відповідно, і довжину пакету від 126 до 2871 біт). Хоча програмна реалізація комутації, безумовно, вносить свої корективи в отримані результати, можна стверджувати, що така залежність при передачі з одного комп'ютера на інший визначається тільки накладними витратами на передачу заголовка (рис. 3.7), а не власне об'єму даних. При передачі ж з маршрутизацією через декілька комутаторів ця залежність набуває дещо іншого характеру (рис. 3.8), який все ж може бути розрахований.

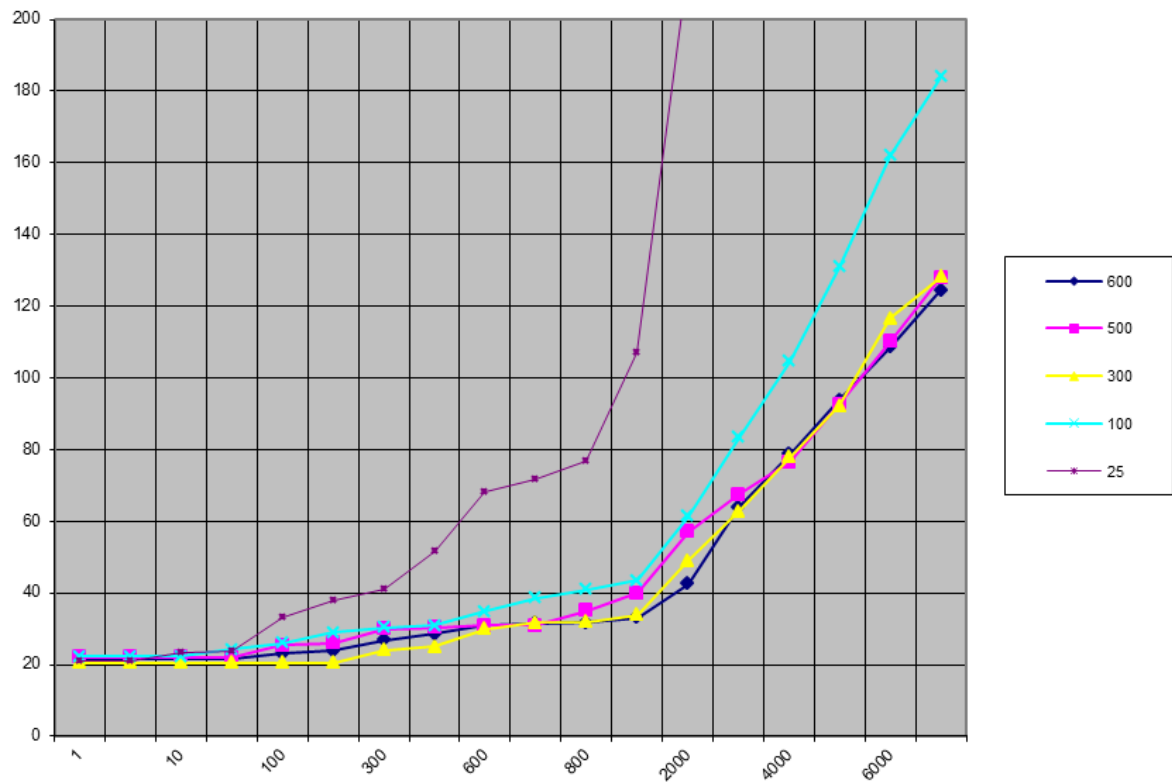


Рис. 3.7. Залежність часу доставки (Y) від об'єму (Q) даних що передаються при різних розмірах пакетів для двох ПК

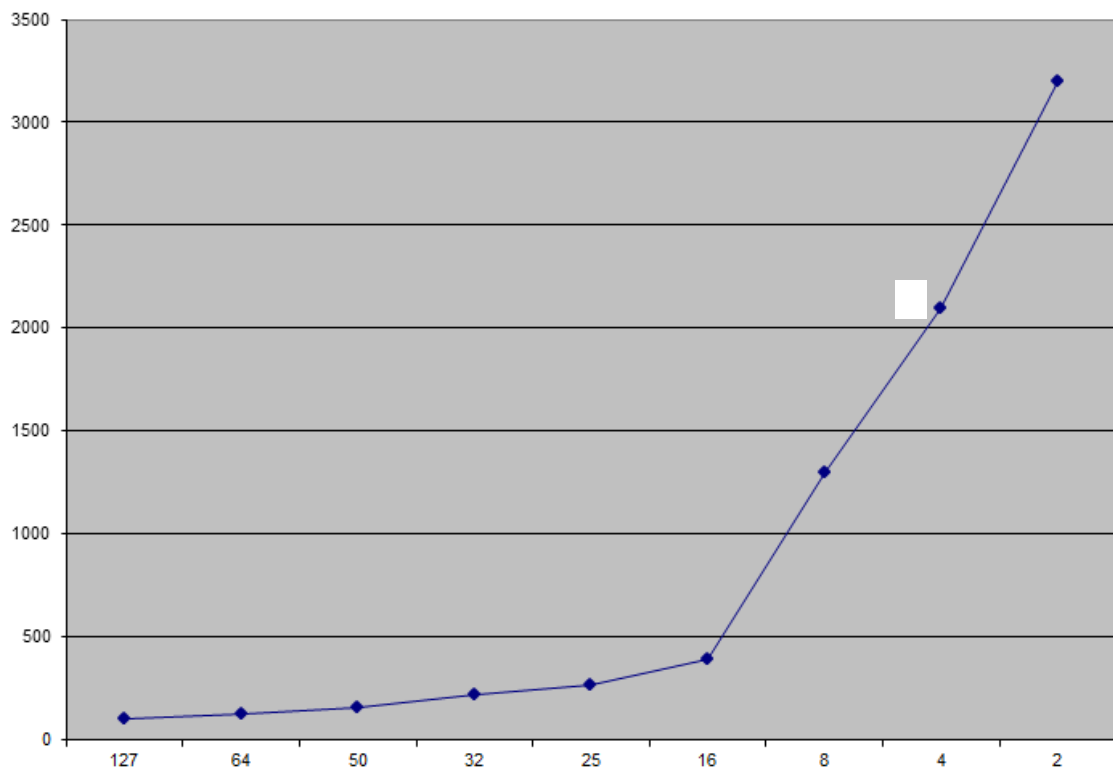


Рис. 3.8. Залежність часу передачі (Y) від розміру пакету (X) при передачі одного об'єму даних за участю комутаторів

Урахування цієї специфіки може значно вплинути на швидкість передачі даних, особливо спеціалізованого трафіку (звук, відео), коли потрібне прогнозування часу доставки і підтримка його на певному рівні. Виявлена залежність може бути використана при реалізації нових методів маршрутизації або зміні поточних методів, оскільки застосування неспеціалізованих методів маршрутизації, як правило, призводить до великих затримок і надмірного підвищення навантаження на мережу.

За наявності декількох інтерфейсів передачі (у цьому варіанті – бездротовий і локальна мережа) встає питання про передачу даних між інтерфейсами, виборі оптимального шляху і оптимізації навантаження. Вибір оптимального шляху в складних динамічних мережах є одним з найважливіших чинників підвищення продуктивності. Дані можна передавати різними шляхами, застосовуючи усі доступні фізичні інтерфейси. Можливий і варіант, описаний раніше, коли залежно від потреб користувача вибирається оптимальний інтерфейс передачі. Практична реалізація МПС показала також складність інтеграції різних протоколів, що характеризується ростом затримок і збільшенням службової інформації.

При переміщенні мобільного користувача часто виникає ситуація, коли зв'язок з поточним сервером втрачений і необхідно виконати процедуру роумінгу в межах мережі. Для виявлення втрати зв'язку в Bluetooth передбачені засоби визначення рівня сигналу, що приймається, і якості зв'язку (відношення загальної кількості переданої інформації до кількості помилково переданої інформації). При виконанні передачі визначається список доступних інтерфейсів і вибирається оптимальний. Маршрутизацію даних реалізує розроблений з урахуванням специфіки бездротового зв'язку і особливостей комірчастих мереж алгоритм, здатний динамічно

перебудовувати таблиці маршрутизації при зміні структури мережі і виконувати оптимальний вибір серед шляхів передачі.

Величезний ринковий попит на мобільні послуги і послуги передачі даних обумовлює створення нових технологій і засобів. Запропонована архітектура МПС видаленого доступу до мультимедійних інформаційних ресурсів в реальному масштабі часу є відправною точкою для інтеграції оптичних мереж передачі даних і засобів мобільного зв'язку. Результати моделювання підтвердили раціональність застосування подібної технології для розширення послуг інформаційних технологій, що надавалися. Безумовно, завдання оптимізації маршрутизації і часу доставки інформаційних пакетів в комірчастих бездротових мережах вимагають науково обґрунтованих методів рішення, що є предметом подальших досліджень.

3.4.4. Внутрішня маршрутизація в МПС

Проблема вибору протоколу внутрішньої маршрутизації актуальна при побудові будь-якого типу мережі, незалежно від архітектури, вживаних технологій і топологій мережі. Враховуючи усі вищевикладені особливості МПС мереж необхідно вибрати найбільш відповідний протокол маршрутизації. Такими протоколами на сьогодні можуть бути протоколи EIGRP і OSPF.

Проте враховуючи те, що основними характеристиками для МПС мереж буде динамічність внесення змін до таблиць маршрутизації при зміні структури мережі і надійніша і швидша робота з великою кількістю користувачів і великою кількістю інформації, я думаю, варто використати протокол OSPF. Цей алгоритм має деякі переваги перед алгоритмами вектору відстаней (навіть останньою модифікацією цих протоколів –

протоколом EIGRP), в першу чергу це проявляється в потенційній відсутності обмеження на кількість вузлів мережі, і в швидшій збіжності. Так само слід зауважити, що протокол OSPF має більшу гнучкість, що у випадку з безліччю абонентів, що підключаються, і їх перепідключенням на стиках осередків може виявитися дуже важливим показником. Ще трохи особливостей OSPF які неабиякою мірою сприятимуть коректному функціонуванню МПС і впливатимуть на простоту реалізації подібних мереж:

- у числі додаткових характеристик OSRF – рівні витрати, багатотрактова маршрутизація (multipath routing) і маршрутизація, що базується на запитах типу послуг вищого рівня (type of service – TOS). Що базується на TOS маршрутизація підтримує ті протоколи вищого рівня, які можуть призначати конкретні типи послуг. Наприклад, яка-небудь застосовна програма може включити вимогу про те, що певна інформація є терміновою. Якщо OSPF має у своєму розпорядженні канали з високим пріоритетом, то вони можуть бути використані для транспортування термінових дейтаграм;
- OSPF забезпечує один або більше за показники. Якщо використовується тільки один показник, то він вважається довільним, і TOS не забезпечується. Якщо використовується більше за один показник, то TOS забезпечується факультативно шляхом використання окремого показника (і отже, окремої маршрутної таблиці) для кожної з 8 комбінацій, утвореною трьома бітами IP TOS : бітом затримки (delay), продуктивності (throughput) і надійності (reliability). Наприклад, якщо біти IP TOS задають невелику затримку, низьку продуктивність і високу

надійність, то OSPF обчислює маршрути в усі пункти призначення, базуючись на цьому позначенні TOS;

- маски підмережі IP включаються в кожен об'явлений пункт призначення, що дозволяє використати маски підмережі змінної довжини. За допомогою масок підмережі змінної довжини мережа IP може бути розбита на декілька підмереж різної величини. Це забезпечує адміністраторам мереж додаткову гнучкість при виборі конфігурації мережі;
- при існуванні еквівалентних маршрутів OSPF розподіляє потік рівномірно по цих маршрутах. Що істотно може вплинути на завантаження каналів якнайкраще;
- при зв'язку точка-точка не потрібна IP-адреса для кожного з кінців. Економія адрес у разі одиничних сесій, які можуть бути досить частим явищем в МПС;
- застосування мультикастингу замість широкомовних повідомлень знижує завантаження не залучених сегментів.

Проте у OSPF протоколу є один недолік, а саме: нестача пам'яті може істотно ускладнити роботу устаткування. Для системи з n вузлів, кожен з яких має k сусідів, необхідний об'єм пам'яті пропорційний $k*n$. Зазвичай подібні проблеми проявляються у великих мережах, з дуже великою кількістю зовнішніх маршрутів. Проте якщо взяти до уваги нинішній рівень розвитку техніки, а саме маршрутизаторів і програмного забезпечення до них, то і проблема нестачі пам'яті відходить на другий план. Залишається тільки реалізувати на практиці багатообіцяючий проект і перейти до мереж нового покоління на практиці.

Висновки третього розділу

Запропоновані в розділі архітектурні, технічні і технологічні рішення по організації бездротового мобільного зв'язку дозволяють поступово реалізувати надання мультисервісних послуг інформаційних технологій, а також віддаленого управління ресурсами і об'єктами, які потрібні мобільним користувачам, виходячи з їх діяльності та потреб. А також можуть послужити перехідною моделлю до забезпечення стаціонарних і мобільних користувачів високошвидкісним, якісним доступом з використанням однієї з технологій, або ж їх поєднанням.

РОЗДІЛ 4.

ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОНФІГУРУВАННЯ ГІБРИДНОЇ МЕРЕЖІ

4.1. Підхід обмеженого програмування

Програмування з обмеженнями це такий підхід в програмуванні в якому відношення змінних вказані у формі обмежень. Обмежене програмування відрізняється від імперативного тим, що у ньому не визначаються кроки або послідовність кроків для виконання програми, а визначаються властивості рішень які будуть знайдені. Це визначає програмування обмеженнями як форму декларативного програмування.

Підхід спільної оптимізації ЗБОШМД припускає конструкційну взаємодію між оптичною та бездротовою технологіями. Методика належної оптимізації перед прокладенням такої гібридної мережі може заощадити дорогі оптичні і бездротові засоби, а, отже і гроші, які потрібні для побудови цього типу мережі. Тому модель обмеженого програмування при застосуванні в цій предметній області може розглядатися, як первинна модель.

Метою цієї моделі – є оптимальне синхронне розміщення БС і ONT/ONU в абонентській частині і оптоволоконного устаткування від БС до ONT/ONU та до OTL в провайдерській частині [10]. Цей підхід досліджує аналітичні моделі, які розраховують витрати на ONT/ONU і БС та вартість прокладення волокна.

Методика оптимізації мережі дозволить ще перед її прокладенням звести до мінімуму вартість конструкції ЗБОШМД за рахунок скорочення числа БС і ONT/ONU, а також провести ефективне планування схеми прокладення волокна.

Для належних операцій з ЗБОШМД, первинна модель повинна забезпечити обрахунок обмежень, що задовольняють заданим умовам:

- обмеження встановлюваних БС і ONT/ONU;
- обмеження розподілу користувачів;
- обмеження пропускної спроможності;
- обмеження характеристики сигнал/якість, тощо.

Крім цього, керуючись запропонованою моделлю, оператори мереж повинні мати можливість підрахунку своїх витрат по прокладенню ЗБОШМД.

4.2. Практична реалізація конфігурації мережі гібридного типу.

Для практичної реалізації оптимізації мережі розроблено програмний засіб, який за початковими даними використовуваного устаткування формує найбільш прийнятні види конфігурації мережі і передає результати обробки користувачеві. Крім цього засіб дозволяє вносити зміни або доповнювати вже існуючу базу устаткування.

Користувачеві надається можливість вибирати критерії для формування конфігурації мережі. База даних зберігається локально та зв'язана з засобом через інтегровані в Microsoft Visual Studio адаптери для роботи з базами даних.

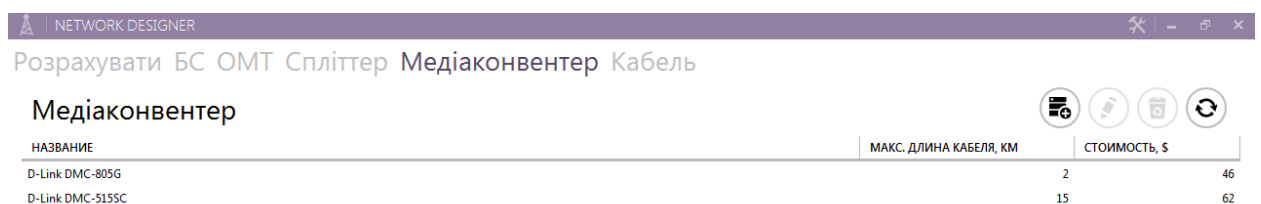
У якості системи управління базою даних використовується PostgreSQL, середовищем розробки є Microsoft Visual Studio 2015, а програмною платформою виступає .NET Framework 4.6.

4.2.1. Основні елементи засобу

Засіб складається з основної форми у якій працює користувач, декількох допоміжних форм та бази даних для збереження інформації про доступні пристрої.

Ця форма дозволяє користувачеві оперативно переглядати усі доступні на даний час елементи, які знаходяться у базі. Крім цього через дану форму користувач може додавати нові, видаляти або редагувати вже існуючі елементи у базі даних.

Інформація про кожний елемент знаходиться у відповідних вкладках основної форми (рис. 4.1).



НАЗВАНИЕ	МАКС. ДЛИНА КАБЕЛЯ, КМ	СТОИМОСТЬ, \$
D-Link DMC-805G	2	46
D-Link DMC-S155C	15	62

Рис. 4.1. Вкладки основної форми

Безпосереднє додавання або редагування відбувається через допоміжні форми, які прописані для кожного елементу мережі окремо, та враховують притаманні лише для цього елементу характеристики (рис. 4.2).

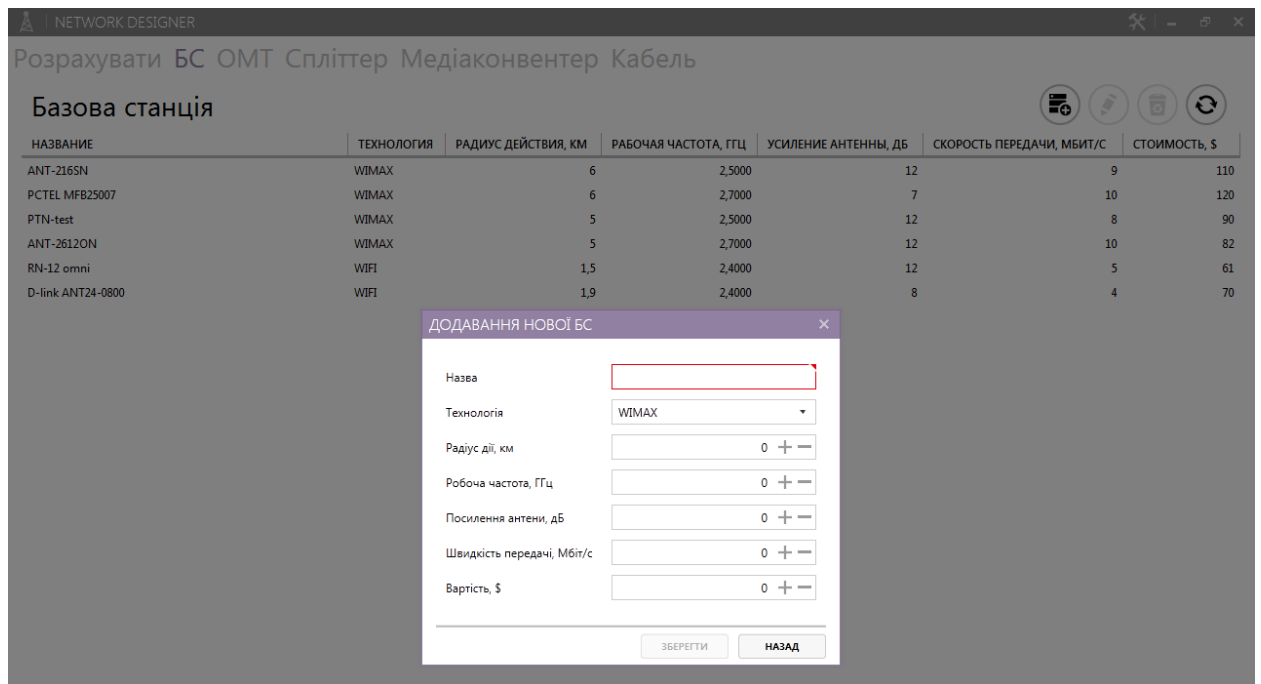


Рис. 4.2. Додавання нової базової станції у базу даних

Результат додавання можна одразу переглянути натиснувши на тип елементу із запропонованих вкладок.

Додавання, видалення, редагування або оновлення елементів відбувається за допомогою відповідних кнопок (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Кнопки для додавання, видалення, редагування або оновлення елементів

Редагування елементів відбувається у тих же формах, що і додавання, але дані елементів уже заповнені заздалегідь (рис. 4.4).

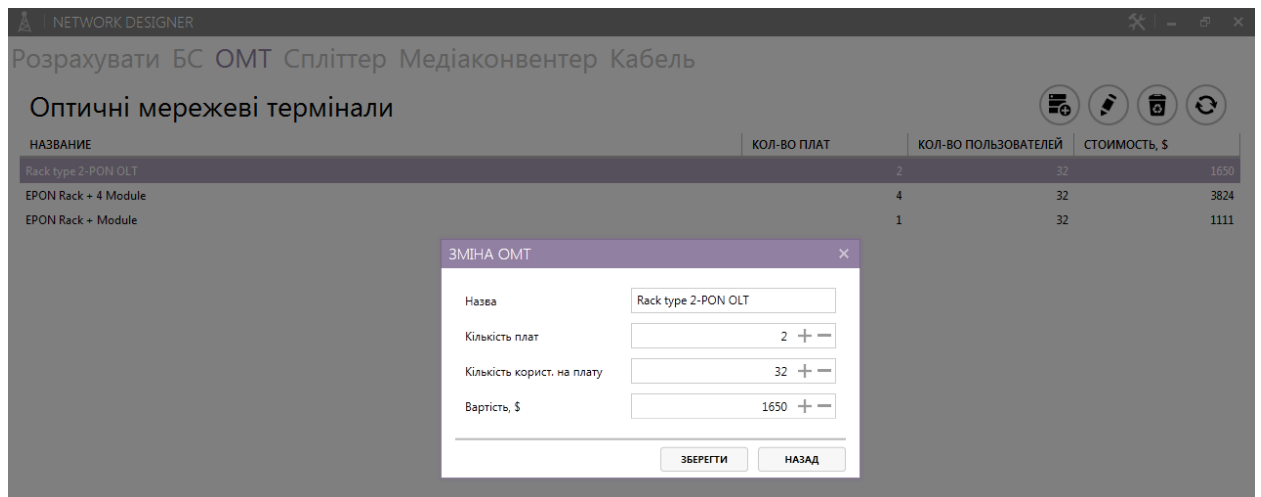


Рис. 4.4. Редагування оптичного мережевого терміналу (ONT/ONU) у базі даних

Видалення елемента обов'язково підтверджується користувачем (рис. 4.5).

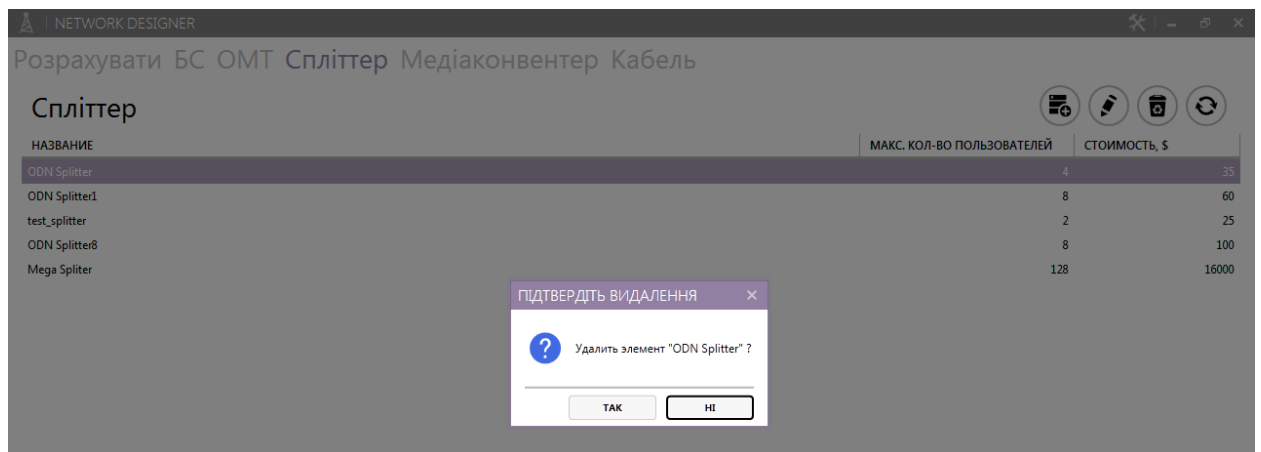


Рис. 4.5. Видалення сплітеру

Для роботи з базою даних використовується система управління базою даних PostgreSQL. Таблиці та схема бази даних у відповідному додатку зображена на рис. 4.6, 4.7.

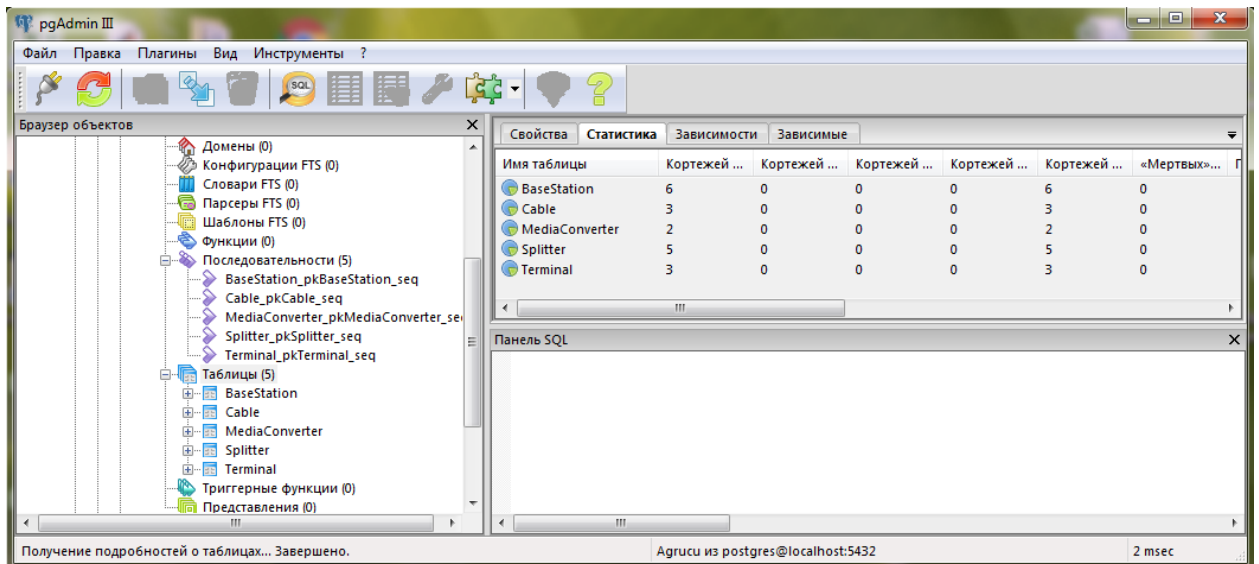


Рис. 4.6. Управління базою даних через PostgreSQL

BaseStation	
pkBaseStation	integer
technology	integer
radius	numeric(12,2)
workFrequency	numeric(12,2)
antennaGain	numeric(12,2)
transmissionSpeed	numeric(12,2)
price	numeric(12,2)
title	varchar(52)

Terminal	
pkTerminal	integer
title	varchar(52)
countCircuitBoards	integer
countOfUsersPerBoard	integer
price	numeric(12,2)

Cable	
pkCable	integer
title	varchar(52)
speed	numeric(12,2)
countWires	integer
price	numeric(12,2)

MediaConverter	
pkMediaConverter	integer
title	varchar(52)
cableMaxLength	numeric(12,2)
price	numeric(12,2)

Splitter	
pkSplitter	integer
title	varchar(52)
maxUserCount	integer
price	numeric(12,2)

Powered by yFiles

Рис. 4.7. Схема бази даних

4.2.2. Виведення результату роботи засобу

Для виведення результатів та розрахунків елементів мережі використовується вкладка основної форми «Розрахувати». Але перед безпосереднім розрахунком користувач повинен ввести обмеження, які накладаються на мережу у вигляді площі покриття мережі та відстані розташування центрального офісу. Також користувач повинен задати критерії по яким буде вестися розрахунок необхідної конфігурації мережі та використовуваного устаткування (рис. 4.8).

Після вводу усіх обмежень, програмний засіб оперативно виконує розрахунки за даними, які знаходяться у базі даних, та задовольняють вибраним критеріям. Крім результатів розрахунку засіб показує площу покриття в залежності від підрахованих БС (рис. 4.8), а також дає змогу переглянути інші варіанти, які не є оптимальними.

NETWORK DESIGNER

Розрахувати БС ОМТ Спліттер Медіаконвертер Кабель

Параметри

Розташування

Довжина, км: 25 + -

Ширина, км: 15 + -

Відстань до ЦО, км: 10 + -

Інше

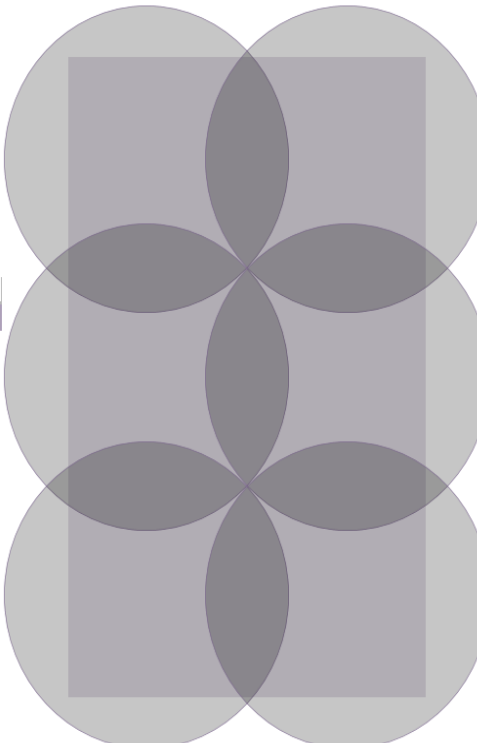
Пересічення зон: 0 + -

Технологія: WIMAX

Критерій оцінки: Максимальна швидкість

Варіанти

№	СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧІ, МБІТ/С	СТОИМОСТЬ, \$
1	10	17263
2	10	47839
3	9	17203
4	8	47935



Елементи мережі

Базова станція

Назва	PCTEL MFB25007
Технологія	WIMAX
Радіус дії, км	6
Робоча частота, ГГц	2,7000
Посилення антени, дБ	7
Швидкість передачі, Мбіт/с	10
Вартість, \$	120
Кількість	6
Сума, \$	720

Медіаконвертер

Назва	D-Link DMC-5155C
Макс. довжина кабелю, км	15
Вартість, \$	62
Кількість	6
Сума, \$	372

Оптичні мережеві термінали

Назва	EPON Rack + Module
Кількість плат	1
Кількість користувачів на плату	32
Вартість, \$	1111
Кількість	1
Сума, \$	1111

Спліттер

Назва	ODN Splitter1
Макс. к-сть користувачів	8
Вартість, \$	60
Кількість	1
Сума, \$	60

Кабель

Назва	MSXTC8Y
Швидкість Гб/с	2
Кількість жил	4
Вартість, \$	200
Кількість	75
Сума, \$	15000

Сума: 17263 \$

Рис.4.8. Форма для розрахунку елементів мережі.

Діаграми класів розробленого засобу представлені на рис. 4.9-4.11

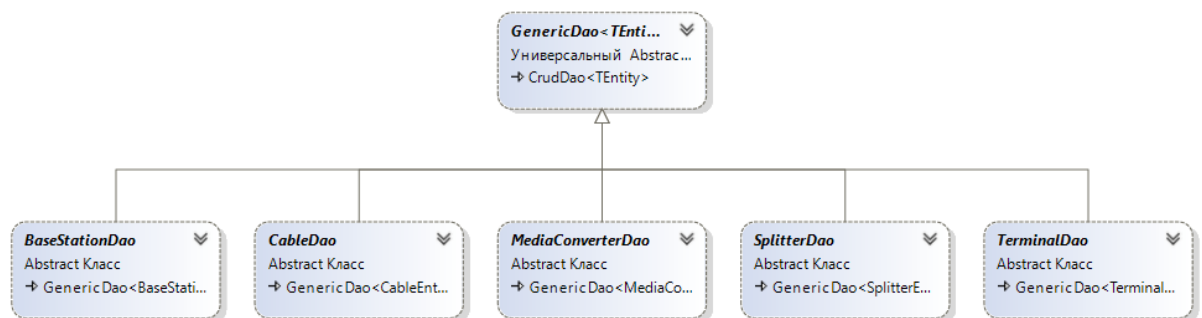


Рис.4.9. DAO Class Diagram.

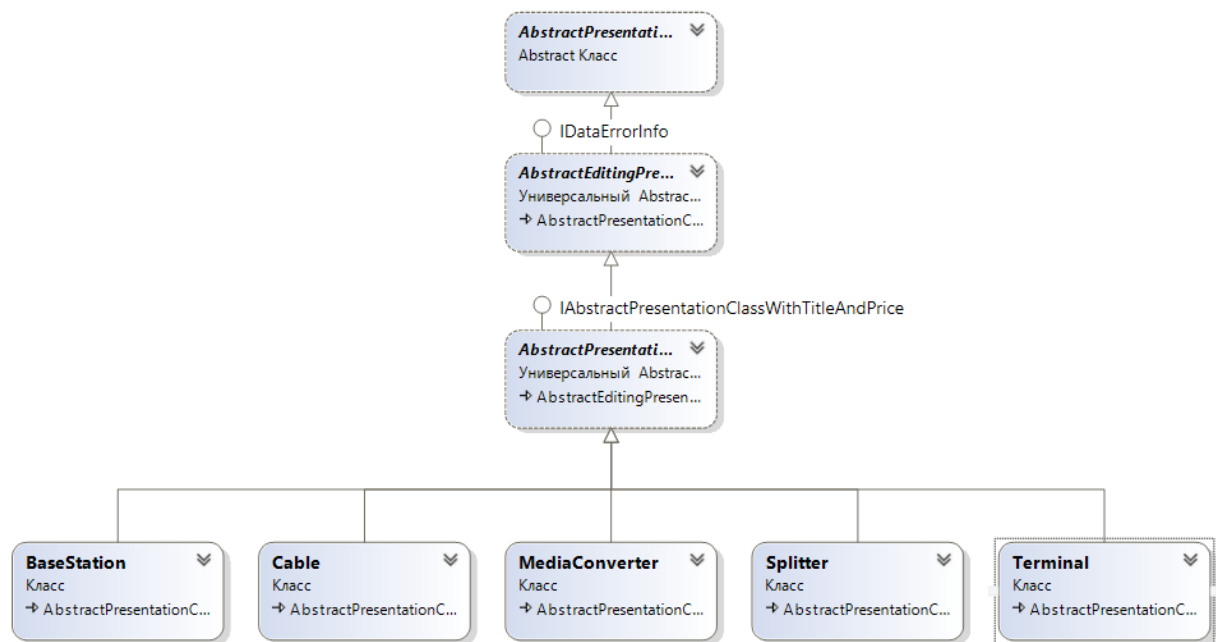


Рис.4.10. Presentation Classes Class Diagram.

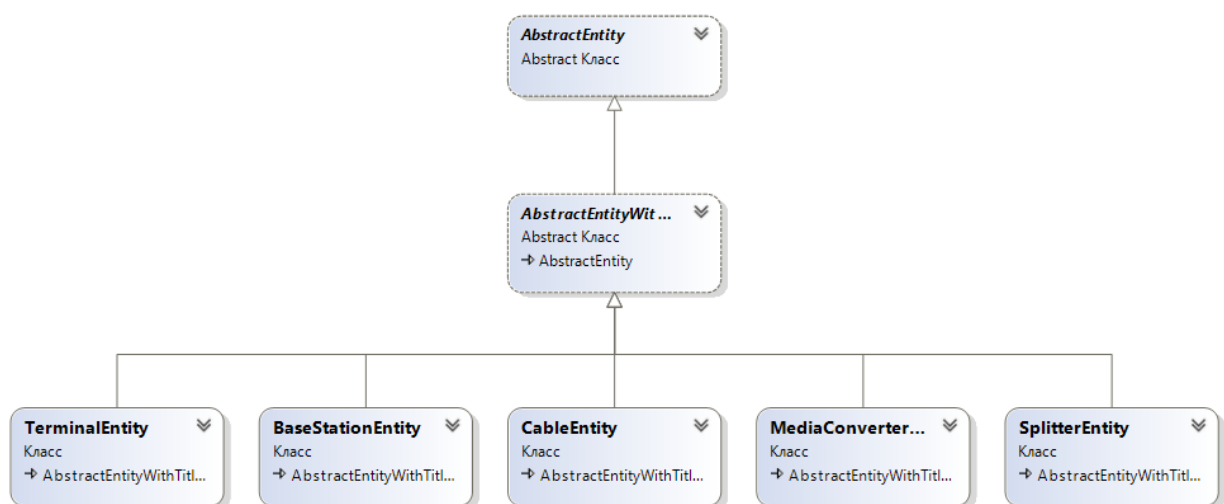



Рис.4.11. Entity Class Diagram.

4.2.3. Додаткові можливості засобу

Окрім запропонованих можливостей, для підрахунку конфігурації мереж з використанням бездротових та оптичних технологій передачі даних, розроблений засіб через головне вікно передбачає декілька додаткових можливостей, серед яких:

- можливість вибору мови інтерфейсу;
- налаштування підключення до бази даних;

- експортування розрахованих даних в MS Excel.

За замовчуванням мовою засобу є українська, проте за бажанням користувач може змінити її на російську, або англійську (рис. 4.12). Для здійснення цієї операції необхідно зайти до вкладки «Інтерфейс» вікна «Налаштування» натиснувши кнопку .

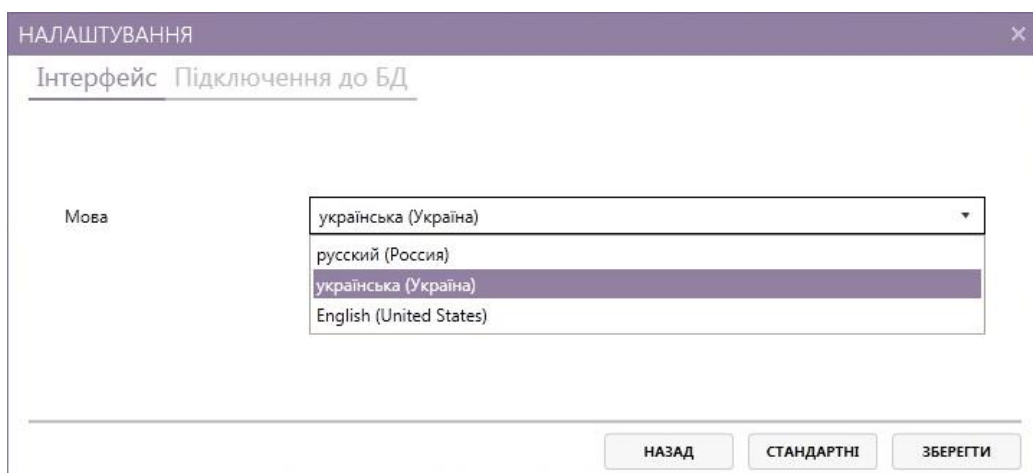


Рис. 4.12. Вибір мови інтерфейсу у вікні «Налаштування».

Також у вікні «Налаштування» здійснюється налаштування підключення до бази даних (рис. 4.13).

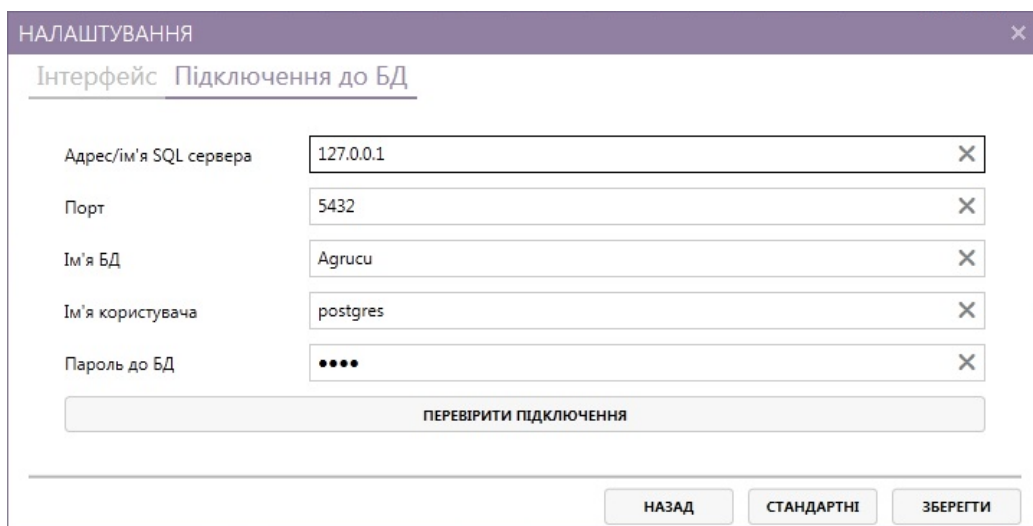



Рис. 4.13. Налаштування підключення до бази даних у вікні «Налаштування».

При підключенні до бази даних вводиться наступна інформація:

- адрес/ім'я SQL сервера: 127.0.0.1 (адреса хоста),
- порт: 5432,
- ім'я БД: Agrucu,
- ім'я користувача: postgres,
- пароль до БД: 1111.

Дана інформація є рекомендованою та вводиться також при налаштуванні СКБД PostgreSQL, та підключення до неї бази даних Agrucu.

У разі, якщо при налаштуванні СКБД PostgreSQL використовувалися інші дані, їх необхідно було запам'ятати, та у вікно «Налаштування» (рис. 4.13) вводити вже змінені данні.

Крім головного вікна, кнопка  ще передбачена на вікні ініціалізації додатку, це дає змогу змінити налаштування у випадку некоректного вводу, або помилок першочергових даних.

У разі коректного підключення до бази даних виводиться відповідне повідомлення.

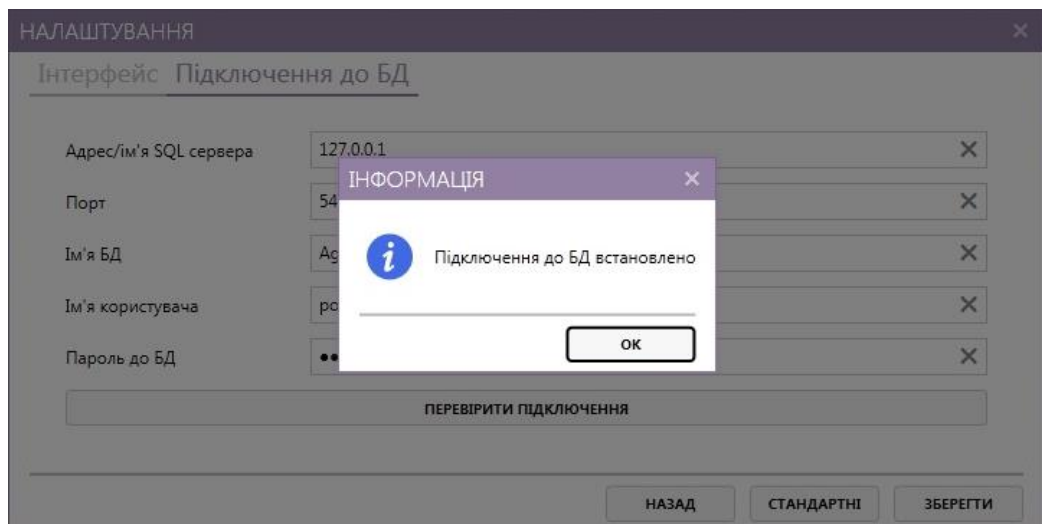



Рис. 4.14. Повідомлення коректного підключення до бази даних.

За бажанням користувач має змогу експортувати розраховані дані до файлу MS Excel для їх подальшого аналізу, або зберігання. Для цього необхідно у головному вікні натиснути кнопку . Після натискання кнопки, з'явиться відповідне вікно для вибору імені файлу, та місця його зберігання (рис. 4.15).

Після зберігання файлу, його можна переглянути (рис. 4.16).

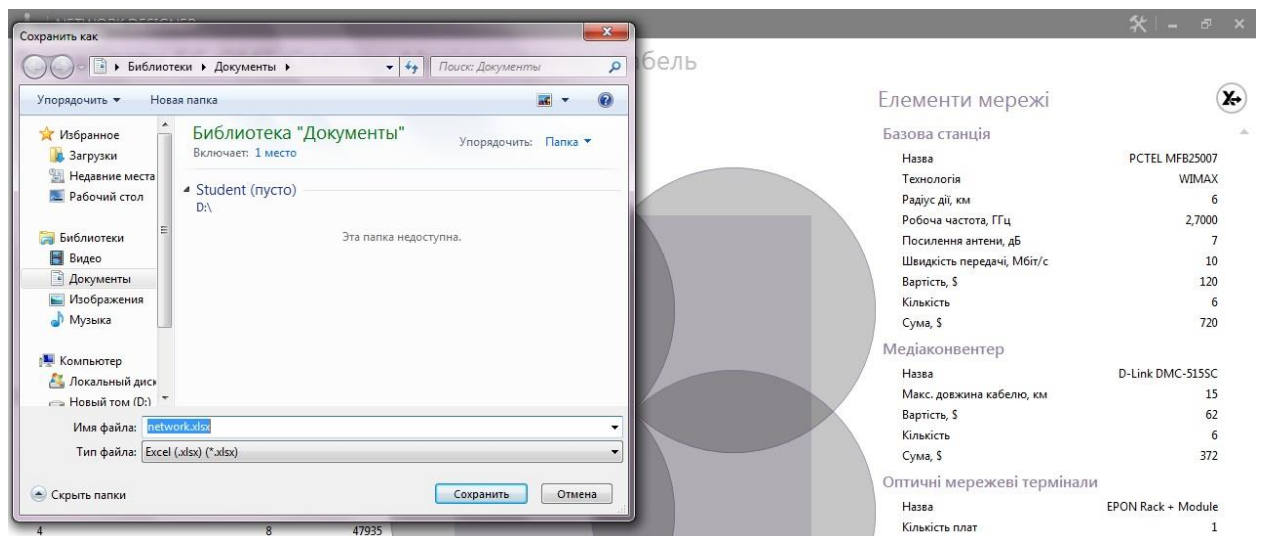


Рис. 4.15. Експортування розрахованих даних в MS Excel.

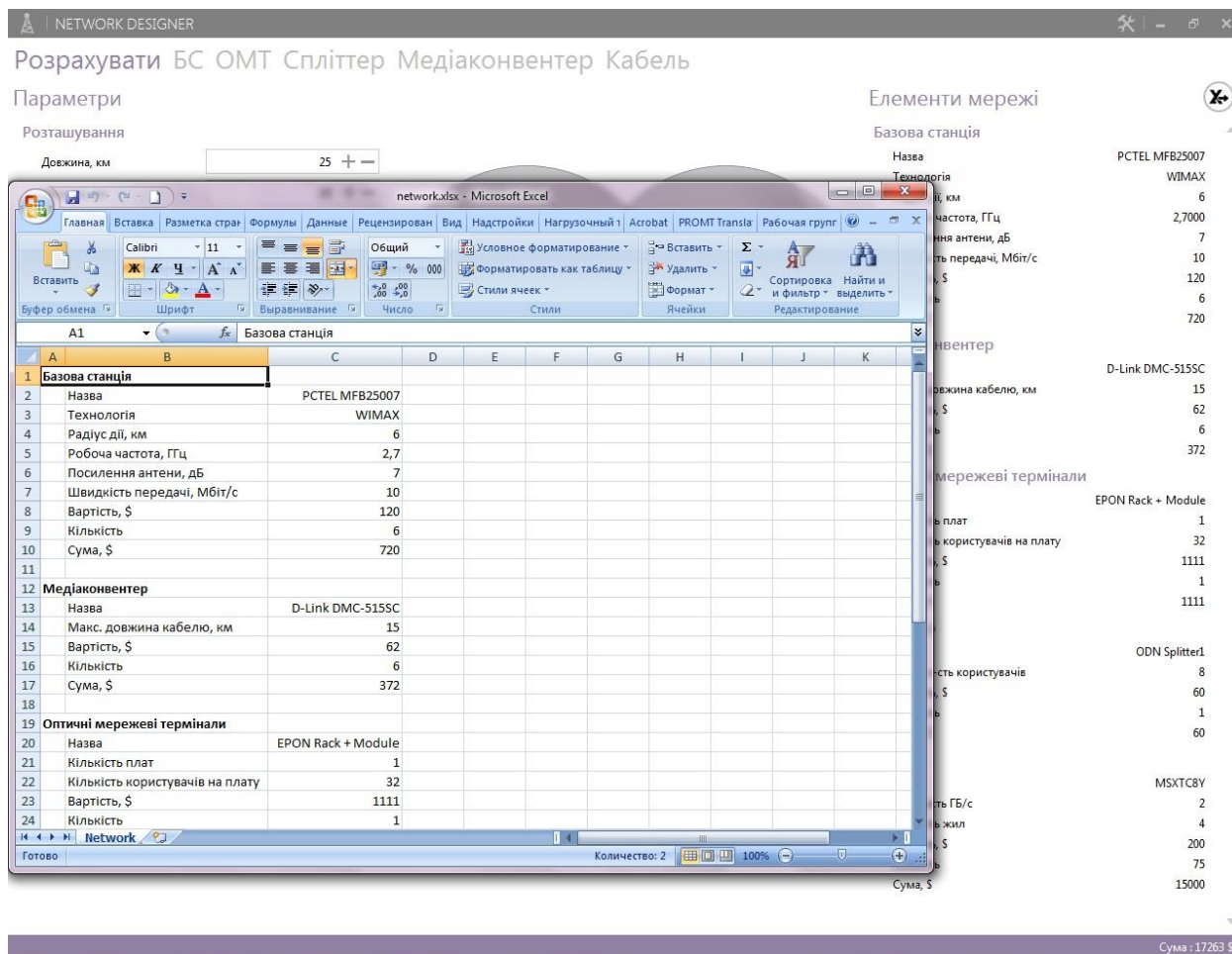


Рис. 4.16. Результат експортованих в MS Excel розрахованих даних.

Висновки четвертого розділу

На сьогодні, існує небагато програмних засобів, які можуть надавати яку-небудь допомогу при формуванні та проектуванні мереж з використанням бездротових та оптичних технологій передачі даних. Розроблений програмний засіб може за допомогою початкових даних формувати найбільш прийнятні види конфігурації мережі і устаткування, яке використовується для його побудови, забезпечуючи користувачу оперативну обробку результатів.

ВИСНОВКИ

У роботі були розглянуті існуючі на сьогодні передові технології передачі даних, особливості їх реалізації, переваги та недоліки. Було введено таке поняття як змішаний бездротово-оптичний широкосмуговий мережевий доступ, а також були розглянуті можливості побудови мереж з використанням декількох передових технологій одночасно. Окремо було розглянуто технології вирішення проблеми «останньої милі», та запропоновані шляхи її вирішення на основі гібридної мережі.

Результатом роботи став програмний засіб розрахунку устаткування необхідного для побудови змішаної мережі виходячи з даних що вводяться користувачем та критеріїв, які виступають у якості обмежень.

Дане рішення дозволить в майбутньому проектувати мережі за схожим принципом, зазнаючи при цьому незначні зміни в технології або устаткуванні. Як наслідок це істотно наблизить досягнення цілі глобальної інформатизації суспільства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/Остання_миля [Електронний ресурс]
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспроводные_технологии [Електронний ресурс]
3. Розорінов Г.М. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку: навч. посіб. / Г.М. Розорінов, Д.О. Соловійов. – 2-е вид., перероб. і допов. – К.: Кафедра, 2012. – 344 с.
4. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации / И.Г. Бакланов. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 468 с.
5. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник / Олифер В.Г., Олифер Н.А. – С. Пб.: Питер. 2016. – 992 с.
6. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / Иванов А.Б. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 663 с.
7. Никульский И.Е. Оптические интерфейсы цифровых коммутационных станций и сети доступа / Никульский И.Е. – М.: Техносфера, 2006. – 256 с.
8. Технологія FTTX. <http://mirntc.ru/ftth> [Електронний ресурс]
9. Манікін В.В. Путівник по FTTX / Манікін В.В. – М.: EXFO, 2009. – 191 с.
10. Галеев Э.М. Оптимизация / Э.М.Галеев, В.М. Тихомиров. – М.: Эдиториал, 2000. – 320 с.
11. Олькин И.С. Планирование сети беспроводного доступа: общие рекомендации. / Олькин И.С. // Вестник связи № 3 – К.:, 2005. – С. 48-54.
12. Вишневский В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. Вишневский, А. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 592 с.
13. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети / В. Столлингс. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.

14. Гринфилд Д. Оптические сети / Гринфилд Д. Пер. с англ. – До.: «ТИД ДС», 2002 – 256 с.

15. Інформаційно-довідниковий портал MorePC – LMDS (local - multipoint - distribution - service) [Електронний ресурс]
<http://www.morepc.ru/dict/term11210.php>

16. Палагин А.В. Средства удаленного доступа на базе мобильной персональной системы / А. В. Палагин, Н. И. Алишов, А. В. Громовский // Управляющие системы и машины – 2006. – № 6. – С. 26–32