

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломної роботи

бакалавра

(назва освітнього рівня)

галузь знань

17 Електроніка та телекомунікації

(шифр і назва галузі знань)

спеціальність

172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва спеціальності)

освітній рівень

бакалавр

(назва освітнього рівня)

кваліфікація

бакалавр із телекомунікацій та радіотехніки

(код і назва кваліфікації)

На тему: «Інтегрована мережа доступу на базі Ethernet і Wi-Fi»

Виконавець: студент 4 курсу, групи 172-16-1

Карпов Владислав Олександрович

(підпис)

(прізвище ім'я по-батькові)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
роботи	Проф. Гусєв О.Ю.		
розділів			
спеціальний	Проф. Гусєв О.Ю.		
економічний	Доц. Романюк Н.М.		
Рецензент			
Нормоконтроль	Проф. Гусєв О.Ю.		

Дніпро
2020

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
д.т.н., професор Корнієнко В.І.
«_____» _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу бакалавра

спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва спеціальності)

студента 172-16-1 Карпов Владислав Олександрович
(група) (прізвище ім'я по-батькові)

Тема дипломної роботи «Інтегрована мережа доступу на базі Ethernet і Wi-Fi»
Наказ ректора НТУ "ДП" від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Стан питання. Постановка задачі</i>	Аналітичний огляд літератури з теми проекту Постановка задачі	Квітень 2020
<i>Спеціальна частина</i>	Розробка архітектури інтегрованої мережі доступу на базі Ethernet і Wi-Fi	Травень 2020
<i>Економічний розділ</i>	Розрахунок капітальних витрат	Травень 2020

Завдання видав _____
(підпис)

Гусєв О.Ю.
(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв
до виконання _____
(підпис)

Карпов В.О.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 15 березня 2020 р.

Строк подання дипломного проекту до ДЕК:

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 116 сторінок, 40 малюнків, 7 таблиць, 3 додатки, 9 джерел.

Об'єкт розробки: системи доступу.

Предмет розробки: архітектура інтегральних мереж доступу.

Мета дипломної роботи: розробка інтегральної мережі доступу на базі Ethernet і Wi-Fi.

У першому розділі виконаний аналітичний огляд джерел за темою дипломної роботи. Сформульовано постановку задачі роботи.

У другому розділі розроблені принципи побудови інтегрованої мережі. Обрано обладнання мережі. Запропоновано та обґрунтовано архітектуру інтегрованої мережі доступу на базі технологій Ethernet і Wi-Fi.

У третьому розділі виконано розрахунок капітальних витрат на розробку архітектури інтегрованої мережі доступу на базі технологій Ethernet і Wi-Fi.

ІНТЕГРАЛЬНА МЕРЕЖА ДОСТУПУ, ТЕХНОЛОГІЯ ETHERNET,
ТЕХНОЛОГІЯ WI-FI, ЛОКАЛЬНА МЕРЕЖА, АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 116 страниц, 40 рисунков, 7 таблиц, 3 приложения, 9 источников.

Объект разработки: системы доступа.

Предмет разработки: архитектура интегральных сетей доступа.

Цель дипломной работы: разработка архитектуры интегральной сети доступа на базе Ethernet и Wi-Fi.

В первом разделе выполнен аналитический обзор источников по теме дипломной работы. Сформулирована постановка задачи работы.

Во втором разделе разработаны принципы построения интегрированной сети. Выбрано оборудование сети. Предложена и обоснована архитектура интегрированной сети доступа на базе технологий Ethernet и Wi-Fi.

В третьем разделе выполнен расчет капитальных затрат на разработку архитектуры интегрированной сети доступа на базе технологий Ethernet и Wi-Fi.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ СЕТЬ ДОСТУПА, ТЕХНОЛОГИЯ ETHERNET,
ТЕХНОЛОГИЯ WI-FI, ЛОКАЛЬНАЯ СЕТЬ, АРХИТЕКТУРА СЕТИ

ABSTRACT

Explanatory note: p. 116, pic. 40, tab. 7, app. 3, s-es 9.

Object of development: access systems.

Subject of development: architecture of integrated access networks.

The purpose of the thesis: the development of an integrated access network based on Ethernet and Wi-Fi.

The first section contains an analytical review of sources on the topic of the thesis. The statement of the problem of work is formulated.

In the second section, the principles of building an integrated network are developed. Network equipment selected. The architecture of an integrated access network based on Ethernet and Wi-Fi technologies is proposed and justified.

In the third section, the calculation of capital costs for the development of an integrated access network architecture based on Ethernet and Wi-Fi technologies is performed.

INTEGRAL ACCESS NETWORK, ETHERNET TECHNOLOGY, WI-FI TECHNOLOGY, LOCAL NETWORK, NETWORK ARCHITECTURE

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- IEEE - Інститут інженерів електроніки та електротехніки
- MAC - Підрівень управління доступом до середовища
- LCC - Підрівень логічної передачі даних
- ЛОМ - Локальна обчислювальна мережа
- CSMA / CA - Колективний доступ з розпізнаванням несучої і униканням конфліктів
- DSAP - Адреса точки входу сервісу призначення
- SSAP - Адреса точки входу сервісу джерела
- OUI - Унікальний організаційний ідентифікатор
- ЦП - Центральний процесор
- CS - Несуча частота
- SFD - Початковий обмежувач кадру
- DA - Адреса призначення
- SA - Адреса джерела
- FCS - Поле контрольної суми
- SNAP - Протокол доступу до мереж
- UTP - Неекрановані кручені пари
- IPG - Міжкадровий інтервал
- МІІ - Незалежний від середовища інтерфейс
- PHY - Пристрій фізичного рівня
- NRZI - Метод фізичного кодування
- ERP - Розширений фізичний рівень
- ССК - Кодування з використанням комплементарних кодів
- PBCC - Технологія двоїчного пакетного пакункового кодування

ЗМІСТ

ВСТУП	9
Розділ перший: СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	11
1.1 Технологія Ethernet.....	11
1.1.1 Специфікації IEEE для локальних мереж	11
1.1.2 Локальні мережі Ethernet	15
1.1.3 Специфікації фізичного середовища Ethernet.....	29
1.2 Технологія Wi-Fi.....	50
1.2.1 Специфікації IEEE для локальних бездротових мереж.....	50
1.2.2 Концепції бездротових фізичних рівнів	51
1.2.3 Локальні бездротові мережі стандарту 802.11b.....	59
1.2.4 Локальні бездротові мережі стандарту 802.11a.....	63
1.2.5 Локальні бездротові мережі стандарту 802.11 g.....	65
1.2.6 Метод доступу до фізичного середовища передачі CSMA / CA	66
1.3 Постановка задачі	73
1.4 Висновки	73
Розділ другий: СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	74
2.1 Принципи побудови інтегрованої мережі	74
2.1.1 Вимоги, що пред'являються до локальних обчислювальних мереж.....	74
2.1.2 Компонування локальних мереж Ethernet.....	79
2.1.3 Компонування бездротових мереж Wi-Fi	84
2.1.4 Можливість з'єднання станцій.....	89
2.2 Архітектура інтегрованої мережі доступу на базі технологій Ethernet і Wi-Fi.....	95
2.2.1 Бездротове обладнання, що застосовується при побудові мереж Wi-Fi	95
2.2.2 Вибір обладнання.....	96
2.2.3 Архітектура інтегрованої мережі доступу на базі технологій Ethernet і Wi-Fi	98
2.3 Висновки	103

Розділ третій: ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	104
3.1 Розрахунки	104
3.1.1 Визначення трудомісткості розробки архітектури.....	104
3.1.2 Розрахунок витрат на розробку архітектури.....	105
3.1.3 Розрахунок капітальних витрат	108
3.2 Висновки	109
ВИСНОВКИ.....	110
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	111
ДОДАТОК А: Відомість матеріалів дипломної роботи.....	113
ДОДАТОК Б: Відгук керівника економічного розділу	114
ДОДАТОК В: Відгук керівника дипломної роботи	115

ВСТУП

Протягом багатьох десятиліть провідні та безпроводні види зв'язку займали різні ніші на ринку телекомунікацій. Провідний зв'язок мав на увазі надійність і високу пропускну здатність. Бездротовий зв'язок використовувався для передачі інформації там, де важко або просто неможливо створити дротову кабельну мережу, а також там, де потрібна свобода пересування.

Перші бездротові комп'ютерні мережі сприймалися лише як засіб, що дозволяє співробітникам пересуватися по офісу з ноутбуками, а не бути «прив'язаними» до робочих місць. Раніше, при використанні в офісах тільки настільних комп'ютерів, вважалося, що необхідно прокладати дротову комп'ютерну мережу для забезпечення їх взаємодії. Використання бездротового рішення було проблематично через високу вартість обладнання, а також щодо низької надійності та пропускну здатності. Але з часом на ринку з'явилося нове покоління обладнання для організації бездротових локальних мереж. Коли необхідно забезпечити свободу пересування користувачів, перемоги даного типу обладнання в порівнянні з традиційною провідною інфраструктурою очевидні.

Бездротові технології перевершують дротяні за трьома параметрами:

- По терміновості;
- Віддаленості;
- Мобільності.

Терміновість. Даний фактор особливо важливий для країн з бурхливою економічною діяльністю, але сильно відсталих в розвитку телефонних і локальних мереж загального користування. Надійні комунікації потрібні негайно, а для прокладки кабельної мережі необхідні колосальні інвестиції і тривалий час. Безумовно, в майбутньому оптоволоконний кабель зможе

вирішити проблеми фіксованого зв'язку краще, ніж це можуть зараз радіотехнології, але це дорогий і тривалий процес. Більш того, кабельну розводку потрібно довести до кожної квартири або установи. Коли все це буде зроблено, фіксований радіозв'язок, можливо, буде витіснений з великих міст і залишиться для обслуговування переважно абонентів у віддалених місцевостях. Це тільки один з варіантів розвитку подій.

Віддаленість. Перевага не так технологічного, скільки економічного характеру. Вона виявляється вирішальною при виборі способу під'єднання до мережі віддалених абонентів, коли прокладати кабель економічно недоцільно. Це можуть бути абоненти, або розкидані по великій малонаселеній території, або згруповані в віддаленому або важкодоступному пункті. У першому випадку не вигідною виявляється прокладка або підвішування кабелів абонентського доступу, у другому - магістральних кабелів. Вся справа не в рівні економічного розвитку країни, а в ступені заселеності тій чи іншій місцевості.

Мобільність. Це найбільш очевидна, але не безперечна для передачі даних відмінна властивість бездротових технологій. Вона має переважно технологічний, а не економічний характер. Неможливість приєднання рухомих абонентів є непереборним обмеженням кабельних мереж, яке поширюється на будь-який вид комунікацій - як на звичайний телефонний і факсимільний зв'язок, так і на передачу даних. Радіотехнології дозволили вирішити дану проблему.

На Заході Radio-Ethernet використовується переважно в корпоративних мережах, що охоплюють територію складу, супермаркету, заводу, шпиталю, університетського містечка. Якщо є дві або кілька розкиданих територій, то будується загальна мережа шляхом з'єднання окремих сегментів через орендовані (у місцевого телефонного компанії) кабельні канали.

Розділ перший: СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Технологія Ethernet

1.1.1 Специфікації IEEE для локальних мереж

У 1980 році в інституті IEEE був організований «Комітет 802 по стандартизації локальних мереж», в результаті роботи якого було створено сімейство стандартів IEEE 802.x, які містять рекомендації для проектування нижніх рівнів локальних мереж.

Стандарти сімейства IEEE 802.x охоплюють тільки два нижніх рівні семи рівнів моделі OSI - фізичний і канальний. Це пов'язано з тим, що саме ці рівні найбільшою мірою відображають специфіку локальних мереж.

Специфіка локальних мереж знайшла також своє відображення в поділі канального рівня на два підрівні:

- підрівень управління доступом до середовища (Media Access Control, MAC);
- підрівень логічної передачі даних (Logical Link Control, LLC).



Малюнок 1.1 – Модель ЭМВОС (OSI)

LLC рівень з'явився через існування в локальних мережах середовища передачі даних. Саме цей рівень забезпечує коректне спільне використання загального середовища, надаючи її в відповідно до певного алгоритму в розпорядження тієї чи іншої станції мережі. Після того, як доступ до середовища отриманий, нею може користуватися наступний підрівень, організуючий надійну передачу логічних одиниць даних - кадрів інформації.

Рівень LLC відповідає за достовірну передачу кадрів даних між вузлами, а також реалізує функції інтерфейсу з прилеглим до нього мережевим рівнем. Для рівня LLC також існує кілька варіантів протоколів, що відрізняються наявністю або відсутністю на цьому рівні процедур відновлення кадрів у випадку їх втрати або спотворення, тобто відмінних якістю транспортних послуг цього рівня [1].

Протоколи рівнів MAC і LLC взаємно незалежні - кожен протокол MAC-рівня може застосовуватися з будь-яким типом протоколу LLC-рівня і навпаки.

Стандарт IEEE 802 містить кілька розділів:

- В розділі 802.1 приводяться основні поняття і визначення, загальні характеристики і вимоги до локальних мереж;
- Розділ 802.2 визначає підрівень управління логічним каналом LLC;
- Розділи 802.x регламентують специфікації різних протоколів підрівня доступу до середовища MAC і їх зв'язок з рівнем LLC, зокрема, що розглядаються в даній роботі:
 - Стандарт 802.3 - ЛВС на основі технології Ethernet описує колективний доступ з розпізнаванням несучої і виявленням конфліктів (Carrier sense multiple access with collision detection - CSMA / CD);

- Стандарт 802.11 - Wireless Networks, визначає колективний доступ з розпізнаванням несучої і униканням конфліктів (Carrier sense multiple access with collision avoiding - CSMA / CA).

Для кожного з цих стандартів визначені специфікації фізичного рівня, що визначають середу передачі даних (коаксіальний кабель, вита пара, оптоволоконний кабель або радіоефір), її параметри, а також методи кодування інформації для передачі по даному середовищі.

Всі методи доступу використовують протоколи рівня управління логічним каналом LLC, описаним у стандарті 802.2.

Рівень управління логічним каналом LLC надає верхнім рівням три типи процедур:

- LLC1 - сервіс без встановлення з'єднання і без підтвердження;
- LLC2 - сервіс з встановленням з'єднання і підтвердженням;
- LLC3 - сервіс без встановлення з'єднання, але з підтвердженням.

Цей набір процедур є загальним для всіх методів доступу до середовища, визначених стандартами 802.x.

Сервіс без встановлення з'єднання і без підтвердження LLC1 дає користувачеві засоби для передачі даних з мінімумом витрат. Зазвичай, цей вид сервісу використовується тоді, коли такі функції, як відновлення даних після помилок і впорядкування даних, виконуються протоколами вищих рівнів, тому немає потреби дублювати їх на рівні LLC.

Сервіс з встановленням з'єднань і з підтвердженням LLC2 дає користувачеві можливість встановити логічне з'єднання перед початком передачі будь-якого блоку даних і, якщо це потрібно, виконати процедури

відновлення після помилок і впорядкування потоку цих блоків в рамках встановленого з'єднання.

Сервіс без встановлення з'єднання, але з підтвердженням LLC3 використовується у випадках, коли тимчасові витрати встановлення логічного з'єднання перед відправленням даних неприйнятні, а підтвердження коректності прийому переданих даних необхідно.

За своїм призначенням всі кадри рівня LLC поділяються на три типи:

- Інформаційні кадри призначені для передачі інформації в процедурах з встановленням логічного з'єднання і повинні обов'язково містити поле інформації. В процесі передачі інформаційних блоків здійснюється їх нумерація в режимі ковзного вікна;

- Керуючі кадри, призначені для передачі команд і відповідей у процедурах з встановленням логічного з'єднання, в тому числі запитів на повторну передачу спотворених інформаційних блоків.

- Ненумеровані кадри, призначені для передачі ненумерованих команд і відповідей, що виконують в процедурах без встановлення логічного з'єднання передачу інформації, ідентифікацію і тестування LLC-рівня, а в процедурах з встановленням логічного з'єднання - встановлення та роз'єднання логічного з'єднання, а також інформування про помилки.

Всі типи кадрів рівня LLC мають єдиний формат:

Флаг 01111110	DSAP	SSAP	Control	Данные	Флаг 01111110
------------------	------	------	---------	--------	------------------

Малюнок 1.2 – Формат кадра рівня LLC

Кадр LLC обрамляється двома однобайтовими полями «Прапор», що мають значення 01111110. Прапори використовуються на MAC-рівні для визначення меж блоку.

Поле даних кадру LLC призначене для передачі по мережі пакетів протоколів верхніх рівнів, наприклад IP. Поле даних може бути відсутнім в керуючих кадрах і деяких нумерованих кадрах.

Поле управління (займає один байт) використовується для позначення типу кадру даних - інформаційний, керуючий або нумерований. Крім цього, в цьому полі вказуються порядкові номери відправлених і успішно прийнятих кадрів, якщо підрівень LLC працює за процедурою LLC2 з встановленням з'єднання.

Адресні поля DSAP і SSAP (адреса точки входу сервісу призначення і адреса точки входу сервісу джерела) займають по 1 байту. Вони дозволяють вказати, який сервіс верхнього рівня пересилає дані за допомогою цього кадру. Програмному забезпеченню вузлів мережі при отриманні кадрів каналного рівня необхідно розпізнати, який протокол вклав свій пакет в поле даних кадру, що надійшов, для того, щоб передати витягнутий з кадру пакет потрібному протоколу для подальшої обробки. Для ідентифікації цих протоколів вводяться так звані адреси точки входу служби SAP - Service Access Point. Значення адрес SAP приписуються протоколам відповідно до стандарту 802.2.

За допомогою керуючих кадрів протокол LLC має можливість регулювати потік даних, що надходять від вузлів мережі.

1.1.2 Локальні мережі Ethernet

Ethernet - це мережевий стандарт, заснований на експериментальній мережі Ethernet Network, яку фірма Xerox розробила і реалізувала в 1975 році. Метод доступу був випробуваний в другій половині 60-х років XX століття в

радіомережі Гавайського університету, в якій використовувалися різні варіанти випадкового доступу до загальної радіосередовища, отримали назву Aloha.

Залежно від типу фізичного середовища стандарт IEEE 802.3 має різні модифікації: 10Base-5, 10Base-2, 10Base-T, 10Base-FL, 10Base-FB.

У 1995 році був прийнятий стандарт Fast Ethernet, опис якого просто є додатковим розділом до основного стандарту 802.3 - розділом 802.3u. Офіційно стандарт 802.3u встановив три різних специфікації для фізичного рівня Fast Ethernet і дав їм наступні назви: 100Base-TX, 100Base-T4, 100Base-FX.

Аналогічно, прийнятий в 1998 році стандарт Gigabit Ethernet описаний в розділі 802.3z основного документа і має наступні специфікації: 1000BASE-T і 1000BASE-X.

Всі види стандартів Ethernet (у тому числі Fast Ethernet і Gigabit Ethernet) використовують один і той же метод поділу середовища передачі даних - метод CSMA / CD [2].

Адресація в мережах Ethernet

Адреси Ethernet представляють собою 48-розрядні значення, які однозначно ідентифікують Ethernet-станції локальної мережі. Ethernet-адреси частково призначаються в рамках глобальної системи ідентифікації IEEE, частково - виробниками обладнання. Організація IEEE призначає кожному постачальнику 24-розрядний унікальний організаційний ідентифікатор (OUI). Цей ідентифікатор включається в Ethernet-адресу в якості перших 24-х розрядів. Завдяки цьому гарантується унікальність Ethernet-адреси.

Оскільки при такій системі адресації використовується фізичний інтерфейс, її також називають MAC-адресацією. У більшості випадків MAC-адреси представляються в шістнадцятковій формі, причому кожен байт

відділяється дефісом або двокрапкою, або кожні два байта відокремлюються крапкою:

-11-95-E4-85-4C, 00:11:95:E4:85:4C, 0011.95E4.854C

Унікальний організаційний ідентифікатор надає в розпорядження виробника 1024, або 16 777 216 можливих адрес.

Типи адресації кадрів

Розрізняються одноадресатні, багатоадресатні і широкомовні кадри.

При широкомовній адресації станція надсилає кадр всім станціям широкомовного домену. Широкомовна адреса Ethernet містить особливу 48-розрядну адресу приймача, всі біти якого мають значення 1 або FF в шістнадцятковому вигляді. Широкомовна адреса має вигляд FF - FF - FF - FF - FF - FF.

Широкомовні кадри приймаються і обробляються всіма станціями домену. Кожна станція визначає, чи містить кадр дані, призначені саме для неї чи немає. Станція, яка отримує широкомовні кадри, що призначаються не їй, використовує свій центральний процесор (ЦП) для їх обробки, в той час як його повинні були б використовувати для своїх потреб інші ресурси станції. Процес обробки таких кадрів може здатися простою справою, проте виникла широкомовна лавина може викликати перенавантаження в мережі і підключених до неї станцій.

Багатоадресатні кадри дозволяють відправнику направляти їх відразу групі одержувачів, а не одному. Завдяки цьому процесу в певних ситуаціях знижується навантаження на мережу за рахунок того, що станціям не доводиться передавати деякі кадри кілька разів, щоб їх могли отримати всі станції, для яких призначені кадри. На розсилку багатоадресатних кадрів

повинна бути проведена своєрідна "підписка". Це означає, що станція-приймач повинна виявити бажання отримувати їх. Якщо станція-приймач не підписалася на прийом багатоадресатних кадрів, призначених певній групі станцій, вона не приймає ці кадри.

Одноадресатна розсилка є простим і прямим способом передачі даних станції-одержувачу. Передавальну станцію направляє кадр з адресою призначення конкретної станції з відповідною Ethernet-адресою. Тільки ця приймальня станція отримує і обробляє фрейм і його вміст [3].

Ethernet пропонує всі три методи адресації, завдяки чому програми можуть використовувати найбільш прийнятний для них метод і тим самим знижувати навантаження на мережу.

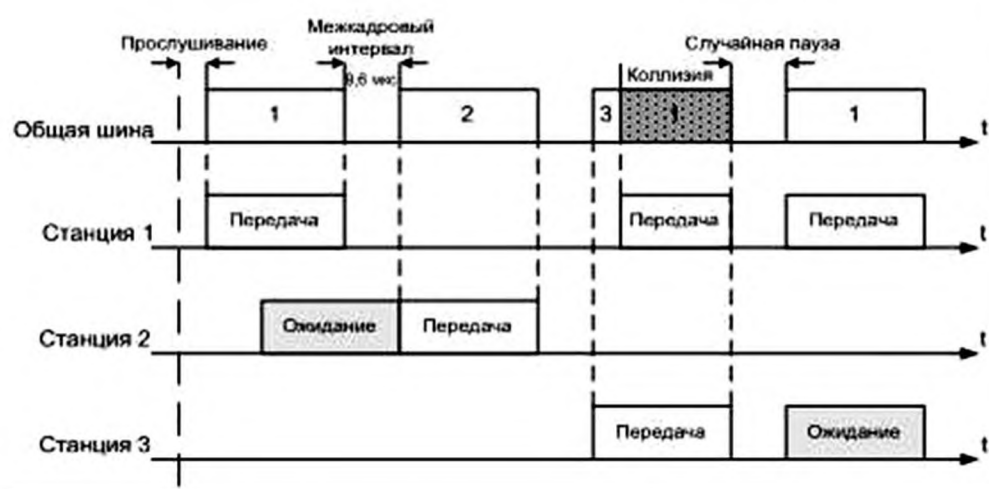
Метод доступу CSMA/CD

У мережах Ethernet використовується метод доступу до середовища передачі даних, званий методом колективного доступу з опізнанням несучої і виявленням колізій - carrier-sense-multiply-access with collision detection, CSMA / CD.

Цей метод застосовується виключно в мережах з логічною загальною шиною. Всі комп'ютери такої мережі мають безпосередній доступ до загальної шині, тому вона може бути використана для передачі даних між будь-якими двома станціями в мережі. Одночасно всі комп'ютери мережі мають можливість негайно, з урахуванням затримки поширення сигналу по фізичному середовищі, отримати дані, які будь-який з комп'ютерів почав передавати на загальну шину. Простота схеми підключення - це один з факторів, що визначили успіх стандарту Ethernet.

Всі дані, що передаються по мережі, поміщаються в кадри визначеної структури і забезпечуються унікальною адресою станції призначення.

Щоб отримати можливість передавати кадр, станція повинна переконатися, що колективна середовище вільне. Це досягається прослуховуванням основної гармоніки сигналу, яка також називається несучою частотою (carrier-sense, CS). Ознакою незайнятості середовища є відсутність на ній несучої частоти.



Малюнок 1.3 – Метод доступу до середовища CSMA/CD

Якщо середовище вільне, то вузол має право почати передачу кадру. Цей кадр зображений на рис. 3 першим. Станція 1 виявила, що середовище вільне, і почала передавати свій кадр. Кадр даних завжди супроводжується преамбулою, яка складається з 7 байт, що складаються зі значень 10101010, і 8-го байта, рівного 10101011. Преамбула потрібна для входження приймача в побітовий і побайтовий синхронізм з передавачем.

Всі станції, підключені до кабелю, можуть розпізнати факт передачі кадру, і та станція, яка дізнається власну адресу в заголовках кадру, записує його вміст у свій внутрішній буфер, обробляє отримані дані, передає їх нагору по своєму стеку, а потім посилає по кабелю відповідь. Адреса джерела міститься у вихідному кадрі, тому станція-одержувач знає, кому потрібно послати відповідь.

Станція 2 під час передачі кадру першою станцією також намагалася почати передачу свого кадру, однак виявила, що навколишнє середовище зайняте - на ньому присутня несуча частота, і змушена чекати, поки станція 1 не припинить передачу свого кадру.

Після закінчення передачі кадру всі вузли мережі зобов'язані витримати міжкадровий інтервал (Inter Packet Gap) тривалістю 9,6 мкс. Ця пауза потрібна для приведення мережевих адаптерів в початковий стан, а також для запобігання монопольного захоплення середовища однією станцією. Після закінчення міжкадрового інтервалу станції мають право почати передачу свого кадру, так як середовище вільне.

У наведеному прикладі на малюнку 3 стація 2 дочекалася закінчення передачі кадру станцією 1, зробила паузу в 9,6 мкс і почала передачу свого кадру.

Через затримки поширення сигналу по кабелю не всі вузли строго одночасно фіксують факт закінчення передачі кадру станцією 1.

Механізм прослуховування середовища і пауза між кадрами не гарантують від виникнення такої ситуації, коли дві або більше станції одночасно вирішують, що середовище вільне, і почнуть передавати свої кадри. В такому випадку відбувається колізія, так як вміст обох кадрів стикається на загальному кабелі і відбувається спотворення інформації - методи кодування, використовувані в Ethernet, не дозволяють виділяти сигнали кожної станції з загального сигналу.

Колізія - це нормальна ситуація в роботі мереж Ethernet, що є наслідком розподіленого характеру мережі. Суть полягає в тому, що один вузол починає передачу раніше іншого, але до другого вузла сигнали першого можуть просто не встигнути дійти до того часу, коли другий вузол вирішує почати передачу

свого кадру. У прикладі, зображеному на рис. 3, колізію породила одночасна передача даних станціями 3 і 1.

Для коректної обробки колізії всі станції одночасно спостерігають за виникаючими на кабелі сигналами. Якщо сигнали, що передаються і спостерігаються, відрізняються, то фіксується виявлення колізії (collision detection, CD). Для збільшення ймовірності якнайшвидшого виявлення колізії всіма станціями мережі станція, яка виявила колізію, перериває передачу свого кадру (в довільному місці, можливо, і не на кордоні байта) і підсилює ситуацію колізії посилкою в мережу спеціальної послідовності з 32 біт, званої jam-послідовністю.

Після цього передавальна станція, що виявила колізію, зобов'язана припинити передачу і зробити паузу протягом короткого випадкового інтервалу часу. Потім вона може знову почати спробу захоплення середовища і передачі кадру. Випадкова пауза вибирається за наступним алгоритмом:

Пауза = $L * (\text{інтервал відстрочки})$,

де інтервал відстрочки дорівнює 512 бітовим інтервалам.

Бітовий інтервал - bt відповідає часу між появою двох послідовних біт даних на кабелі. Для швидкості 10 Мбіт/с величина бітового інтервалу дорівнює 0,1 мкс або 100 нс.

L являє собою ціле число, обране з рівною ймовірністю з діапазону $[0, 2N]$, де N - номер повторної спроби передачі даного кадру: 1, 2, ..., 10. Якщо 16 послідовних спроб передачі кадру викликають колізію, то передавач повинен припинити спроби і відкинути цей кадр.

Чітке розпізнавання колізій усіма станціями мережі є необхідною умовою коректної роботи мережі Ethernet. Якщо яка-небудь передавальна станція не

розпізнає колізію і вирішить, що кадр даних нею переданий вірно, то цей кадр даних буде загублений. Через накладення сигналів при колізії інформація кадру спотвориться, і він буде стертий приймаючої станцією.

Для надійного розпізнавання колізій повинно виконуватися наступне співвідношення: $T_{min} \geq PDV$, де T_{min} - час передачі кадру мінімальної довжини, PDV - час, за який сигнал колізії встигає поширитися до самого далекого вузла мережі.

PDV - час подвійного оберту (Path Delay Value), так як в гіршому випадку сигнал повинен пройти двічі між найбільш віддаленими одна від одної станціями мережі. В одну сторону проходить неспотворений сигнал, а на зворотному шляху поширюється вже спотворений колізією сигнал.

При виконанні цієї умови передавальна станція повинна встигати виявити колізію, яку викликав переданий нею кадр, ще до того, як вона закінчить передачу цього кадру. Очевидно, що виконання цієї умови залежить, з одного боку, від довжини мінімального кадру і пропускної здатності мережі, а з іншого боку, від довжини кабельної системи мережі і швидкості поширення сигналу в кабелі.

Всі параметри протоколу Ethernet підібрані таким чином, щоб при нормальній роботі вузлів мережі колізії завжди чітко розпізнавалися. У стандарті Ethernet прийнято, що мінімальна довжина поля даних кадру становить 46 байт (що разом зі службовими полями дає мінімальну довжину кадру 64 байт, а разом з преамбулою - 72 байт або 576 біт). Звідси може бути визначено обмеження на відстань між станціями.

Таким чином, Ethernet 10 Мбіт/с час передачі кадру мінімальної довжини рівний 575 бітових інтервалів, отже, час подвійного оберту повинен бути менше 57,5 мкс. Враховуючи, що за цей час сигнал повинен пройти по лінії зв'язку

двічі, відстань між двома вузлами не повинна бути більше 6 635 м. В стандарті величина цієї відстані обрана істотно менше, з урахуванням інших, більш суворих, обмежень.

Одне з таких обмежень пов'язане з гранично допустимим загасанням сигналу. Для забезпечення необхідної потужності сигналу при його проходженні між найбільш віддаленими один від одного станціями сегмента максимальна довжина кабелю безперервного сегмента товстого коаксіального кабелю з урахуванням внесеного ним загасання обрана в 500 метрів.

Повторювачі збільшують потужність сигналів, що передаються з сегмента на сегмент, в результаті загасання сигналів зменшується і можна використовувати мережу набагато більшої довжини, що складається з декількох сегментів. В коаксіальних реалізаціях Ethernet максимальна кількість сегментів в мережі обмежена п'ятьма, що в свою чергу обмежує загальну довжину мережі 2500 метрами.

Насправді в таких багатосегментних мережах самі повторювачі вносять до поширення сигналу додаткову затримку в кілька десятків бітових інтервалів, і часовий запас суттєво зменшується.

В результаті обліку всіх цих та деяких інших чинників було ретельно підібрано співвідношення між мінімальною довжиною кадру і максимально можливою відстанню між станціями мережі, що забезпечує надійне розпізнавання колізій. Цю відстань називають також максимальним діаметром мережі.

Слід зазначити, що метод доступу CSMA/CD взагалі не гарантує станції, що вона коли-небудь зможе одержати доступ до середовища. При невеликому завантаженні мережі ймовірність такої події невелика, але при коефіцієнті використання мережі, що наближається до 1, така подія стає дуже ймовірною.

Сьогодні існують програми, що працюють у реальному масштабі часу з мультимедійною інформацією, які можуть дуже сильно завантажувати сегменти мережі Ethernet. При цьому колізії виникають набагато частіше. При значній інтенсивності колізій корисна пропускна здатність мережі Ethernet різко падає, так як мережа майже постійно зайнята повторними спробами передачі кадрів. Для зменшення інтенсивності виникнення колізій потрібно або зменшити обсяг переданого трафіку, або підвищити швидкість протоколу, наприклад перейти на Fast Ethernet [1].

Формати кадрів технології Ethernet

На практиці в мережах Ethernet на каналному рівні використовуються кадри 4-х різних форматів (типів). Відмінності в форматах кадрів можуть приводити до несумісності в роботі апаратури і мережевого програмного забезпечення, розрахованого на роботу тільки з одним стандартом кадру Ethernet. Однак сьогодні практично всі мережеві адаптори, драйвери мережевих адапторів, мости, комутатори і маршрутизатори вміють працювати з усіма використовуваними на практиці форматами кадрів технології Ethernet, причому розпізнавання типу кадру виконується автоматично.

Нижче наводиться опис усіх чотирьох типів кадрів Ethernet. Однак один і той же тип кадру може мати різні назви, тому для кожного типу кадру приведено по декілька найбільш уживаних назв:

- Кадр 802.3 / LLC (кадр 802.3 / 802.2 або кадр Novell 802.2);
- Кадр Raw 802.3 (або кадр Novell 802.3);
- Кадр Ethernet DIX (або кадр Ethernet II);
- Кадр Ethernet SNAP.

Кадр 802.3 / LLC

Заголовок кадру 802.3 / LLC є результатом об'єднання полів заголовків кадрів, визначених у стандартах IEEE 802.3 і 802.2. Формат кадру 802.3 / LLC (без поля преамбули і початкового обмежувача кадру) показаний на рисунку 1.4.

Поле преамбули (Preamble) складається з семи синхронізуючих байт 10101010. При манчестерському кодуванні ця комбінація представляється у фізичному середовищі періодичним хвильовим сигналом з частотою 5 МГц.

Початковий обмежувач кадру (Start-of-frame-delimiter, SFD) складається з одного байта 10101011. Поява цієї комбінації біт є вказівкою на те, що наступний байт - це перший байт заголовка кадру.

6	6	2	1	1	1(2)	46-1497 (1496)	4
DA	SA	L	DSAP	SSAP	Control	Данные	FCS
Заголовок LLC							

Малюнок 1.4 – Формат кадру 802.3/LLC

Адреса призначення (Destination Address, DA) може бути довжиною 2 або 6 байт. На практиці завжди використовуються адреси з 6 байт. Перший біт старшого байта адреси призначення є ознакою того, є адреса індивідуальною або груповою. Якщо він дорівнює 0, то адреса є індивідуальною (unicast), а якщо 1, то це групова адреса (multicast). Групова адреса може призначатися всім вузлам мережі або ж певної групи вузлів мережі.

Другий біт старшого байта адреси визначає спосіб призначення адреси - централізований чи локальний. Якщо цей біт дорівнює 0 (а так буває майже завжди в стандартній апаратурі Ethernet), то адреса призначена централізовано, за допомогою комітету IEEE.

Адреса джерела (Source Address, SA) - це 2 або 6-байтове поле, що містить адресу вузла - відправника кадру. Перший біт адреси завжди має значення 0.

Довжина (Length, L) - 2-байтове поле, яке визначає довжину поля даних в кадрі.

Поле даних (Data) може містити від 0 до 1500 байт. Але якщо довжина поля менше 46 байт, то використовується наступне поле - поле заповнення, - щоб доповнити кадр до мінімально допустимого значення в 46 байт.

Поле заповнення (Padding) складається з такої кількості байт заповнювачів, яке забезпечує мінімальну довжину поля даних в 46 байт. Це забезпечує коректну роботу механізму виявлення колізій. Якщо довжина поля даних достатня, то поле заповнення в кадрі не з'являється. Поле контрольної суми (Frame Check Sequence, FCS) складається з 4 байт, що містять контрольну суму. Це значення обчислюється за алгоритмом CRC-32. Після отримання кадру робоча станція виконує власне обчислення контрольної суми для цього кадру, порівнює отримане значення зі значенням поля контрольної суми і, таким чином, визначає, чи не спотворений отриманий кадр.

Кадр 802.3 є кадром MAC-підрівня, тому відповідно до стандарту 802.2 в його поле даних вкладається кадр підрівня LLC з віддаленими прапорами початку і кінця кадру. Так як кадр LLC має заголовок довжиною 3 (у режимі LLC1) або 4 байт (в режимі LLC2), то максимальний розмір поля даних зменшується до 1497 або тисячу чотиреста дев'яносто шість байт.

Кадр Raw 802.3 / Novell 802.3

Формат кадру Raw 802.3, званого також кадром Novell 802.3, представлений на рисунку 5.

6	6	2	46-1500	4
DA	SA	L	Данные	FCS

Малюнок 1.5 – Формат кадру Raw802.3/Novell 802.3

По суті, це кадр підрівня MAC стандарту 802.3, але без вкладеного кадру підрівня LLC. Компанія Novell довгий час не використовувала службові поля кадру LLC у своїй операційній системі NetWare через відсутність необхідності ідентифікувати тип інформації, вкладеної в поле даних, - там завжди знаходився пакет протоколу IPX, який довгий час був єдиним протоколом мережевого рівня в ОС NetWare.

Після того, як необхідність ідентифікації протоколу верхнього рівня з'явилася, компанія Novell стала використовувати можливість інкапсуляції в кадр підрівня MAC кадру LLC, тобто використовувати стандартні кадри 802.3 / LLC. Такий кадр компанія позначає тепер у своїх операційних системах як кадр 802.2, хоча він є комбінацією заголовків 802.3 і 802.2.

Кадр Ethernet DIX / Ethernet II

Кадр Ethernet DIX, званий також кадром Ethernet II, має структуру (див. Малюнок 1.6), що збігається зі структурою кадру Raw 802.3.

6	6	2	46-1500	4
DA	SA	T	Данные	FCS

Малюнок 1.6 – Формат кадру Ethernet DIX/Ethernet II

Однак 2-байтове поле довжини (L) кадру Raw 802.3 в кадрі Ethernet DIX використовується в якості поля типу протоколу. Це поле, що називається Type (T) або EtherType, призначене для тих же цілей, що і поля DSAP і SSAP кадру LLC, тобто для вказівки типу протоколу верхнього рівня, що вклав свій пакет в поле даних цього кадру.

У той час як коди протоколів в полях SAP мають довжину в один байт, в поле Type для коду протоколу відводяться 2 байта. Тому один і той же протокол в поле SAP і поле Type буде кодуватися в загальному випадку різними числовими значеннями.

Кадр Ethernet SNAP

Для усунення різнобою в кодуваннях типів протоколів, повідомлення яких вкладені в поле даних кадрів Ethernet, комітетом 802.2 була проведена робота щодо подальшої стандартизації кадрів Ethernet. В результаті з'явився кадр Ethernet SNAP (SNAP - Subnetwork Access Protocol, протокол доступу до підсетям). Кадр Ethernet SNAP (див. Малюнок 1.7) являє собою розширення кадру 802.3 / LLC за рахунок введення додаткового заголовку протоколу SNAP, що складається з двох полів: OUI і Type.

6	6	2	1	1	1	3	2	46-1492	4
DA	SA	L	DSAP	SSAP	Control	OUI	T	Данные	FCS
			AA	AA	03	000000			
			Заголовок LLC			Заголовок SNAP			

Малюнок 1.7 – Формат кадра Ethernet SNAP

Поле Type складається з 2-х байт і повторює за форматом і призначенням поле Type кадру Ethernet II, тобто в ньому використовуються ті ж значення кодів протоколів.

Поле OUI (Organizationally Unique Identifier) визначає ідентифікатор організації, яка контролює коди протоколів в поле Type.

За допомогою заголовка SNAP досягнута сумісність з кодами протоколів в кадрах Ethernet II, а також створена універсальна схема кодування протоколів. Коди протоколів для технологій 802 контролює IEEE, яка має OUI, рівний 000000. Якщо в майбутньому будуть потрібні інші коди протоколів для будь-якої нової технології, для цього достатньо вказати інший ідентифікатор організації, яка призначає ці коди, а старі значення кодів залишаться в силі (в поєднанні з іншим ідентифікатором OUI).

Так як SNAP є протокол, вкладений в протокол LLC, то в полях DSAP і SSAP записується код 0xAA, відведений для протоколу SNAP. Поле Control заголовка LLC встановлюється в 0x03, що відповідає використанню нумерованих кадрів [1].

1.1.3 Специфікації фізичного середовища Ethernet

Домен колізій

В технології Ethernet, незалежно від застосовуваного стандарту фізичного рівня, існує поняття домену колізій.

Домен колізій (Collision Domain) - це частина мережі Ethernet, всі вузли якої розпізнають колізію незалежно від того, в якій частині цієї мережі колізія виникла. Мережа Ethernet, побудована на повторювачах, завжди утворює один домен колізій. Домен колізій відповідає одному поділюваному середовищі. Мости, комутатори і маршрутизатори ділять мережу Ethernet на декілька доменів колізій.

Наведена на рисунку 1.9 мережа являє собою один домен колізій. Якщо, наприклад, зіткнення кадрів відбулося в концентраторі 4, то відповідно до логіки роботи концентраторів 10Base-T сигнал колізії пошириться по всіх портах всіх концентраторів і всі вузли мережі будуть сповіщені про колізії.

Фізичне середовище Ethernet

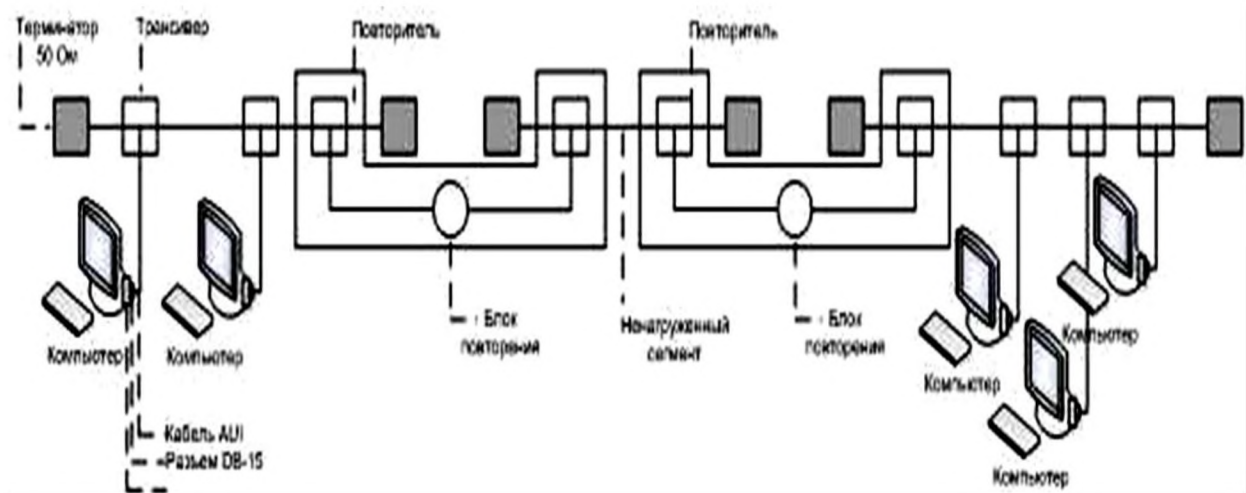
10Base-5

Стандарт 10Base-5 в основному відповідає експериментальній мережі Ethernet фірмою Xerox і може вважатися класичним Ethernet. Він використовує в якості середовища передачі даних коаксіальний кабель з хвильовим опором 50 Ом, діаметром центрального мідного дроту 2,17 мм і зовнішнім діаметром близько 10 мм («товстий» коаксіал).

Кабель використовується як моноканал для всіх станцій. Сегмент кабелю має максимальну довжину 500 м (без повторювачів) і повинен мати на кінцях узгоджуючі термінатори опором 50 Ом, які поглинають сигнали, що поширюються по кабелю і перешкоджають виникненню відбитих сигналів (див. рис. 8). Станція повинна підключатися до кабелю за допомогою приймача - трансивера. Трансивер встановлюється безпосередньо на кабелі і живиться від мережевого адаптора комп'ютера. Трансивер з'єднується з мережним адаптором інтерфейсним кабелем AUI (Attach-ment Unit Interface) довжиною до 50 м, що складається з 4 кручених пар. Тобто адаптор обов'язково повинен мати роз'єм AUI.

Трансівер - це частина мережевого адаптера, що виконує наступні функції:

- прийом і передача даних з кабелю на кабель;
- визначення колізій на кабелі;
- електрична розв'язка між кабелем і іншою частиною адаптера;
- захист кабелю від некоректної роботи адаптера.



Малюнок 1.8 – Фрагмент мережі, побудованої по стандарту 10Base-5

Стандарт 10Base-5 визначає можливість використання в мережі спеціального пристрою - повторювача (repeater). Повторювач служить для об'єднання в одну мережу декількох сегментів кабелю і збільшення тим самим загальної довжини мережі. Повторювач приймає сигнали з одного сегмента кабелю і побитно синхронно повторює їх в іншому сегменті, покращуючи форму і потужність імпульсів, а також синхронізуючи імпульси. Повторювач складається з двох (або декількох) трансиверів, які приєднуються до сегментів кабелю, а також блоку повторення зі своїм тактовим генератором.

Правило застосування повторювачів в мережі Ethernet 10Base-5 зветься «правило 5-4-3»: 5 сегментів, 4 повторювачі, 3 навантажених сегмента, тобто таких сегмента, до яких підключаються кінцеві вузли. При максимальній довжині сегмента кабелю в 500 м це дає максимальну довжину мережі 10Base-5 в 2500 метрів.

Обмежене число повторювачів пояснюється додатковими затримками поширення сигналу, які вони вносять.

До переваг стандарту 10Base-5 можна віднести:

- Хорошу захищеність кабелю від зовнішніх впливів;
- Порівняно велику відстань між вузлами;
- Можливість простого переміщення робочої станції в межах довжини кабелю АUI.

Недоліками 10Base-5 є:

- Висока вартість кабелю;
- Складність його прокладки через велику жорсткість;
- Потреба в спеціальному інструменті для закладення кабелю;
- Зупинка роботи всієї мережі при ушкодженні кабелю чи поганому з'єднанні;
- Необхідність заздалегідь передбачити підводку кабелю до всіх можливих місць установки комп'ютерів.

10Base-2

Стандарт 10Base-2 використовує в якості середовища коаксіальний кабель з діаметром центрального мідного дроту 0,89 мм і зовнішнім діаметром близько 5 мм («тонкий» коаксіал). Кабель має хвильовий опір 50 Ом.

Максимальна довжина сегмента без повторювачів складає 185 м, сегмент повинен мати на кінцях термінатори 50 Ом. Станції підключаються до кабелю за допомогою високочастотного BNC T-конектора, який являє собою трійник, один відвід якого з'єднується з мережним адаптером, а два інших - з двома кінцями розриву кабелю.

Стандарт 10Base-2 також передбачає використання повторювачів, число яких також не повинно перевищувати 4 штук. У цьому випадку мережа буде мати максимальну довжину в $5 \times 185 = 925$ метрів.

Трансивери об'єднані з мережевими адаптерами за рахунок того, що більш гнучкий тонкий коаксіальний кабель може бути підведений безпосередньо до вихідного роз'єму плати мережевого адаптера, встановленої в системний блок комп'ютера.

Загальним недоліком стандартів 10Base-5 і 10Base-2 є відсутність оперативної інформації про стан моноканалу. Пошкодження кабелю виявляється відразу ж, (мережа перестає працювати), але для пошуку відрізка кабелю необхідний спеціальний прилад - кабельний тестер.

10Base-T

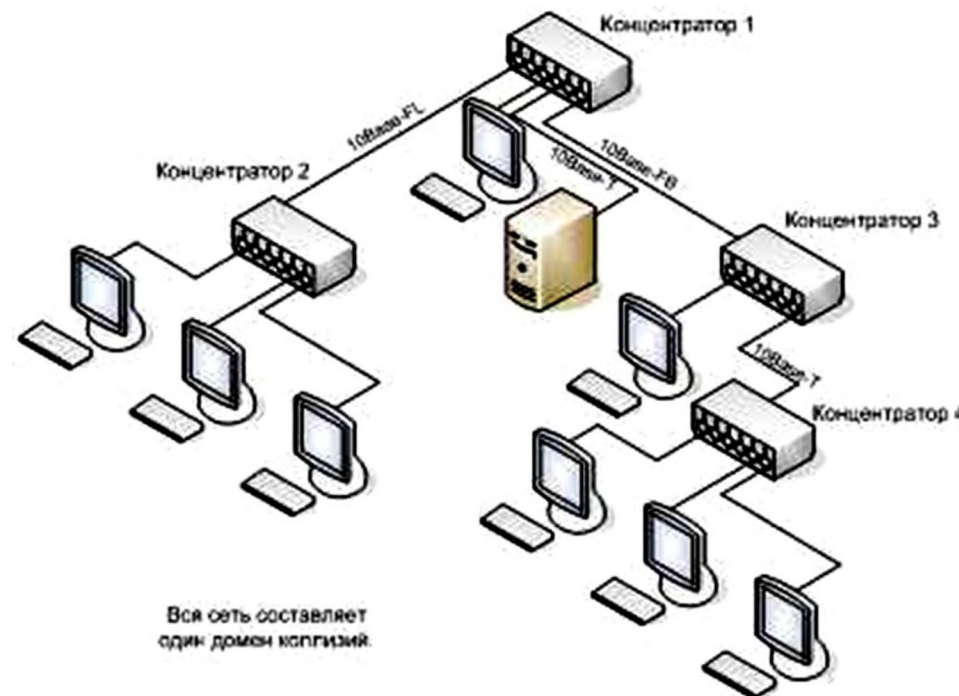
Мережі 10Base-T використовують в якості середовища дві неекрановані кручені пари (Unshielded Twisted Pair, UTP). Одна кручена пара потрібна для передачі даних від станції до повторювача (вихід Tx мережевого адаптера), а інша - для передачі даних від повторювача до станції (вхід Rx мережевого адаптера).

Багатопортові повторювачі при використанні технології 10Base-T зазвичай називаються концентраторами або хабами. Концентратор здійснює функції повторювача сигналів на всіх відрізках кручених пар, підключених до його портів, так що утворюється єдине середовище передачі даних - логічний моноканал (логічна загальна шина).

Стандарт визначає бітову швидкість передачі даних 10 Мбіт/с і максимальну відстань відрізка крученої пари між двома безпосередньо пов'язаними вузлами (станціями і концентраторами) не більше 100 м при наявності крученої пари якості не нижче категорії 3.

Концентратори 10Base-T можна з'єднувати один з одним за допомогою тих же портів, які призначені для підключення кінцевих вузлів. При цьому потрібно подбати про те, щоб передавач і приймач одного порту були з'єднані відповідно з приймачем і передавачем іншого порту.

Для забезпечення синхронізації станцій при реалізації процедур доступу CSMA/CD і надійного розпізнавання станціями колізій у стандарті визначено максимально число концентраторів між будь-якими двома станціями мережі, а саме 4. Це правило зветься «правило 4-х хабів» і воно замінює «правило 5-4-3», що застосовується до коаксіальних мереж. При створенні мережі 10Base-T з великим числом станцій концентратори можна з'єднувати один з одним ієрархічним способом, утворюючи деревоподібну структуру (див. Рис. 1.9).



Малюнок 1.9 – Ієрархічний спосіб побудови мережі Ethernet 10Base-T

Загальна кількість станцій в мережі 10Base-T не повинна перевищувати загальної межі в 1024. Максимальна довжина мережі в 2500 м тут розуміється як максимальна відстань між будь-якими двома кінцевими вузлами мережі - «максимальний діаметр мережі». Очевидно, що якщо між будь-якими двома вузлами мережі не повинно бути більше 4-х повторювачів, то максимальний діаметр мережі 10Base-T становить $5 \times 100 = 500$ метрів.

Мережі, побудовані на основі стандарту 10Base-T, мають порівняно з коаксіальними варіантами Ethernet багато переваг. Ці переваги пов'язані з поділом загального фізичного кабелю на окремі кабельні відрізки, підключені до центрального комунікаційного пристрою (хабу). Логічно ці відрізки, як і раніше, утворюють загальне поділюване середовище, але їх фізичний поділ дозволяє контролювати їх стан і відключати у разі обриву, короткого замикання або несправності мережевого адаптера. Ця обставина істотно полегшує експлуатацію великих мереж Ethernet, так як концентратор зазвичай

автоматично виконує такі функції, повідомляючи при цьому адміністратора мережі про виниклу проблему.

У стандарті 10Base-T визначена процедура тестування фізичної працездатності двох відрізків крученої пари, що з'єднують трансивер кінцевого вузла і порт повторювача. Поява між кінцевими вузлами активного пристрою, який може контролювати роботу вузлів і ізолювати від мережі некоректно працюючі, є головною перевагою технології 10Base-T у порівнянні зі складними в експлуатації коаксіальними мережами.

FOIRL

Стандарт FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link) являє собою перший стандарт комітету 802.3 для використання оптоволокна в мережах Ethernet. Він гарантує довжину оптоволоконного зв'язку між повторювачами до 1 км при загальній довжині мережі не більше 2500 м. Максимальне число повторювачів між будь-якими вузлами мережі - 4. Максимального діаметра в 2500 м тут досягти можна, хоча максимальні відрізки кабелю між усіма 4 повторювачами, а також між повторювачами і кінцевими вузлами неприпустимі - інакше вийде мережа довжиною 5000 метрів.

10Base-FL

Стандарт 10Base-FL представляє собою незначне поліпшення стандарту FOIRL. Збільшена потужність передавачів, тому максимальна відстань між вузлом і концентратором збільшилася до 2000 м. Максимальне число повторювачів між вузлами залишилося рівним 4, а максимальна довжина мережі - 2500 метрів.

3.2.6 10Base-FB

Стандарт 10Base-FB призначений тільки для з'єднання повторювачів. Кінцеві вузли не можуть використовувати цей стандарт для приєднання до портів концентратора. Між вузлами мережі можна встановити до 5 повторювачів 10Base-FB при максимальній довжині одного сегмента 2000 м і максимальній довжині мережі 2740 метрів.

Повторювачі, з'єднані за стандартом 10Base-FB, при відсутності кадрів для передачі постійно обмінюються спеціальними послідовностями сигналів, що відрізняються від сигналів кадрів даних, для підтримки синхронізації.

Як і в стандарті 10Base-T, оптоволоконні стандарти Ethernet дозволяють з'єднувати концентратори тільки в деревоподібні ієрархічні структури. Будь-які петлі між портами концентраторів не допускаються [2].

Фізичне середовище Fast Ethernet

Всі відмінності технології Fast Ethernet від Ethernet зосереджені на фізичному рівні (див. рис. 1.10). Рівні MAC і LLC у Fast Ethernet залишилися абсолютно тими ж, і їх описують колишні глави стандартів 802.3 і 802.2.



Малюнок 1.10 – Стэк протоколів Fast Ethernet

У порівнянні з варіантами фізичної реалізації Ethernet (а їх налічується шість), в Fast Ethernet відмінності кожного варіанта від інших глибше - змінюється як кількість провідників, так і методи кодування.

Офіційний стандарт 802.3u встановив три різних специфікації для фізичного рівня Fast Ethernet і дав їм наступні назви:

- 100Base-TX для двохпарного кабелю на неекранованій кручений парі UTP категорії 5 або екранованій кручений парі STP Type1;
- 100Base-T4 для чотирипарного кабелю на неекранованій кручений парі UTP категорії 3, 4 або 5;

- 100Base-FX для багатомодового оптоволоконного кабелю використовуються два волокна.

Формати кадрів технології Fast Ethernet не відрізняються від форматів кадрів технологій 10-мегабітного Ethernet.

Міжкадровий інтервал (IPG) дорівнює 0,96 мкс, а бітовий інтервал дорівнює 10 нс. Всі тимчасові параметри алгоритму доступу (інтервал відстрочки, час передачі кадру мінімальної довжини і т. п.), виміряні в бітових інтервалах, залишилися колишніми, тому зміни в розділі стандарту, що стосуються рівня MAC, не вносилися.

Ознакою вільного стану середовища є передача по ній символу Idle, відповідного надлишкового коду, а не відсутність сигналів, як в стандартах Ethernet 10 Мбіт / с.

Фізичний рівень включає три елементи:

- рівень узгодження (reconciliation sublayer);
- незалежний від середовища інтерфейс (Media Independent Interface, МІІ);
- пристрій фізичного рівня (Physical layer device, РНУ).

Рівень узгодження потрібний для того, щоб рівень MAC, розрахований на інтерфейс АUI, зміг працювати з фізичним рівнем через інтерфейс МІІ.

Пристрій фізичного рівня (РНУ) складається, в свою чергу, з декількох підрівнів (див. рис. 10):

- підрівня логічного кодування даних, що перетворює байти, що надходять від рівня MAC, в символи коду 4В/5В або 8В/6т (обидва коди використовуються в технології Fast Ethernet);

- Підрівнів фізичного приєднання і підрівня залежності від фізичного середовища (PMD), які забезпечують формування сигналів відповідно до методу фізичного кодування, наприклад NRZI або MLT-3;

- Підрівня автопереговорів, який дозволяє двом взаємодіючим портам автоматично вибрати найбільш ефективний режим роботи, наприклад, напівдуплексний або повнодуплексний.

Інтерфейс МП підтримує незалежний від фізичного середовища спосіб обміну даними між підрівнем MAC і підрівнем РНУ. Цей інтерфейс аналогічний за призначенням інтерфейсу АUI класичного Ethernet за винятком того, що інтерфейс АUI розташовувався між підрівнем фізичного кодування сигналу (для будь-яких варіантів кабелю використовувався однаковий метод фізичного кодування - манчестерський код) і підрівнем фізичного приєднання до середовища, а інтерфейс МП розташовується між підрівнем MAC і підрівнями кодування сигналу, яких у стандарті Fast Ethernet три - FX, TX і T4 [1].

Робота в повнодуплексному режимі

Як відомо, CSMA/CD - це методологія, на якій засновані напівдуплексний Ethernet і Fast Ethernet.

Робота в повнодуплексному режимі дозволяє передавати і приймати сигнали одночасно, завдяки чому більш повно використовуються можливості середовища передачі. Однак вимоги, що пред'являються до станцій, що працюють в повнодуплексному режимі, істотно змінюються.

Повнодуплексний режим застосовується лише до пристроїв, сполучених за схемою "точка-точка". В домен колізій може входити тільки один інший пристрій. Станції, підключені до концентраторів (хабів), повторювачів і т. п., не можуть функціонувати в повнодуплексному режимі. Станції, безпосередньо

з'єднані одна з одною (connected back-to-back), здатні працювати в повнодуплексному режимі.

Повнодуплексний режим роботи дозволяє технологіям Ethernet уникнути обмежень на відстань передачі, характерних для напівдуплексного режиму. Переваги від збільшення відстані можна реалізувати тільки за допомогою волоконно-оптичного інтерфейсу (використовується в технології 100BASE-FX), оскільки обмеження на максимальну відстань при використанні кабелів на основі витих пар, обумовлені фізичними властивостями середовища передачі, а не діаметром мережі, який обмежено інтервалом Ethernet або Fast Ethernet.

Повнодуплексні пристрої не можуть працювати спільно з напівдуплексними. Головна проблема мереж з різнорідним середовищем передачі складається у виникненні "помилки дуплексної неузгодженості" (duplex mismatch errors). Ці помилки з'являються при з'єднанні напівдуплексної і повнодуплексних станцій. В результаті виникає безліч помилок при передачі пакетів, таких як запізнена колізія і загублені пакети.

Повнодуплексні пристрої починають передавати дані, як тільки можуть зробити це, не контролюючи наявності несучої в середовищі передачі. Якщо напівдуплексний пристрій передає в цей час інформацію, виникає колізія, яку повнодуплексний пристрій не виявляє. Тому так важливо звіряти режими роботи пристроїв, входять в мережу, для чого використовується функція автопереговорів, про яку буде розказано нижче. [3]

100Base-FX

Ця специфікація визначає роботу протоколу Fast Ethernet по багатомодовому оптоволокну в напівдуплексному і повнодуплексному режимах на основі добре перевіреної схеми кодування FDDI. Як і в стандарті FDDI,

100Base-TX

Як середовище передачі даних специфікація 100Base-TX використовує кабель UTP категорії 5 або кабель STP Type 1. Максимальна довжина кабелю в обох випадках - 100 метрів.

У стандарті Fast Ethernet 100Base-TX визначено метод кодування - 4В/5В. Формат кадру в даній специфікації аналогічний формату кадру 100Base-FX.

Основні відмінності від специфікації 100Base-FX - використання методу MLT-3 для передачі сигналів 5-бітових порцій коду 4В/5В по кручений парі, а також наявність функції автопереговорів (Auto-negotiation) для вибору режиму роботи порту. Схема автопереговорів дозволяє двом фізично з'єднаним пристроям, які підтримують декілька стандартів фізичного рівня, що відрізняються бітовою швидкістю і кількістю кручених пар, вибрати найбільш вигідний режим роботи. Зазвичай процедура автопереговорів відбувається при приєднанні мережевого адаптера, який може працювати на швидкостях 10 і 100 Мбіт/с, до концентратора або комутатора.

Всього в даний час визначено 5 різних режимів роботи, які можуть підтримувати пристрої 100Base-TX або 100Base-T4 на кручених парах:

- 10Base-T - 2 пари категорії 3;
- 10Base-T повний дуплекс - 2 пари категорії 3;
- 100Base-TX - 2 пари категорії 5 (або Type 1A STP);
- 100Base-T4 - 4 пари категорії 3;
- 100Base-TX повний дуплекс - 2 пари категорії 5 (або Type 1A STP).

Режим 10Base-T має найнижчий пріоритет при переговорному процесі, а повнодуплексний режим 100Base-T4 - найвищий. Переговорний процес

відбувається при включенні живлення пристрою, а також може бути ініційований в будь-який момент модулем управління пристрою.

Пристрій, що почав процес auto-negotiation, посилає своєму партнеру пачку спеціальних імпульсів Fast Link Pulse burst (FLP), в якому міститься 8-бітове слово, що кодує пропонований режим взаємодії, починаючи з самого пріоритетного, підтримуваного даним вузлом. Якщо вузол-партнер підтримує функцію auto-negotiation і також може підтримувати запропонований режим, він відповідає пачкою імпульсів FLP, в якій підтверджує даний режим, і на цьому переговори закінчуються. Якщо ж вузол-партнер може підтримувати менш пріоритетний режим, то він вказує його у відповіді, і цей режим вибирається в якості робітника. Таким чином, завжди вибирається найбільш пріоритетний загальний режим вузлів.

100Base-T4

Специфікація 100Base-T4 розроблена для того, щоб можна було використовувати наявну проводку на кручений парі категорії 3 для передачі на швидкості 100 Мбіт/с. Ця специфікація дозволяє підвищити загальну пропускну здатність за рахунок одночасної передачі потоків біт за всіма 4 парами кабелю.

Замість кодування 4В/5В в цьому методі використовується кодування 8В/6Т, яке має більш вузький спектр сигналу і при швидкості 33 Мбіт/с укладається в смугу 16 МГц крученої пари категорії 3 (UTP 3).

Кожні 8 біт інформації рівня MAC кодуються 6-ма трійковими цифрами (ternary symbols), тобто цифрами, що мають три стани. Кожна трійчна цифра має тривалість 40 нс. Група з 6-ти трійкових цифр потім передається на одну з трьох передавальних кручених пар, незалежно і послідовно.

Четверта пара завжди використовується для прослуховування несучої частоти з метою виявлення колізії. Швидкість передачі даних по кожній з трьох

передавальних пар дорівнює 33,3 Мбіт/с, тому загальна швидкість протоколу 100Base-T4 становить 100 Мбіт / с [2].

Фізичне середовище Gigabit Ethernet

Відзначимо загальні риси в технології Gigabit Ethernet в порівнянні з технологіями Ethernet і Fast Ethernet:

- Зберігаються всі формати кадрів Ethernet;
- Як і раніше, існують напівдуплексна версія протоколу, що підтримує метод доступу CSMA/CD, і повнодуплексна версія, що працює з комутаторами;
- Підтримуються всі основні види кабелів, які використовуються в Ethernet і Fast Ethernet: волоконно-оптичний, кручена пара категорії 5 і коаксіал.

При розробці стандарту Gigabit Ethernet стояло кілька важко вирішуваних проблем. Однією з них була задача забезпечення прийнятної діаметру мережі для полудуплексного режиму роботи. У зв'язку з обмеженнями, що накладаються методом CSMA/CD на довжину кабелю, версія Gigabit Ethernet для розділяється середовища допускала б довжину сегмента усього в 25 метрів при збереженні розміру кадрів і всіх параметрів методу CSMA/CD незмінними.

Іншим складним завданням було досягнення бітової швидкості 1000 Мбіт/с на основних типах кабелів. Навіть для оптоволоконна досягнення такої швидкості представляє деякі проблеми, так як технологія Fibre Channel, фізичний рівень якої був узятий за основу для оптоволоконної версії Gigabit Ethernet, забезпечує швидкість передачі даних всього в 800 Мбіт/с. Бітова швидкість на лінії дорівнює в цьому випадку приблизно 1000 Мбіт/с, але при методі кодування 8В/10В корисна бітова швидкість на 25% менше швидкості імпульсів на лінії.

І нарешті, найскладніше завдання - підтримка кабелю на кручений парі. Ця проблема була вирішена за рахунок застосування новітніх способів кодування сигналів, для того щоб спектр сигналу не виходив за межі смуги пропускання кабелю.

Для розширення максимального діаметра мережі Gigabit Ethernet в напівдуплексному режимі до 200 метрів мінімальний розмір кадру був збільшений (без урахування преамбули) з 64 до 512 байт або до 4096 bt. Відповідно, час подвійного обороту тепер також можна було збільшити до 4095 bt, що робить допустимим діаметр мережі близько 200 м при використанні одного повторювача.

Для збільшення довжини кадру до необхідної величини мережевий адаптер повинен доповнити поле даних до довжини 448 байт так званім розширенням (extention), що представляє собою поле, заповнене забороненими символами коду 8В/10В, які неможливо прийняти за коди даних.

Для скорочення накладних витрат при використанні занадто довгих кадрів для передачі коротких квитанцій розробники стандарту дозволили кінцевим вузлам передавати кілька кадрів підряд, без передачі середовища іншим станціям. Такий режим отримав назву Burst Mode - монопольний пакетний режим. Станція може передати підряд кілька кадрів з загальною довжиною не більше 65536 біт або 8192 байт. Якщо станції потрібно передати кілька невеликих кадрів, то вона може не доповнювати їх до розміру 512 байт, а передавати поспіль до межі вичерпання в 8192 байт (в цю межу входять всі байти кадру, в тому числі преамбула, заголовок, дані і контрольна сума). Межа 8192 байт називається Burst Length. Якщо станція почала передавати кадр і межа Burst Length була досягнена в середині кадру, то кадр дозволяється передати до кінця.

1000Base-X

Специфікація 1000BASE-X передбачає використання середовища у вигляді оптичних волокон. В основі цього стандарту лежить технологія, заснована на стандарті ANSI Fibre Channel (ANSI X3T11).

Технологія 1000BASE-X допускає використання трьох різних середовищ передачі, звідси три різновиди: 1000BASE-SX, 1000BASE-LX і 1000BASE-CX.

1000Base-SX

Найбільш часто використовувана і найдешевша технологія на основі стандартного многомодового волокна. Максимальна відстань для 1000BASE-SX становить 220 метрів. Використовується довжина хвилі 850 нм, S означає Short Wavelength - коротка хвиля.

Очевидно, що це значення може досягатися тільки при півнодуплексній передачі даних, так як час подвійного обороту сигналу на двох відрізках по 220 метрів рівний 4400 bt, що перевищує ліміт 4095 bt навіть без урахування повторювача і мережевих адаптерів. Для напівдуплексної передачі максимальні значення сегментів оптоволоконного кабелю завжди повинні бути менше 100 метрів.

1000Base-LX

Технологія 1000BASE-LX зазвичай використовується з одномодовими волокнами, тут допустима відстань складає 5 кілометрів. Специфікація 1000Base-LX може працювати і на многомодовому кабелі. У цьому випадку гранична відстань виходить невеликою - 550 метрів.

Для специфікації 1000Base-LX в якості джерела випромінювання завжди застосовується напівпровідниковий лазер з довжиною хвилі 1300 нм.

1000Base-CX

Технологія 1000BASE-CX використовує найбільш своєрідне середовище з трьох. Це засноване на застосуванні рішення, в якому використовуються кабелі, виконані на основі попередньо закручених (presrimped) екранованих кручених пар.

З'єднувач - не простий RJ-45, що часто використовується в 10/100/1000Base-T. Замість нього використовується DB-9 або HSSDS, що завершують ці дві пари проводів. Технологія 1000BASE-CX працює на відстанях до 25 м, що обмежує її застосування невеликими площами. [3]

1000Base-T

Специфікація 1000Base-T працює по кручений парі категорії 5.

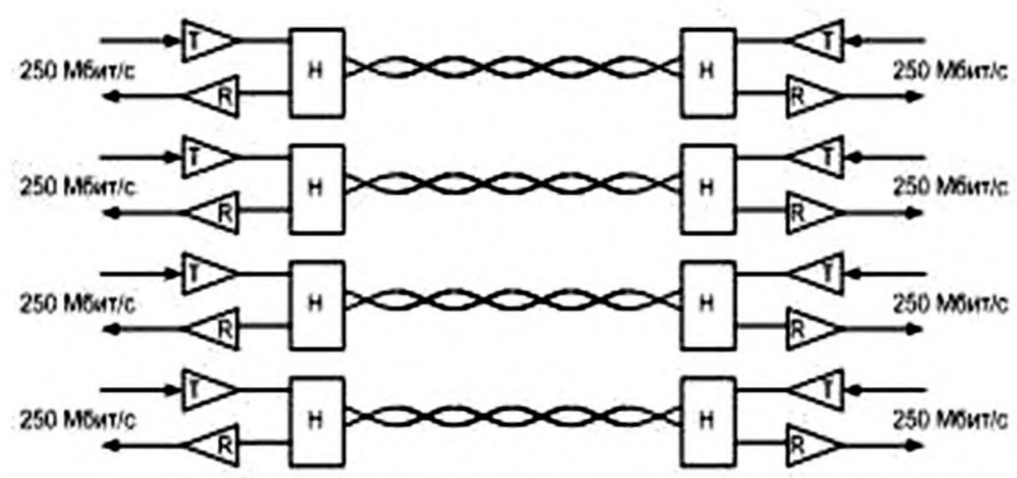
Кожна пара кабелю категорії 5 має гарантовану смугу пропускання до 100 МГц. Для передачі по такому кабелю даних зі швидкістю 1000 Мбіт/с було вирішено організувати паралельну передачу одночасно по всім 4 парам кабелю.

Це відразу зменшило швидкість передачі даних по кожній парі до 250 Мбіт/с.

Для кодування даних був застосований код PAM5, який використовує 5 рівнів потенціалу: -2, -1, 0, +1, +2. Тому за один такт по одній парі передається 2,322 біт інформації. Отже, тактову частоту замість 250 МГц можна знизити до 125 МГц. При цьому, якщо використовувати не всі коди, а передавати 8 біт за такт (по 4 парам), то витримується необхідна швидкість передачі в 1000 Мбіт/с і ще залишається запас невикористовуваних кодів, так як код PAM5 містить $5^4 = 625$ комбінацій, а якщо передавати за один такт по всіх чотирьох парах 8 біт даних, то для цього потрібно всього $2^8 = 256$ комбінацій. Решту комбінацій

приймач може використовувати для контролю інформації, що приймається і виділення правильних комбінацій на фоні шуму. Код PAM5 на тактовій частоті 125 МГц укладається в смугу 100 МГц кабелю категорії 5.

Для розпізнавання колізій і організації півнодуплексного режиму в специфікації застосовується техніка, при якій обидва передавачі працюють назустріч один одному по кожній з 4-х пар в одному і тому ж діапазоні частот, так як використовують один і той же потенційний код PAM5 (рис. 1.12). Схема гібридної розв'язки Н дозволяє приймачу і передавачу одного і того ж вузла використовувати одночасно виту пару і для прийому, і для передачі.



Малюнок 1.12. Двоспрямована передача по 4 парах UTP cat5 в Gigabit Ethernet

Для відділення сигналу, що приймається, від свого власного приймач віднімає з результуючого сигналу відомий йому свій сигнал. Це не проста операція, і для її виконання використовуються спеціальні цифрові сигнальні процесори - DSP (Digital Signal Processor) [1].

1.2 Технологія Wi-Fi

1.2.1 Специфікації IEEE для локальних бездротових мереж

Стандарт Ethernet 802.3 еволюціонував довгі роки, перш ніж до нього увійшли стандарти Fast Ethernet і Gigabit Ethernet. Аналогічним чином еволюціонував бездротовий Ethernet стандарту 802.11.

Набір стандартів 802.11 насправді визначає цілий ряд технологій реалізації фізичного рівня (PHY), які можуть бути використані під рівнем 802.11 MAC:

- Рівень PHY стандарту 802.11 зі стрибкоподібним переналаштуванням частоти (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) в діапазоні 2,4 ГГц;
- Рівень PHY стандарту 802.11 з розширенням спектра методом прямої послідовності (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) в діапазоні 2,4 ГГц;
- Рівень PHY стандарту 802.11b з розширенням спектра методом прямої послідовності в діапазоні 2,4 ГГц;
- Рівень PHY стандарту 802.11a з поділом по ортогональних частотах (Orthogonal Frequency Division Multiplexion, OFDM) в діапазоні 5 ГГц;
- Розширений фізичний рівень (Extended Rate Physical (ERP) layer) стандарту 802.11g в діапазоні 2,4 ГГц.

Між кабельними мережами Ethernet і бездротовими мережами Wi-Fi є багато спільного, але багато і відмінностей. Наприклад, різні середовища передачі даних, які вимагають принципово різного підходу до способів передачі і кодування даних, тобто до безпосередньої підготовки даних для передачі. Тому основні відмінності між кабельними і бездротовими мережами

сконцентровані саме на фізичному підрівні (Physical Layer, PHY) і підрівні доступу до середовища передачі даних (Medium Access Control, MAC).

Теоретичні аспекти функціонування мереж Wi-Fi регламентовані стандартом IEEE 802.11 і його розширеннями IEEE 802.11a/b/g. Саме в цих стандартах визначається порядок організації бездротових мереж на рівні доступу до середовища передачі даних і на фізичному рівні.

Спочатку стандарт IEEE 802.11 припускав можливість передачі даних по радіоканалу на швидкості 1 Мбіт/с і опціонально на швидкості 2 Мбіт/с. У більш пізньої версії IEEE 802.11b, що є доповненням до основного стандарту, визначається швидкість передачі 1, 2, 5.5 і 11 Мбіт/с. Стандарт 802.11g є логічним розвитком 802.11b і передбачає передачу даних в тому ж частотному діапазоні, але з максимальною швидкістю передачі 54 Мбіт/с. Аналогічну швидкість рекомендує стандарт 802.11a, але вже в іншому частотному діапазоні 5 ГГц (від 5,15 до 5,350 ГГц і від 5,725 до 5,825 ГГц).

1.2.2 Концепції бездротових фізичних рівнів

Основне призначення фізичних рівнів стандарту 802.11 - забезпечити механізми бездротової передачі для підрівня MAC, а також підтримувати виконання вторинних функцій, таких як оцінка стану бездротової середовища і повідомлення про нього підрівню MAC.

Стандарт 802.11 удосконалив як підрівень MAC, так і підрівень PHY, а також підтримуваний ним інтерфейс. Саме незалежність між MAC і підрівнем PHY і дозволила використовувати додаткові високошвидкісні фізичні рівні, описані в стандартах 802.11b, 802.11a і 802.11g.

Кожен з фізичних рівнів стандарту 802.11 має два підрівні:

- Physical Layer Convergence Procedure (PLCP). Процедура визначення стану фізичного рівня;
- Physical Medium Dependent (PMD). Підрівень фізичного рівня, який залежить від середовища передачі.

На малюнку 1.13 показано, як ці підрівні співвідносяться між собою і з вищестоящими рівнями.



Малюнок 1.13. Підрівні рівня PHY еталонної моделі взаємодії відкритих систем EMBBC (OSI)

Підрівень PLCP по суті є рівнем забезпечення взаємодії, на якому здійснюється переміщення елементів даних протоколу MAC (MAC protocol data units, MPDU) між станціями з використанням підрівня PMD, на якому реалізується той чи інший метод передачі і прийому даних через бездротову середу.

Підрівень PMD виконує функцію служби бездротової передачі; взаємодія цих служб здійснюється за допомогою PLCP. Підрівні PLCP і PMD відрізняються для різних варіантів стандарту 802.11 [4].

Технологія розширення спектра

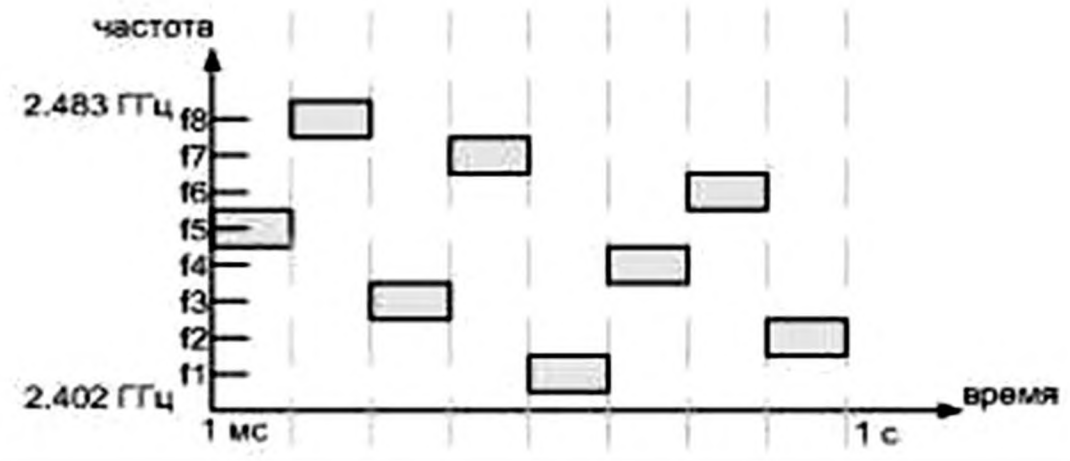
На фізичному рівні стандарту IEEE 802.11 передбачено два методи передачі:

- Технологія розширення спектра шляхом стрибкоподібного переналаштування частоти (FHSS) в діапазоні 2,4 ГГц, що розрізняються способом модуляції, але використовують одну і ту ж технологію розширення спектру.

- Технологія широкосмугової модуляції з розширенням спектра методом прямої послідовності (DSSS) в діапазоні 2,4 ГГц.

Локальні бездротові мережі зі стрибкоподібним переналаштуванням частоти (FHSS)

Локальні бездротові мережі FHSS підтримують швидкості передачі 1 і 2 Мбіт/с. Пристрої FHSS здійснюють стрибкоподібне переналаштування частоти за зумовленою схемою, як показано на рис. 1.14. Пристрої FHSS ділять призначену для їх роботи смугу частот від 2,402 до 2,483 ГГц на 79 каналів, що не перекриваються. Ширина кожного з 79 каналів становить 1 МГц, тому локальні бездротові мережі FHSS використовують відносно високу швидкість передачі символів, 1 МГц, і набагато меншу швидкість перебудови з каналу на канал.



Малюнок 1.14 – Приклад стрибкоподібного переналаштування частоти

Послідовність переналаштування частоти повинна мати такі параметри: частота пересkokів не менше 2,5 разів в секунду як мінімум між 6-ма (6 МГц) каналами. Щоб мінімізувати число колізій, між зонами покриття, що перекриваються, можливі послідовності пересkokів повинні бути розбиті на три набори послідовностей, довжина яких становить 26 послідовностей чисел.

При використанні на фізичному рівні сигналів з псевдовипадковим переналаштуванням частоти (FHSS) кадр фізичного рівня має структуру, представлену на рис. 1.15.



Малюнок 1.15 – Структура кадра фізичного рівня FHSS

Поле Sync розміром 80 біт. Рядок, що складається з 0 і 1, що чергуються, починається з 0. Приймальна станція використовує це поле, щоб прийняти

рішення про вибір антени при наявності такої можливості, відкоригувати вихід частоти (frequency offset) і синхронізувати розподіл пакетів (packet timing).

Поле прапора початку фрейма (start of frame delimiter, SFD) розміром 16 біт. Складається з специфічного рядка (0000 1100 1011 1101, крайній зліва біт перший) для забезпечення синхронізації фреймів (frame timing) для приймальної станції, по ній визначається перший біт даних.

Слово довжини службового елемента даних PLCP (PSDU) - PSDU length word (PLW) розміром 12 біт. Вказує розмір кадру MAC (PSDU) в октетах. Максимально можлива довжина поля даних 4095 байт.

Сигнальне поле PLCP (signaling field PLCP, PSF) розміром 4 біт. Вказує швидкість передачі даних конкретного фрейма.

В поле контролю помилок буде переданий результат завадостійкого кодування з утворюючим поліномом $g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$, що дозволяє виявляти помилки в заголовку кадру.

Передані дані фізичного рівня поміщаються в поле даних.

Підрівень PLCP перетворює кадр в потік бітів і передає його на підрівень PMD. Підрівень PMD технології FHSS модулює потік даних з використанням модуляції, заснованої на гауссовім перемиканні частот (Gaussian frequency shift keying, GFSK).

Двійкові значення 0 і 1 передаються синусоїдальним сигналом з відповідними частотами f_1 і f_2 . Період передачі одного символу обумовлює тривалість передачі синусоїдального сигналу однієї частоти. Часто, замість того щоб вказувати значення двох частот в абсолютних величинах, їх вказують відносно несучої частоти f_c , наприклад $f_1 = f_c - f_d$ і $f_2 = f_c + f_d$.

Одним з переваг частотної маніпуляції є легкість реалізації відповідних передавача і приймача, оскільки модуль сигналу залишається постійним і ніяка інформація не переноситься амплітудою сигналу. Це дозволяє передавати велику середню потужність при однаковій піковій. Однак частотна маніпуляція має також кілька серйозних недоліків, не останнім з яких є неефективне використання смуги пропускання.

Одна з серйозних задач, яку має вирішувати модулятор FSK - обробка процесу передачі 0, наступного відразу ж після 1. При цьому потрібно, щоб частота сигналу миттєво змінилася зі значення $f_c - f_d$ на значення $f_c + f_d$. Це призводить до переривчастості зміни вихідного сигналу, під час якого виділяється багато енергії на частотах, що виходять за рамки частотного діапазону.

Щоб впоратися з цією проблемою, доводиться фільтрувати сигнал, що надходить на частотний модулятор, це дозволяє згладити переходи з частоти $f_c - f_d$ на частоту $f_c + f_d$. У разі використання модуляції GFSK використовується гаусів фільтр, найменування f_d походить від терміна "девіація частоти". Стандарт 802.11 вказує, що вона повинна становити не менше 110 кГц. При роботі на швидкості 2 Мбіт/с використовується модуляція 4GFSK; в цьому випадку два біта модулюють сигнал одночасно з використанням двох девіацій частоти, як показано в таблиці 3.

Таблиця 1.3 – Перетворення символів в частоту при модуляції 4GFSK

Символ	Частота
10	$f_c + f_{d2}$
11	$f_c + f_{d1}$
01	$f_c - f_{d1}$
00	$f_c - f_{d2}$

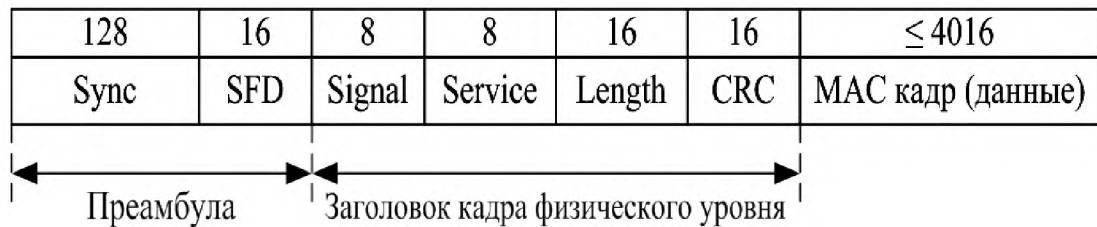
Однак технологія FHSS має ряд недоліків:

- Ця технологія не забезпечує якість високошвидкісної передачі даних, яка була характерна для провідних локальних мереж;
- Хоча для використання в послідовності перебудови частот були доступні 79 каналів, сигнал може перемикатися на частоти по всьому діапазону ISM, незалежно від того, чи є поблизу інші пристрої, що працюють в цьому діапазоні. Т.ч. якщо перешкоди відбуваються на половині частот діапазону, і робота ведеться на швидкості 1 Мбіт/с, половину часу передача інформації буде здійснюватися по каналах, які зашумлені настільки, що фактично інформація прийнята не буде. А це означає, що реальна швидкість передачі складе тільки 500 Кбіт/с;
- Не передбачено ніякого механізму для координації або синхронізації послідовностей перемикання частоти для сусідніх точок доступу. Їх послідовності перемикання можуть перекриватися, створюючи взаємні перешкоди [5].

Локальні бездротові мережі, що використовують широкосмугову модуляцію DSSS з розширенням спектру методом прямої послідовності

Локальні бездротові мережі DSSS використовують канали шириною 22 МГц, завдяки чому багато WLAN можуть працювати в одній і тій же зоні покриття. Це дозволяє створити в діапазоні 2,4-2,483 ГГц три канали передачі, що не перекриваються. Аналогічно підрівню PLCP, використовуваному в технології FHSS, підрівень PLCP технології DSSS стандарту 802.11 додає два

поля в кадр MAC: преамбулу PLCP і заголовок PLCP. Формат фрейма представлений на рис. 1.16.



Малюнок 1.16 – Структура кадру фізичного рівня DSSS

Поле Sync довжиною 128 біт являє собою рядок, що складається з одиниць. Задача цього підполя - забезпечити точну синхронізацію для приймальної і передавальної станції.

У преамбулу кадру (144 біта) входить покажчик початку кадру або стартова послідовність. Передбачається, що до її початку синхронізація досягнута. Стартова послідовність дозволяє жорстко прив'язатися до початкового біту кадру (перший біт заголовку кадру).

У заголовок кадру (48 біт) входять покажчик типу сигналу, поле послуг (не використовується і є резервним), покажчик довжини поля даних і поле контролю парності.

Поле Signal довжиною 8 біт, що вказує тип модуляції і швидкість передачі для даного кадру. Містить інформацію про те, який з сигналів DBPSK або DQPSK використовується і, відповідно, яка швидкість передачі інформації - 1 або 2 Мбіт/с.

Поле Service довжиною 8 біт, зарезервоване. Це означає, що під час розробки специфікації стандарту воно залишилося невизначеним; передбачається, що воно стане в нагоді в майбутніх модифікаціях стандарту.

Поле Length довжиною 16 біт, що вказує кількість мікросекунд (з діапазону 16 ч (216-1)), необхідне для передачі частини MAC кадру.

Поле CRC довжиною 16 біт, що забезпечує результуюче значення затвердженого ITU-T Міжнародним телекомунікаційним союзом кодом перевірки на парність з утворюючим поліномом

$$g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \text{ CRC-16,}$$

який застосовується по відношенню до полів заголовка PLCP.

За полем контролю парності слідує дані, що передаються на фізичному рівні. В даному випадку це інформація MAC протоколу обміну даних (MPDU).

Підрівень PLCP перетворює фрейм в потік бітів і передає дані на підрівень PMD. Підрівень PMD модулює вибілений потік бітів, використовуючи такі методи модуляції:

- Двойкова відносна фазова маніпуляція (Differential Binary Phase Shift Keying, DBPSK) для швидкості передачі 1 Мбіт/с;
- Квадратурна фазова маніпуляція (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK) для швидкості передачі 2 Мбіт/с [6].

1.2.3 Локальні бездротові мережі стандарту 802.11b

Стандарт 802.11b, що з'явився в 1999 році, регламентував правила використання високошвидкісної технології DSSS (HR-DSSS). Вона забезпечувала швидкість передачі в локальних бездротових мережах ISM-діапазону 2,4 ГГц аж до 5,5 і 11 Мбіт/с. При цьому використовується кодування з використанням комплементарних кодів (Complementary Code Keying, CCK) або технологія довічного пакетного **сверточного** кодування (Packet Binary Convolutional Coding, PBCC). В технології HR-DSSS використовується та ж

схема організації каналів, що і в технології DSSS, - смуга частот шириною 22 МГц, 11 каналів, 3 канали, що не перекриваються, ISM-діапазон 2,4 ГГц.

Підрівень PLCP технології HR-DSSS стандарту 802.11b

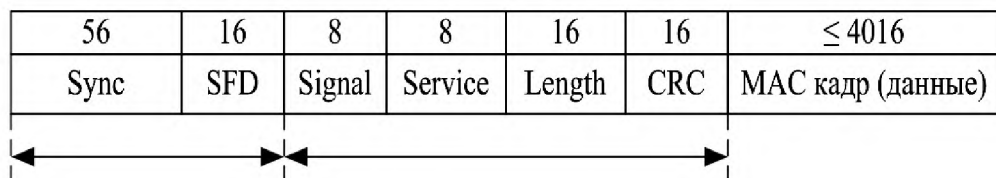
Підрівень PLCP технології HR-DSSS використовує кадри PPDU двох типів: довгий і короткий. Преамбула і заголовок довгого кадру підрівня PLCP технології HR-DSSS завжди передаються зі швидкістю 1 Мбіт/с - для забезпечення зворотної сумісності з технологією DSSS. Довгий кадр підрівня PLCP технології HR-DSSS майже такий же, як кадр підрівня PLCP в технології DSSS, але з невеликими розширеннями, які забезпечують підвищені швидкості передачі даних:

- У поле Signal можуть бути вказані додаткові швидкості передачі даних - 5,5 і 11 Мбіт/с;
- Поле Service визначає раніше зарезервовані біти;
- Поле Length, як і раніше, вказує кількість мікросекунд, необхідних для передачі PSDU.

Короткий кадр PLCP PPDU забезпечує засіб для мінімізації числа службових сигналів, які все ще дозволяють, однак, передавачу і приймачу зв'язуватися один з одним належним чином. Короткий кадр, який використовується в технології HR-DSSS стандарту 802.11b, показаний на рис. 1.17. Він використовує ті ж преамбулу, заголовок і формат PSDU, але заголовок PLCP передається на швидкості 2 Мбіт/с, в той час як PSDU передається зі швидкістю 2, 5,5 або 11 Мбі/с. Крім того, його підполя модифіковані таким чином:

- Ширина поля Sync скорочена з 128 до 56 біт; воно являє собою рядок, що складається з одних нулів;

- Поле SFD має довжину 16 біт і виконує ту ж функцію вказівки на початок фрейму, але також вказує на використання довгих або коротких заголовків. У разі коротких заголовків 16 біт передається в порядку, зворотному по відношенню до довгих заголовків [3].



Малюнок 1.17 – Короткий елемент даних протоколу PLCP

Модуляція ССК на підрівні PMD стандарту 802.11b

Для досягнення швидкостей 5,5 і 11 Мбіт/с застосовується метод розширення спектра за допомогою компліментарних кодів. Але при використанні модуляції ССК розширюючий код є код з 8 комплексних чипів (complex chip), в той час як при роботі зі швидкостями 1 і 2 Мбіт/с застосовується 11-розрядний код. 8-чиповий код визначається або 4, або 8 бітами - в залежності від швидкості передачі даних.

Для того щоб передавати дані зі швидкістю 5,5 Мбіт/с, потрібно згрупувати скрембльований потік бітів в символи по 4 біта (b0, b1, b2 і b3). Останні два біти (b2 і b3) використовуються для визначення 8 послідовностей комплексних чипів, як показано в таблиці 4, де {c1, c2, c3, c4, c5, c6, c7, c8} представляють чіпи послідовності. У таблиці 1.4 j являє уявне число, корінь

квадратний $z - 1$, і відкладається по уявній, або квадратурній осі комплексної площини.

Таблиця 1.4 – Послідовність чіпів ССК

(b2, b3)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
00	j	1	j	-1	j	1	-1	1
01	-j	-1	-j	1	j	1	-j	1
10	-j	1	-j	-1	-j	1	j	1
11	j	-1	j	1	-j	1	1	1

Маючи послідовність чіпів, визначену бітами (b2, b3), можна використовувати перші два біта (b0, b1) для визначення повороту фази, що здійснюється при модуляції по методу DQPSK, який буде застосований до послідовності (див. таблицю 1.5). Кожен 4-бітовий символ PSDU нумерується, починаючи з 0, щоб можна було визначити, перетворюється парний або непарний символ відповідно до цієї таблиці.

Таблиця 1.5 - Поворот фази при модуляції ССК

(b0, b1)	Изменение фазы четных символов	Изменение фазы нечетных символов
00	0 (0 градусів)	(180 градусів)
01	(90 градусів) - $\frac{\pi}{2}$ (-90	

	градусов)	
11	π (180 градусів) 0 (0 градусів)	
10	$-\pi/2$ (-90 градусів) $\pi/2$ (90 градусів)	

Це обертання фази застосовується по відношенню до 8 комплексних чіпів символу, потім здійснюється модуляція на несучій частоті, що підходить.

Щоб передавати дані зі швидкістю 11 Мбіт/с, скрембльована послідовність бітів PSDU розбивається на групи по 8 символів.

Останні 6 бітів вибирають одну послідовність, що складається з 8 комплексних чіпів, з числа 64 можливих послідовностей, майже так само, як використовувалися біти (b2, b3) для вибору однієї з чотирьох можливих послідовностей. Біти (b0, b1) використовуються таким же чином, як при модуляції ССК на швидкості 5,5 Мбіт/с для обертання фази послідовності і подальшої модуляції на частоті, що підходить.

1.2.4 Локальні бездротові мережі стандарту 802.11a

Розглянутий стандарт 802.11b забезпечує максимальну швидкість передачі даних до 11 Мбіт/с в частотному діапазоні 2,4 ГГц (від 2,4 до 2,4835 ГГц). Але при використанні технології розширення спектру DSSS на частотах близько 2,4 ГГц можуть виникати проблеми через перешкоди, породжувані іншими побутовими бездротовими пристроями, зокрема мікрохвильовими печами та радіотелефонами. Крім того, деякі програми і обсяги переданих по мережі даних нерідко вимагають більшої пропускної здатності, ніж може запропонувати стандарт 802.11b.

З метою подолання обмеженості смуги частот (2,4 ... 2,4835 ГГц) розробка устаткування проводилася в діапазоні 5 ГГц, де виявилось можливим виділення більш широкої смуги частот, що перевищує 100 МГц.

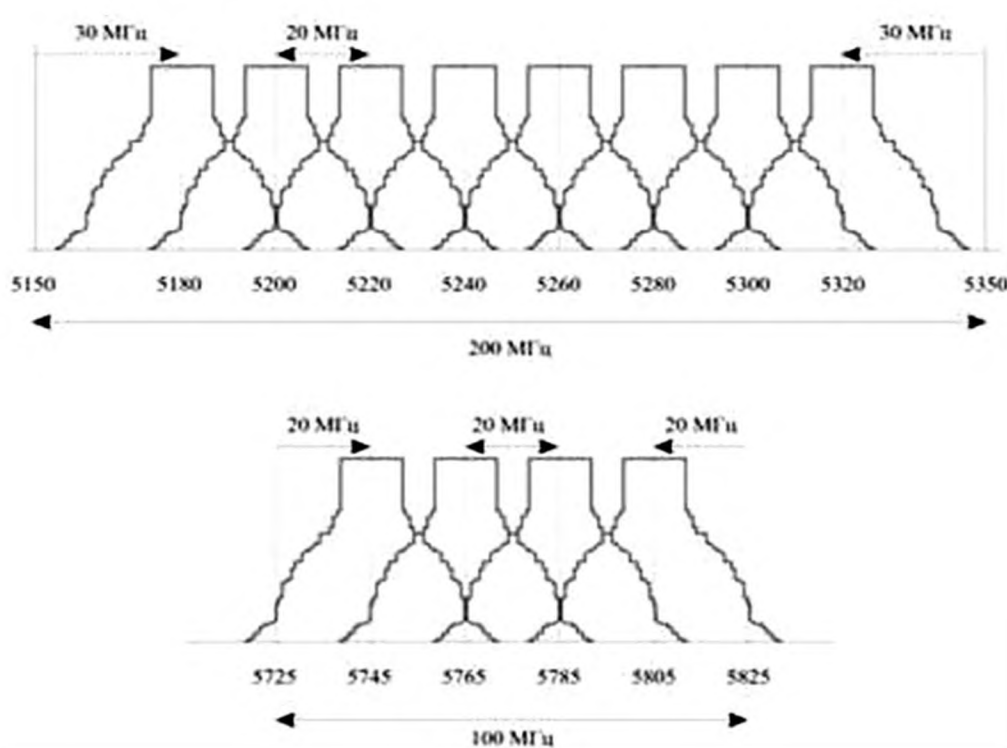
У проекті стандарту 802.11a було запропоновано використовувати фізичний канал, в якому використовується технологія мультиплексування з поділом по ортогональних частотах (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) в діапазоні 5 ГГц. Він визначав швидкості передачі до 24 Мбіт/с і опціонально - до 54 Мбіт/с у безліцензійних діапазонах національної інформаційної інфраструктури США UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) 5,15 - 5,25 ГГц, 5,25 - 5,35 ГГц і 5,725 - 5,825 ГГц.

Частотний діапазон UNII розбитий на три 100-мегагерцевих піддіапазону, що розрізняються обмеженнями по максимальній потужності випромінювання (див. таблицю 6). Нижчий діапазон (від 5,15 до 5,25 ГГц) передбачає потужність всього 50 мВт, середній діапазон (від 5,25 до 5,35 ГГц) - 250 мВт, а верхній діапазон (від 5,725 до 5,825 ГГц) - 1 Вт (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Частотний діапазон стандарту IEEE 802.11a

Діапазон	Частота, ГГц	Обмеження по потужності, мВт
UNII	5,150 - 5,250	50
UNII	5,250 - 5,350	250
UNII	5,725 - 5,825	1000
ISM	2,400 - 2,4835	1000

Використання трьох частотних піддіапазонів із загальною шириною 300 МГц робить стандарт 802.11a самим широкосмуговим з сімейства стандартів 802.11 і дозволяє розбити весь частотний діапазон на 12 каналів, кожен з яких має ширину 20 МГц, вісім з яких лежать в 200-мегагерцовому діапазоні від 5,15 до 5,35 ГГц, а решта - чотири канали - в 100-мегагерцовому діапазоні від 5,725 до 5,825 ГГц (рис. 1.18). При цьому чотири верхніх частотних канали, що передбачають найбільшу потужність передачі, використовуються переважно для передачі сигналів поза приміщеннями.



Малюнок 1.18 – Поділ діапазону UNII на 12 частотних піддіапазонів

1.2.5 Локальні бездротові мережі стандарту 802.11g

Стандарт 802.11g є логічним розвитком 802.11b і передбачає передачу даних в тому ж частотному діапазоні. Крім того, стандарт 802.11g повністю сумісний з 802.11b, тобто будь-який пристрій 802.11g має підтримувати роботу з пристроями 802.11b. У той же час, за способом кодування 802.11g є

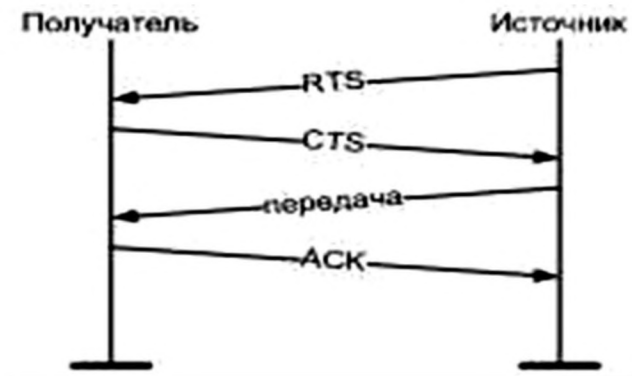
гібридним, запозичуючи все найкраще з стандартів 802.11b і 802.11a. Максимальна швидкість передачі в стандарті 802.11g становить 54 Мбіт/с (як і в стандарті 802.11a), тому на сьогоднішній день це найбільш перспективний стандарт бездротового зв'язку.

При розробці стандарту 802.11g розглядалися дві конкуруючі технології: метод ортогонального частотного поділу OFDM, запозичений зі стандарту 802.11a і запропонований до розгляду компанією Intersil, і метод двійкового пакетного **свёрточного** кодування PBCC, опціонально реалізований в стандарті 802.11b і запропонований компанією Texas Instruments. В результаті стандарт 802.11g містить компромісне рішення: в якості базових застосовуються технології OFDM і ССК, а опціонально передбачено використання технології PBCC.

1.2.6 Метод доступу до фізичного середовища передачі CSMA / CA

Рівень MAC стандарту 802.11 реалізує доставку даних, управління доступом до фізичного рівня і безпеку передачі даних. У радіоканалах через вплив великої кількості факторів, таких як перешкоди, шум, спотворення, загасання, відображення можливі втрати даних. Для виключення втрат даних в стандарті 802.11 передбачено використання завадостійкого кодування і повторна передача за запитом на MAC рівні. Завдяки запиту повторної передачі пакет даних MAC рівня буде обов'язково доставлений адресату.

Базовий алгоритм з'єднання для передачі даних містить дві дії: передачу кадру даних від джерела і передачу підтвердження прийому (АСК) від одержувача джерела повідомлення. Для підвищення надійності передачі даних є алгоритм з обміном чотирма кадрами (див. рис. 33).



Малюнок 1.19 – Алгоритм встановлення з'єднання з використанням запиту передачі

Джерело передає кадр запиту передачі (RTS - Request To Send) і тим самим сповіщає всі станції в зоні **радіовидимості** про те, що відбувається обмін інформацією. Всі станції, що прийняли кадр RTS, утримуються від передачі для виключення конфліктів. Станція-одержувач відповідає станції-джерелу кадром готовності до прийому (CTS - Clear To Send). Після прийому кадру CTS станція-джерело передає кадр даних, а станція-одержувач після прийому кадру даних передає кадр підтвердження прийому (ACK - Acknowledge).

Для управління доступом до фізичного середовища стандартом використовується протокол DFW MAC, який заснований на контролі несучої і усуненні конфліктів шляхом підтвердження прийому даних при багатостационарному доступі (протокол доступу CSMA-CA).

Для визначення, зайнятий чи ні канал, використовується алгоритм оцінки рівня сигналу в каналі (CCA), який передбачає вимірювання потужності сигналів на вході приймача (RSSI) і якості сигналу (SQ). Якщо потужність сигналів на вході приймача нижче заданого порогового значення, то канал вважається вільним, і на рівні доступу до каналу (MAC) стан каналу встановлюється рівним «вільний» (CTS). Якщо потужність прийнятих сигналів

вище порогового значення, то передача даних не проводиться відповідно до протоколу.

Протокол DFW MAC за рахунок процедури підтвердження прийому і повторної передачі на рівні MAC дозволяє відновлювати дані на низькому рівні, що забезпечує надійність зв'язку в умовах конфліктів при доступі до загального середовища і зовнішніх перешкод.

Конфлікти між переданими пакетами можливі, так як розпізнавання приймачем несучої вже переданого сигналу іншими станціями утруднено через істотний розкид амплітуд сигналів внаслідок загасання поширення, а також через те, що станції стандарту 802.11 працюють в напівдуплексному режимі, тому під час передачі даних не приймають сигнали, а отже, не виявляють конфлікти. В результаті можливі помилки в ухваленні рішення про зайнятість каналу і, отже, одночасна передача пакетів двома або більше станціями. Усунення цього недоліку забезпечується зменшенням зони обслуговування, або розширенням динамічного діапазону приймачів станцій, що визначають наявність чужий несучої в каналі.

Протокол DFW MAC дозволяє вводити пріоритети для передачі сигналів з різною категорією важливості або з підвищеними вимогами до затримки передачі. Пріоритети реалізуються через введення затримки дозволу захоплення каналу. Це можливо завдяки «змагальному» принципу захоплення каналу абонентською станцією: перша станція, що почала передачу після звільнення каналу, займає канал (рис. 1.20).



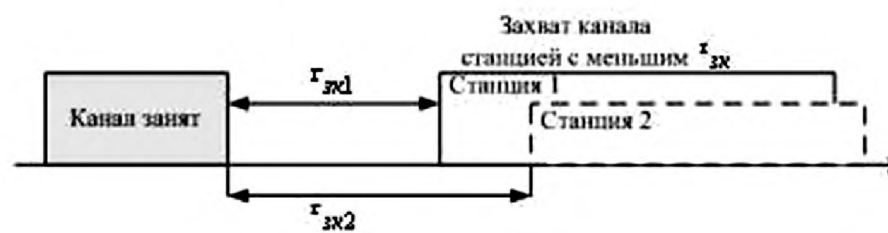
Малюнок 1.20 – Принцип захоплення каналу абонентською станцією по протоколу DFW MAC

Протокол CSMA / CA з затримкою дозволу захоплення каналу функціонує наступним чином.

Абонентська станція, готова до передачі даних, прослуховує канал і, якщо канал вільний, то станція затримує передачу даних на час затримки дозволу захоплення. Передача даних починається, якщо в момент часу $t_0 + \tau_{зк}$ канал виявляється вільним.

Таким чином, якщо канал зайнятий або займається іншою станцією протягом часу затримки дозволу захоплення, канал абонентської станції, у якій встановлено дане значення $\tau_{зк}$, не може бути зайнятий.

Тому, якщо звільнення каналу для передачі даних очікують одночасно дві станції з різними значеннями $\tau_{зк}$, то канал після звільнення буде зайнятий тією станцією, у якій $\tau_{зк}$ менше (див. рис. 1.21).

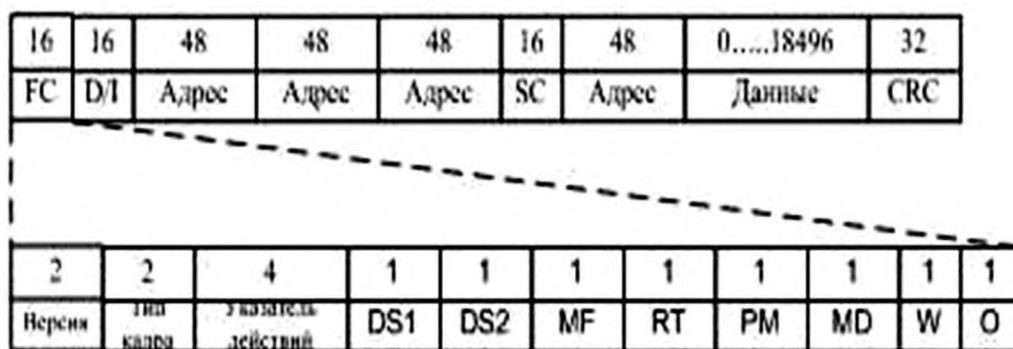


Малюнок 1.21 – Принцип захоплення каналу абонентською станцією по протоколу CSMA/CA

Якщо станції з меншим $\tau_{зк}$ не потрібна передача пакетів даних, то канал може зайняти станція 2. Однак в будь-якому випадку абонентські станції з $\tau_{зк1}$ мають перевагу по захопленню каналу, так як менший час $\tau_{зк}$ дає їм можливість першочергового захоплення каналу. Таким чином і реалізується пріоритетна передача інформації.

У DFW MAC використовується три значення затримки захоплення каналів. Найменша затримка захоплення використовується для повідомлень, що вимагають мінімальної затримки передачі, наприклад мови. Для керуючої інформації має місце середнє значення затримки захоплення, і найбільше значення затримки захоплення використовується для асинхронної передачі даних.

Структуру кадру MAC стандарту 802.11 наведено на рис. 1.22:



Малюнок 1.22 – Формат кадру MAC стандарту 802.11

FC - поле управління кадром використовується для вказівки типу кадру і передачі бітів управління.

Версія протоколу 802.11 позначається двома бітами і допускає чотири варіанти. Кадри рівня MAC можуть містити інформацію управління, дані та інформацію контролю стану обладнання. Деталізація дій АС після прийому кадру міститься в поле покажчика дій, що складається з чотирьох біт.

DS1, DS2 - покажчики напрямку передачі даних показують, кому призначені дані: розподільчій системі (до точок доступу) або станції, і джерело даних.

MF - якщо кількість пакетів MAC більше одного і переданий пакет не останній, то показчик кількості пакетів встановлюється в одиничний стан.

RT - якщо пакет передається повторно, то показчик повторної передачі виставляється в одиничний стан.

PM - показчик режиму випромінювання використовується для включення режимів енергозбереження.

MD - якщо поточним кадром MAC-рівня не вичерпуються всі призначені до передачі дані, то показчик кількості даних встановлюється в одиничний стан, що відповідає неповній передачі даних.

W - одиничний стан показчика використання алгоритму шифрування і конфіденційного обміну ключами відповідно до протокою WEP говорить про застосування алгоритмів шифрування.

O - в разі якщо кадри MAC містять дані, послідовність яких строго впорядкована, то показчик дотримання черговості встановлюється в одиничний стан.

В цілому поле управління дозволяє передавати інформацію про необхідні дії при організації прийому-пер У MAC-кадрі може бути зазначено чотири поля адреси: адреса джерела, адреса одержувача даних, адреса передавальної станції і адреса приймальні станції.

SC - в поле управління черговістю вказуються номер пакета (4 біта), що використовується при розбитті вихідного повідомлення на пакети і подальшого складання, і порядковий номер (12 біт), який служить для нумерації кадрів, переданих між конкретними станціями.

В поле даних передаються або дані LLC-рівня, або інформація управління рівня MAC.

Для виявлення помилок в прийнятому кадрі застосовується 32-бітове поле перевірки на парність. Помилки тільки виявляються. Виправлення помилок досягається в необхідних випадках повторною за запитом.

Утворює поліном двійкового коду перевірки на парність задається виразом ефіра даних в мережі стандарту 802.11.

D/I - поле тривалості з'єднання вказує час в мікросекундах, потрібних для надсилання MAC-кадра. Іноді в цьому полі вказується ідентифікатор з'єднання.

У MAC-кадрі може бути зазначено чотири поля адреси: адреса джерела, адреса одержувача даних, адреса передавальної станції і адреса приймальної станції.

SC - в поле управління черговістю вказуються номер пакета (4 біта), що використовується при розбитті вихідного повідомлення на пакети і подальшого складання, і порядковий номер (12 біт), який служить для нумерації кадрів, переданих між конкретними станціями.

В поле даних передаються або дані LLC-рівня, або інформація управління рівня MAC.

Для виявлення помилок в прийнятому кадрі застосовується 32-бітове поле перевірки на парність. Помилки тільки виявляються. Виправлення помилок досягається в необхідних випадках повторною передачею за запитом.

Утворюючий поліном двійкового коду перевірки на парність задається виразом

$$g(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1 \quad [5].$$

1.3 Постановка задачі

Метою дипломної роботи є розробка архітектури інтегральної мережі доступу на базі Ethernet і Wi-Fi.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1 Виконати аналітичний огляд літературних джерел по темі дипломної роботи.

2 Розробити принципи побудови інтегрованої мережі на базі технологій Ethernet і Wi-Fi.

3 Сформулювати вимоги до розроблюваної мережі і способи сполучення дротового і бездротового сегментів.

4 Вибрати пристрої, що відповідають сформульованим вимогам.

5 На базі обраних пристроїв розробити архітектуру інтегрованої мережі доступу на базі технологій Ethernet і Wi-Fi.

1.4 Висновки

1 Виконано аналітичний огляд літературних джерел по темі дипломної роботи, що дозволило сформулювати постановку задачі дипломної роботи.

2 Розглянуто основи побудови локальних дротових мереж Ethernet і бездротових мереж Wi-Fi.

3 Показані відмінності між провідними і бездротовими локальними мережами на фізичному рівні.

4 Сформульовано постановку задачі дипломної роботи.

Розділ другий: СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Принципи побудови інтегрованої мережі

2.1.1 Вимоги, що пред'являються до локальних обчислювальних мереж

Головною вимогою до мережі є виконання мережею її основної функції - забезпечення користувачам можливості доступу до ресурсів, що розділяються. Інші вимоги - продуктивність, надійність, сумісність, керованість, захищеність, розширюваність і масштабованість - пов'язані з якістю виконання цієї основної задачі (QoS).

Продуктивність

Існує кілька основних характеристик продуктивності мережі:

- час реакції;
- пропускна здатність;
- затримка передачі і варіація затримки передачі.

Час реакції мережі визначається як інтервал часу між виникненням запиту користувача до якої-небудь мережевої служби й одержанням відповіді на цей запит.

Час реакції мережі звичайно складається з декількох складових. У загальному випадку в нього входить час підготовки запитів на клієнтському комп'ютері, час передачі запитів між клієнтом і сервером через сегменти мережі і проміжне комунікаційне устаткування, час обробки запитів на сервері, час

передачі відповідей від сервера клієнту і час обробки одержуваних від сервера відповідей на клієнтському комп'ютері.

Пропускна здатність відображає обсяг даних, переданих мережею чи її частиною за одиницю часу. Пропускна здатність говорить про швидкість виконання внутрішніх операцій мережі - передачі пакетів даних між вузлами мережі через різні комунікаційні пристрої. Вона безпосередньо характеризує якість виконання основної функції мережі - транспортування повідомлень.

Пропускна здатність можна вимірювати між будь-якими двома вузлами або точками мережі, наприклад між клієнтським комп'ютером і сервером, між вхідним і вихідним портами маршрутизатора. Для аналізу і настроювання мережі дуже корисні дані про пропускна здатність окремих елементів мережі.

З-за послідовного характеру передачі пакетів різними елементами мережі загальна пропускна здатність мережі будь-якого складеного шляху в мережі буде дорівнювати мінімальній з пропускних здатностей складових елементів маршруту. Для підвищення пропускну здатності складеного шляху необхідно в першу чергу звернути увагу на самі повільні елементи - таким елементом може бути маршрутизатор.

Затримка передачі визначається як затримка між моментом надходження пакету на вхід якого-небудь мережевого пристрою або частини мережі і моментом появи його на виході цього пристрою. Цей параметр продуктивності відрізняється від часу реакції мережі тим, що завжди характеризує тільки мережеві етапи обробки даних, без затримок обробки комп'ютерами мережі.

Пропускна спроможність і затримки передачі є незалежними параметрами, так що мережа може мати, наприклад, високу пропускна спроможність, але вносити значні затримки при передачі кожного пакету.

Надійність і безпека

Готовність означає частку часу, протягом якого система може бути використана. Готовність поліпшується шляхом введення надмірності в структуру системи: ключові елементи системи повинні існувати в декількох екземплярах, щоб при відмові одного з них функціонування системи забезпечували інші.

Інтегрована мережа повинна як мінімум мати високу готовність. Але, крім цього, необхідно забезпечити збереження даних і захист їх від спотворень. Також повинна підтримуватися узгодженість даних, тобто якщо для підвищення надійності на декількох файлових серверах зберігається кілька копій даних, то потрібно постійно забезпечувати їхню ідентичність.

Іншим аспектом загальної надійності є безпека, тобто здатність системи захистити дані від несанкціонованого доступу.

Ще однією характеристикою надійності є відмовостійкість - здатність системи приховати від користувача відмову окремих її елементів. Наприклад, якщо копії таблиці бази даних зберігаються одночасно на декількох файлових серверах, то користувачі просто не помітять відмову одного з них. У відмовостійкій системі відмова одного з її елементів призводить до деякого зниження якості її роботи, а не до повної зупинки.

Можливість розширення і масштабованість

Можливість розширення означає можливість порівняно легкого додавання окремих елементів мережі (користувачів, комп'ютерів, додатків, служб), нарощування довжини сегментів мережі і заміни існуючої апаратури більш потужною.

Масштабованість означає, що мережа дозволяє нарощувати кількість вузлів і протяжність зв'язків в дуже широких межах, при цьому продуктивність мережі не погіршується.

Прозорість

Мережа прозора, коли вона представляється користувачам не як безліч окремих комп'ютерів, зв'язаних між собою складною системою кабельних з'єднань, а як єдина обчислювальна машина з системою поділу часу.

Мережа повинна приховувати всі особливості операційних систем і відмінності в типах комп'ютерів.

Підтримка різних видів трафіку

В даний час потрібно поєднання в одній мережі традиційного комп'ютерного та мультимедійного трафіку. Головною особливістю мультимедійного трафіку, що утворюється при динамічній передачі голосу або зображення, є наявність жорстких вимог до синхронності повідомлень. У той же час трафік комп'ютерних даних характеризується вкрай нерівномірною інтенсивністю надходження повідомлень в мережу при відсутності жорстких вимог до синхронності доставки цих повідомлень.

Передача виключно мультимедійного трафіку комп'ютерною мережею хоч і пов'язана з певними складнощами, але викликає менші труднощі. А ось випадок співіснування двох типів трафіку з протилежними вимогами до якості обслуговування є набагато більш складним завданням.

Керованість

Керованість мережі має на увазі можливість централізовано контролювати стан основних елементів мережі, виявляти і вирішувати проблеми, що виникають при роботі мережі, виконувати аналіз продуктивності і планувати розвиток мережі.

Засоби управління мережами являють собою систему, яка здійснює спостереження, контроль і управління кожним елементом мережі - від найпростіших до найскладніших пристроїв, при цьому така система розглядає мережу як єдине ціле, а не як розрізнений набір окремих пристроїв.

Однак більшість існуючих засобів не управляють мережею, а всього лише здійснюють спостереження за її роботою. Вони стежать за мережею, але не виконують активних дій, якщо з мережею щось відбулося або незабаром відбудеться.

Сумісність

Сумісність або інтегрованість означає, що мережа здатна включати в себе саме різноманітне програмне і апаратне забезпечення, тобто в ній можуть співіснувати різні операційні системи, що підтримують різні стеки комунікаційних протоколів, і працювати апаратні засоби і додатки від різних виробників [1].

Перерахованим вище вимогам найбільш повно відповідає технологія локальних мереж Ethernet. Це найбільш поширена і не дорога на сьогоднішній день технологія для побудови локальних мереж. Сьогодні у світі створено вже кілька мільйонів мереж, що працюють по протоколу Ethernet на різних швидкостях.

Стандарт Fast Ethernet, що є розширенням основного стандарту, забезпечує швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с. Універсальність стандарту полягає ще і в тому, що є можливість використання різних середовищ передачі сигналів: вита пара або оптичне волокно.

Мережі Ethernet влаштовували користувачів протягом дуже тривалого часу, але з бурхливим розвитком мобільних технологій дротові мережі почали обмежувати пересування мобільних абонентів. Назріла необхідність у впровадженні та широкому використанні бездротових стандартів локальних

мереж. Спеціально для цього був створений стандарт Radio Ethernet, що є бездротовою версією протоколу Ethernet. Мережі побудовані по бездротовому протоколу, часто називаються мережами Wi-Fi (Wireless Fidelity).

В обох стандартів багато загального, що дозволяє без серйозних ускладнень об'єднувати провідні та безпроводні мережі. Тому побудову інтегрованої мережі доцільно вести з використанням даних технологій. Такий підхід забезпечить хорошу сумісність обладнання і високу пропускну здатність мережі.

2.1.2 Компонування локальних мереж Ethernet

У мережах з невеликою кількістю комп'ютерів найчастіше використовується одна з типових топологій - загальна шина, кільце, зірка або повнозв'язна мережа. Всі перераховані топології володіють властивістю однорідності, тобто всі комп'ютери в такій мережі мають однакові права щодо доступу до інших комп'ютерів (за винятком центрального комп'ютера при з'єднанні зірка). Така однорідність структури робить простою процедуру нарощування числа комп'ютерів, полегшує обслуговування і експлуатацію мережі.

Однак при побудові великих мереж однорідна структура зв'язків перетворюється в недолік. У таких мережах використання типових структур породжує різні обмеження, найважливішими з яких є:

- обмеження на довжину зв'язку між вузлами;
- обмеження на кількість вузлів в мережі;
- обмеження на інтенсивність трафіку, що породжується вузлами мережі.

Для зняття цих обмежень використовуються спеціальні методи структуризації мережі і спеціальне структуроутворююче обладнання - комутатори, маршрутизатори.

У стандарті Fast Ethernet суворо зафіксована топологія електричних зв'язків. Комп'ютери підключаються до середи, що розділяється відповідно до типової структури «загальна шина» (рис. 37). За допомогою шини, що розділяється в часі, будь-які два комп'ютери можуть обмінюватися даними. Управління доступом до лінії зв'язку здійснюється спеціальними контролерами – мережевими адаптерами Fast Ethernet. Передача даних відбувається зі швидкістю 100 Мбіт/с. Ця величина є пропускнуою спроможністю мережі Fast Ethernet.

Головним достоїнством мереж Ethernet є їх економічність. Для побудови мережі досить мати по одному мережевому адаптеру для кожного комп'ютера плюс один фізичний сегмент кабелю потрібної довжини.



Малюнок 1.23 – Мережа Ethernet

Фізична і логічна структуризація мережі

Під фізичною топологією розуміється конфігурація зв'язків, утворених окремими частинами кабелю, а під логічною - конфігурація інформаційних потоків між комп'ютерами мережі. У багатьох випадках фізична і логічна топології мережі збігаються.

Мережа з типовою топологією (шина, кільце, зірка), в якій всі фізичні сегменти розглядаються в якості одного середовища, що розділяється, виявляється неадекватній структурі інформаційних потоків у великій мережі. Наприклад, в мережі із загальною шиною взаємодія будь-якої пари комп'ютерів займає її на весь час обміну, тому при збільшенні числа комп'ютерів в мережі шина стає вузьким місцем.

Рішення проблеми складається у відмові від ідеї однорідного єдиного середовища, що розділяється, в межах всієї мережі. Для логічної структуризації мережі використовуються такі комунікаційні пристрої, як комутатори, маршрутизатори і шлюзи.

Комутатор ділить поділовану середу передачі мережі на частині (часто звані логічними сегментами), передаючи інформацію з одного сегмента в інший тільки в тому випадку, якщо така передача дійсно необхідна, тобто якщо адреса комп'ютера призначення належить іншій підмережі. Тим самим комутатор ізолює трафік однієї підмережі від трафіка іншої, підвищуючи загальну продуктивність передачі даних в мережі. Локалізація трафіка не тільки економить пропускну спроможність, але і зменшує можливість несанкціонованого доступу до даних, оскільки кадри не вийдуть за межі свого сегмента і їх складніше перехопити зловмиснику.

На рис. 1.24 показана мережа, логічно структурована за допомогою комутаторів. Кожен логічний сегмент побудований на базі комутатора доступу і має найпростішу фізичну структуру, утворену відрізками кабелю, що зв'язують комп'ютери з портами комутатора. Рівень доступу управляє доступом користувачів до ресурсів мережі. Всі сегменти з'єднані комутатором рівня розподілу.



Малюнок 1.24 – Логічна структуризації мережі за допомогою комутатора

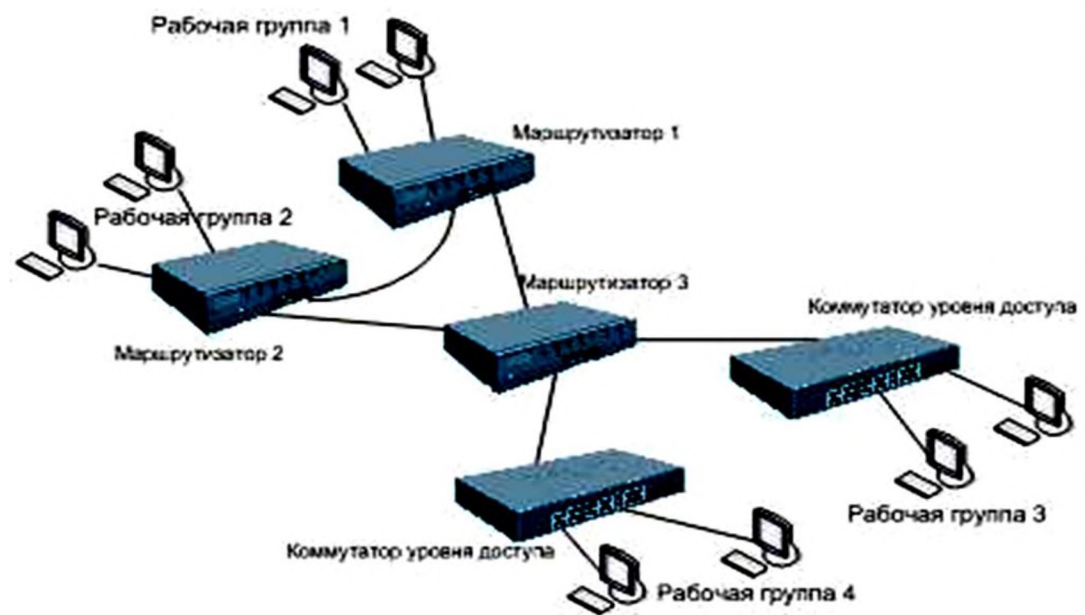
Комутатор використовує для локалізації трафіку апаратні адреси комп'ютерів. Він запам'ятовує, через який порт на нього поступив кадр даних від кожного комп'ютера мережі, і надалі передає кадри, призначені для цього комп'ютера, на цей порт. Точної топології зв'язків між логічними сегментами комутатор не знає. Через це застосування комутаторів призводить до значних обмежень на конфігурацію зв'язків мережі - сегменти повинні бути з'єднані таким чином, щоб в мережі не утворювалися замкнуті контури.

Кожен порт комутатора оснащений спеціалізованим процесором, який обробляє кадри по алгоритму моста незалежно від процесорів інших портів. За рахунок цього загальна продуктивність комутатора звичайно набагато вище продуктивності традиційного моста, що має один процесорний блок.

Обмеження, пов'язані із застосуванням комутаторів - по топології зв'язків, а також ряд інших причин, - призвели до того, що в ряді комунікаційних пристроїв з'явився ще один тип обладнання - маршрутизатор. Маршрутизатори

більш надійно і більш ефективно, ніж комутатори, ізолюють трафік окремих частин мережі один від одного. Маршрутизатори утворюють логічні сегменти за допомогою явної адресації. В адресах є поле номера мережі, так що всі комп'ютери, у яких значення цього поля однакове, належать до одного сегмента, званого в даному випадку підсіткою.

Крім локалізації трафіку маршрутизатори виконують ще багато інших корисних функцій. Так, маршрутизатори можуть працювати в мережі із замкнутими контурами, при цьому вони здійснюють вибір найбільш раціонального маршруту з декількох можливих. Мережа, представлена на рис. 1.25, відрізняється від попередньої тим, що між підмережами робочих груп 1 і 2 прокладено додатковий зв'язок, який може використовуватися як для підвищення продуктивності мережі, так і для підвищення її надійності.



Малюнок 1.25 – Логічна структуризація мережі за допомогою маршрутизаторів

2.1.3 Компонування бездротових мереж Wi-Fi

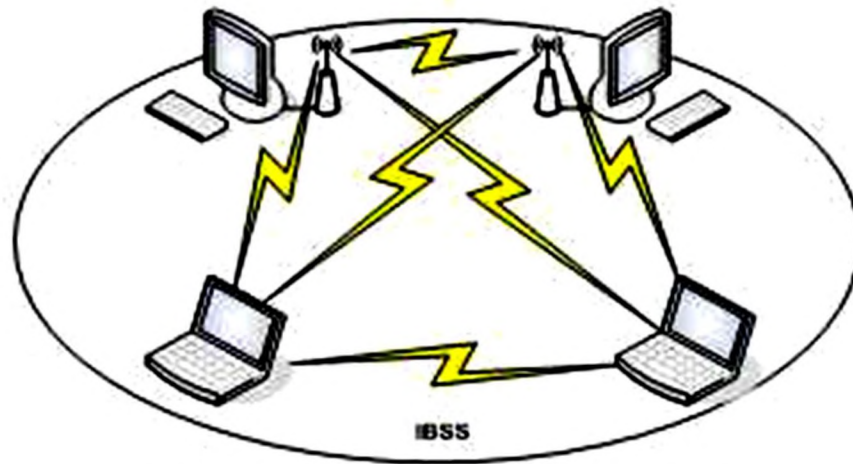
Мережі стандарту 802.11 можуть будуватися по кожній із наступних топологій:

- Незалежні базові зони обслуговування (Independent Basic Service Sets, IBSSs);
- Базові зони обслуговування (Basic Service Sets, BSSs);
- Розширені зони обслуговування (Extended Service Sets, ESSs).

Зона обслуговування (Service Set) в даному випадку - це логічно згруповані пристрої.

Незалежні базові зони обслуговування (IBSS)

IBSS є групою працюють відповідно до стандарту 802.11 станцій, що зв'язуються безпосередньо одна з одною. IBSS також називають спеціальної Ad-Hoc мережею, тому що вона по суті являє собою просту однорангову WLAN. На рис. 1.26 показано, як станції, обладнані бездротовими мережевими інтерфейсними картами (network interface card, NIC) стандарту 802.11, можуть формувати IBSS і безпосередньо зв'язуватися одна з одною.



Малюнок 1.26 – Ad-Нос мережа (IBSS)

Спеціальна мережа, або незалежна базова зона обслуговування (IBSS), виникає, коли окремі пристрої-клієнти формують самопідтримувану мережу без використання окремої точки доступу (AP - Access Point). При створенні таких мереж не розробляють якісь карти місця їх розгортання і попередні плани, тому вони зазвичай невеликі і мають обмежену довжину, достатню для передачі спільно використовуваних даних, при виникненні такої необхідності.

Клієнти безпосередньо встановлюють з'єднання один з одним, в результаті чого створюється тільки одна базова зона обслуговування (BSS), яка не має інтерфейсу для підключення до дротової локальної мережі, тобто відсутня яка-небудь розподільна система, яка необхідна для об'єднання BSS і організації, таким чином, ESS. Не існує яких-небудь обумовлених стандартом обмежень на кількість пристроїв, які можуть входити в одну незалежну базову зону обслуговування.

Оскільки в IBSS відсутня точка доступу, розподіл часу (timing) здійснюється нецентралізовано. Клієнт, який починає передачу в IBSS, задає сигнальний (маячковий) інтервал (beacon interval) для створення набору

моментів часу передачі маячкового сигналу (set of target beacon transmission time, TBTT). Коли завершується TBTT, кожен клієнт IBSS виконує наступне:

- Припиняє всі таймери затримки, що не спрацювали, (backoff timer) з попереднього TBTT;
- Визначає нову випадкову затримку;
- Якщо маячковий сигнал надходить до закінчення випадкової затримки, відновлює роботу призупинених таймерів затримки. Якщо ніякий маячковий сигнал не надходить до закінчення випадкової затримки, посилає маячковий сигнал і відновлює роботу призупинених таймерів затримки.

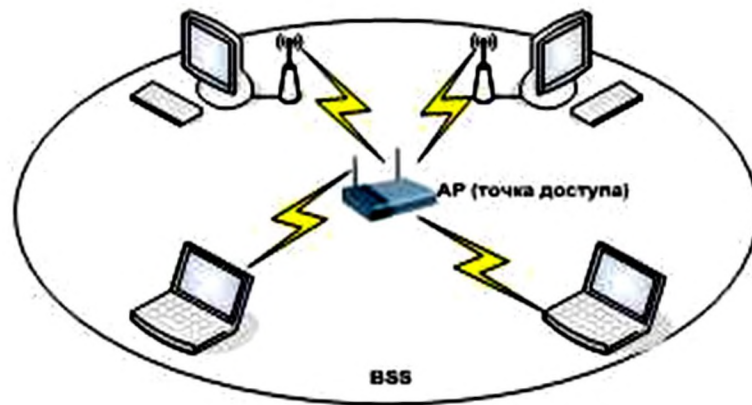
У маячкові сигнали вбудована функція синхронізації таймера (timer synchronization function, TSF). Кожен клієнт порівнює TSF в маячковому сигналі зі своїм власним таймером і, якщо отримане значення більше, вважає, що годинник передавальної станції йде швидше і підлаштовує свій власний таймер у відповідності з отриманим значенням.

Базові зони обслуговування (BSS)

BSS - це група працюючих за стандартом 802.11 станцій, що зв'язуються одна з одною. Технологія BSS передбачає наявність особливої станції, яка називається точка доступу AP (Access Point). Точка доступу - це центральний пункт зв'язку для всіх станцій BSS. Клієнтські станції не зв'язуються безпосередньо одна з одною. Замість цього вони зв'язуються з точкою доступу, а вже вона спрямовує кадри до станції-адресату.

Точка доступу може мати порт висхідного каналу (uplink port), через який BSS підключається до дротової мережі (наприклад, висхідний канал Ethernet). Тому BSS іноді називають інфраструктурою BSS.

На рис. 1.27 представлена типова інфраструктура BSS.



Малюнок 1.27 – Інфраструктура локальної бездротової мережі BSS

Розподілена функція координації (DCF)

Затверджений IEEE механізм доступу для мереж стандарту 802.11 - це розподілена функція координації (DCF), механізм доступу до середовища, заснований на методі CSMA/CA.

При роботі з використанням DCF станція, яка має намір передати фрейм, повинна почекати певний час після того, як середовище звільниться. Цей інтервал часу називається міжкадровий зазор DCF (DCF Interframe Space, DIFS). Після закінчення інтервалу часу DIFS станція може взяти участь в змаганні за право доступу до середовища (див. рис. 1.28).

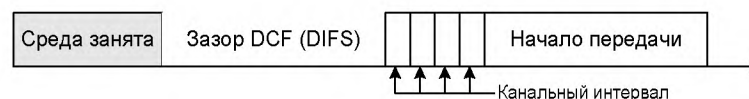
Існує велика ймовірність того, що обидві станції одночасно спробують почати передачу негайно після звільнення середовища, що призведе до виникнення колізії. Щоб уникнути цієї ситуації, DCF використовує таймер випадкової затримки (Random Backoff Timer).



Малюнок 1.28 – Тимчасова діаграма доступу до середовища

При використанні випадкового алгоритму затримки випадковим чином вибирається значення в діапазоні від 0 до значення, відповідного ширині вікна конкуренції (Contention Window, CW). За замовчуванням значення CW встановлюються виробником і зберігаються в пам'яті мережевої карти станції. Діапазон значень випадкової затримки починається з 0 і закінчується максимальним значенням.

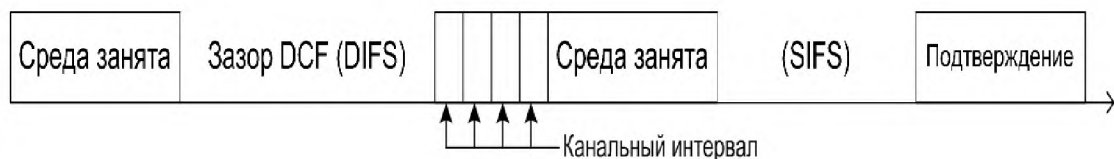
Станція випадковим чином вибирає значення між 0 і поточним значенням CW. Випадкове значення являє собою кількість каналних інтервалів за стандартом 802.11, протягом яких станція, вже після звільнення середовища в вікні конкуренції, повинна утримуватися від передачі (див. рис. 1.29). Канальний інтервал (Slot Time) - це значення часу, яке визначається параметрами фізичного рівня, заснованими на характеристиках радіочастотного каналу BSS.



Малюнок 1.29 – Передача кадру після закінчення часу випадкової затримки

Специфікація 802.11 вимагає, щоб приймаюча станція передала станції-відправнику кадр підтвердження. Цей кадр підтвердження дозволяє станції-відправнику безпосередньо визначити, чи відбулася в середовищі передачі колізія. Якщо передавальна станція не отримує кадр підтвердження, вона вважає, що в середовищі передачі відбулася колізія. Передавальна станція оновлює значення свого лічильника числа спроб, подвоює ширину вікна конкуренції і починає процес доступу до середовища спочатку.

Кадром підтвердження дозволяється не брати участь в процесі випадкової затримки, тому довго чекати можливості передати підтвердження після отримання кадру станції не доводиться. Короткий проміжок часу, який приймальна станція проводить в очікуванні такої можливості, називається короткий міжкадровий зазор (Short Interframe Space, SIFS). Інтервал SIFS коротше, ніж інтервал DIFS, на два канальних інтервалу (див. рис. 1.30). Це гарантує приймаючій станції найбільший шанс отримання доступу до середовища для передачі в порівнянні з іншими станціями.



Малюнок 1.30 – Передача кадру и підтвердження

2.1.4 Можливість з'єднання станцій

Три сеанси обміну відбуваються між бездротовою станцією і точкою доступу перш, ніж вони з'єднуються в BSS:

- Процес зондування;
- Процес аутентифікації;
- Процес прив'язки (асоціювання).

Процес зондування

Станція-клієнт посилає зондує кадр запиту (Probe Request Frame) стандарту 802.11. Зазвичай станція стандарту 802.11 посилає зондуючий кадр запиту по кожному доступному їй каналу. Цей процес не обговорений в специфікації стандарту 802.11. Зондуючий кадр запиту містить інформацію про

бездротову станцію стандарту 802.11 - яку швидкість передачі даних підтримує станція і до якої зони обслуговування вона належить. На рис. 1.31 представлений формат зондуючого кадру запиту. Ключові поля зондуючого запиту наступні:

- Елемент SSID, який містить SSID, за допомогою якого налаштована станція;
- Елемент підтримуваних швидкостей, який вказує всі швидкості передачі даних, підтримувані клієнтом.

Контроль кадра	Продолжительность	Адрес назначения	Адрес источника	BSSID	Управление очередностью	SSID	Набор поддерживаемых скоростей
----------------	-------------------	------------------	-----------------	-------	-------------------------	------	--------------------------------

Малюнок 1.31 – Формат зондуючого кадру запиту

Клієнтські станції посилають зондуючі кадри запиту так, як ніби вони нічого не знають про точки доступу, які зондують.

Тому багато запитів надсилаються з найменшою можливою швидкістю передачі даних, що становить 1 Мбіт/с.

Коли точка доступу отримує зондуючий кадр запиту, по відношенню до якого була успішно виконана процедура перевірки контрольної послідовності кадру (Frame Check Sequence, FCS), вона посилає у відповідь зондуючий кадр відповіді. На рис. 1.32 представлений зондуючий кадр відповіді.

Ключові поля зондуючого фрейма відповіді такі:

- Поле мітки часу (Timestamp Field);
- Поле сигнального інтервалу (Beacon Interval Field). Число тактів (Time Units, TUs) між маячкових сигналами. Тривалість такту становить 1024 мкс;
- Поле інформаційної здатності (Capability Information Field). Вказує на можливості MAC і PHY рівня;

- Елемент SSID, який вказує SSID, з яким налаштована точка доступу;
- Елемент підтримуваних швидкостей передачі. Все швидкості передачі даних, підтримувані точкою доступу;
- Елемент набору параметрів PHY (PHY Parameter Set Element). Може вказувати або на технологію FHSS, або на технологію DSSS. Цей елемент забезпечує надання специфічної інформації рівня PHY для клієнтської станції.



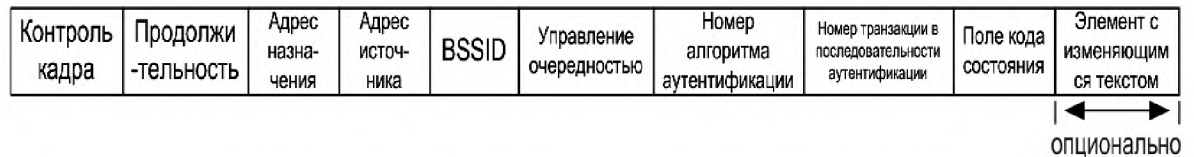
Малюнок 1.32 – Формат зондуючого кадру відповіді

Коли клієнтська станція отримує зондуючий кадр відповіді, вона може визначити рівень сигналу отриманого фрейму. Ця станція порівнює зондуючі фрейми відповіді і визначає, до якої точки доступу вони відносяться. Механізм, завдяки якому клієнтська станція вибирає точку доступу для прив'язки до неї, не описаний в стандарті 802.11, так що він реалізується постачальником самостійно. У загальному випадку критерій вибору точки доступу може включати узгодження SSID, рівня сигналів, підтримуваних швидкостей передачі даних і власні критерії постачальника.

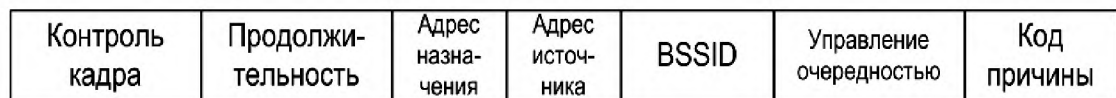
Процес аутентифікації

Процес аутентифікації за стандартом 802.11 може виконуватися в двох режимах: аутентифікація з відкритим ключем (open authentication) і аутентифікація зі спільно використовуваним ключем (shared-key authentication).

Аутентифікація відповідно до стандарту орієнтована в основному на аутентифікацію пристрою (а не користувача), і її процес полягає у визначенні, чи належить даний пристрій локальній мережі. На рис. 1.33 показаний формат кадру аутентифікації, а на рис. 1.34 - кадру деаутентифікації.



Малюнок 1.33 – Формат кадру аутентифікації



Малюнок 1.34 – Формат кадру деаутентифікації

Процес прив'язки

Процес прив'язки за стандартом 802.11 дозволяє точці доступу виділити для бездротової станції логічний порт або присвоїти їй ідентифікатор асоціації (Association Identifier, AID). Процес прив'язки починається бездротовою станцією з кадру запиту на асоціювання, що містить інформацію про можливості клієнта, і завершується кадром відповіді на асоціювання, що посилається точкою доступу. Відповідь на асоціювання може бути позитивною або негативною і містити код, який вказує на причини відмови. На рис. 1.35 представлений формат кадру запиту на асоціювання, а на рис. 1.36 - кадру відповіді на асоціювання.

Ключові поля кадру запиту на з'єднання наступні:

- Інтервал прослуховування (Listen Interval). Значення інтервалу прослуховування використовується в режимі економії енергоспоживання і

повідомляється клієнтською станцією точки доступу. Воно інформує точку доступу про те, як часто ця станція виходить з режиму економії енергоспоживання, щоб отримати кадри, буферізовані в точці доступу;

- Елемент SSID. Описує SSID клієнтської станції для точки доступу. У нормальному режимі роботи точка доступу не приймає запити на асоціацію від станцій з SSID, відмінних від тих, які сконфігуровані в точці доступу;

- Елемент підтримуваних швидкостей передачі, який вказує точці доступу, які швидкості передачі підтримує клієнтська станція.

Контроль кадра	Продолжительность	Адрес назначения	Адрес источника	BSSID	Управление очередностью	Поле информационной способности	Интервал прослушивания	SSID	Набор поддерживаемых скоростей
----------------	-------------------	------------------	-----------------	-------	-------------------------	---------------------------------	------------------------	------	--------------------------------

Малюнок 1.35 Формат кадру запиту на асоціювання

Ключові поля кадру відповіді на асоціювання наступні:

- Код стану (Status Code). Цей елемент вказує код стану, який визначається з фрейма відповіді на асоціювання;

- Ідентифікатор асоціації (AID). Клієнтська станція повинна знати - це значення, коли вона працює в режимі енергозбереження. Точка доступу посилає оповіщення в сигнальних кадрах, які вказують, які AID мають буферізовані фрейми;

- Елемент підтримуваних швидкостей передачі, який вказує, які швидкості передачі підтримує точка доступу.

Контроль кадра	Продолжительность	Адрес назначения	Адрес источника	BSSID	Управление очередностью	Поле информационной способности	Код состояния	AID	Набор поддерживаемых скоростей
----------------	-------------------	------------------	-----------------	-------	-------------------------	---------------------------------	---------------	-----	--------------------------------

Малюнок 1.36 – Формат кадру відповіді на асоціювання

На рис. 1.37 показаний формат кадру запиту на реасоціювання, а на рис. 1.38 показаний формат кадру відповіді на реасоціювання.

Кадр запиту на реасоціювання майже ідентичний кадру запиту на асоціювання, але має додаткове поле, що містить поточну адресу точки доступу. Головна мета цього фрейму - сповістити точку доступу про те, що станція, що асоціюється з нею в даний момент, вже мала асоціацію раніше. Нова точка доступу може запросити стару точку доступу, чи має вона буферизовані для цієї станції фрейми з метою роумінгу клієнта; подібна можливість може бути реалізована виробником, але вона не описана в стандарті 802.11.

Контроль кадра	Продолжительность	Адрес назначения	Адрес источника	BSSID	Управление очередностью	Поле информационной способности	Интервал прослушивания	Адрес текущей точки доступа	SSID	Набор поддерживаемых скоростей
----------------	-------------------	------------------	-----------------	-------	-------------------------	---------------------------------	------------------------	-----------------------------	------	--------------------------------

Малюнок 1.37 – Формат кадру запиту на реасоціювання

Кадр відповіді на реасоціювання ідентичний кадру відповіді на асоціювання.

Контроль кадра	Продолжительность	Адрес назначения	Адрес источника	BSSID	Управление очередностью	Поле информационной способности	Код состояния	AID	Набор поддерживаемых скоростей
----------------	-------------------	------------------	-----------------	-------	-------------------------	---------------------------------	---------------	-----	--------------------------------

Малюнок 1.38 – Формат кадру відповіді на реасоціювання

На рис. 1.39 показаний формат фрейму дісоціювання [8].

Контроль кадра	Продолжительность	Адрес назначения	Адрес источника	BSSID	Управление очередностью	Код причины
----------------	-------------------	------------------	-----------------	-------	-------------------------	-------------

Малюнок 1.39 – Формат кадру дісоціювання

2.2 Архітектура інтегрованої мережі доступу на базі технологій Ethernet і Wi-Fi

2.2.1 Бездротове обладнання, що застосовується при побудові мереж Wi-Fi

Локальні бездротові мережі все більше і більше набувають популярності серед користувачів. Протягом декількох років вони проходили процес стандартизації, підвищувалася швидкість передачі даних, ціна ставала доступнішою. Сьогодні бездротові мережі дозволяють надати підключення користувачів там, де ускладнено кабельне підключення або необхідна повна мобільність. При цьому бездротові мережі без проблем взаємодіють з дротовими мережами.

Основні переваги бездротових мереж:

- бездротові мережі сумісні з локальними кабельними мережами і повністю відповідають стандартам дротових мереж Ethernet. Тому користувачу не потрібно буде вивчати будь-яке спеціалізоване обладнання або програмне забезпечення;
- з'єднання за допомогою радіоканалу дозволяє користувачеві переміщатися в межах зони покриття бездротової мережі Wi-Fi; не вимагає прокладки кабелю. При розгортанні звичайних локальних дротових мереж потрібна прокладка кабелю. Кабель вбудовується в стіну або кладеться в короб, також може прокладатися по підвісним стелям. Буває, що прокладка кабелю небажана або взагалі неможлива;
- такі мережі надають можливість бездротового зв'язку декількох офісів, що знаходяться в різних будівлях в єдину локальну мережу, так як поєднання

цих офісів кабельними з'єднаннями може бути дорогим заходом, або в принципі неможливим;

- побудова бездротової мережі Wi-Fi проводиться швидше, ніж кабельної мережі;
- збереження інвестицій, вкладених в локальну бездротову мережу при зміні офісу; гнучкість - швидка реструктуризація, зміна конфігурації та розмірів мережі.

При цьому при побудові бездротових мереж використовується найрізноманітніше обладнання, виконане в різних форм-факторах. На сьогоднішній день на ринку бездротового обладнання представлено безліч фірм-виробників.

Серед них можна виділити кілька найбільш великих і значущих на ринку. Це фірми Cisco, D-Link, Linksys і TRENDnet [8].

2.2.2 Вибір обладнання

Для побудови провідного сегмента інтегрованої мережі в загальному випадку може використовуватися обладнання будь-яких виробників, так як практично все обладнання сумісно один з одним. Тому вибір визначається лише вимогами до мережі і її характеристиками. Незаперечна перевага комутаторів від 3Com полягає в тому, що вони можуть здійснювати живлення пристроїв по кабелях Ethernet.

При побудові бездротового сегмента інтегрованої мережі в розгляд приймається твердження про те, що для досягнення заявлених максимальних параметрів необхідно використовувати обладнання одного виробника. Це

відноситься не до всієї мережі в цілому, але, наприклад, до зони дії однієї точки доступу.

Найважливішими критеріями вибору обладнання при побудові бездротових мереж є:

- Відповідність стандарту
- Потужний процесор / криптографічний процесор
- Просте кріплення до стіни / стелі
- Електроживлення по кручений парі (Power over Ethernet)
- Дві антени (з можливістю перемикання)
- Можливість підключення зовнішніх антен
- Функції безпеки
- Шифрування WEP / динамічний WEP (WEP Plus)
- Безпека WPA (аутентифікація 802.1x / RADIUS і шифрування TKIP / AES)
- Списки контролю доступу на базі MAC-адрес
- Брандмауер з контекстною перевіркою пакетів (якщо точка доступу використовується як маршрутизатор доступу)
- Інтерфейс Web (сервер HTTP)
- SSH
- Сервер DHCP / ретранслятор DNS
- Додаткові функції (точка доступу як маршрутизатор доступу, як міст)
- Інтегрований комутатор

· Сертифікація Wi-Fi (обов'язково) [9].

2.2.3 Архітектура інтегрованої мережі доступу на базі технологій Ethernet і Wi-Fi

На рис. 1.40 зображена архітектура інтегрованої мережі доступу, побудованої на базі двох споріднених технологій - Ethernet і Wi-Fi. Таким чином, мережа складається з провідного сегмента, в якому всі елементи з'єднані з використанням кабелю типу «кручена пара» категорії 5, і бездротового сегмента, в якому для передачі даних використовується радіоефір.

Бездротова мережа забезпечує підключення користувачів з мобільними пристроями (ноутбуки, КПК, комунікатори і т.д.) до ресурсів провідної мережі. З'являється можливість використання високошвидкісного каналу в важкодоступних місцях, куди прокладка кабелю неможлива або недоцільна.

У провідному сегменті встановлено обладнання американської компанії 3Com: маршрутизатори 3Com Router серії 3000 і комутатори 3Com Switch серії 4400. Це надійне і функціональне обладнання добре себе зарекомендувало на ринку провідних мереж Ethernet. Маршрутизатори підтримують велику кількість інтерфейсів і протоколів маршрутизації, а також забезпечують високий рівень безпеки. Комутатори можуть бути оснащені або 24, або 48 портами з автовизначенням швидкості 10/100 Мбіт/с і забезпечують високу продуктивність за рахунок високої пропускної здатності внутрішньої шини, яка становить 8,8 Гбіт/с або 13,6 Гбіт/с відповідно для 24- і 48-портового комутатора. Комутатори 3Com підтримують можливість об'єднання в стек до 384 портів з керуванням через 1 IP-адресу.

До них можуть підключатися як звичайні комп'ютери з мережевими адаптерами Ethernet/Fast Ethernet, так і пристрої бездротової мережі, такі як точки доступу, бездротові маршрутизатори, шлюзи, мости та інші. Мережеві адаптери Ethernet можуть використовуватися будь-яких виробників, на схемі вказані адаптери Fast Ethernet 10/100 Мбіт/с D-Link, 3Com та інтегровані в материнські плати для настільних комп'ютерів. Останнє рішення особливо часто застосовується при побудові офісних мереж.

Велика частина бездротової мережі побудована на обладнанні тайваньської фірми D-Link. Це пояснюється тим, що у даної фірми найбільший асортимент продукції з підтримкою будь-яких швидкостей для бездротових мереж будь-яких стандартів. Фірма має безліч власних розробок і патентів. Велику увагу D-Link приділяє питанням авторизації і локалізації своєї продукції. Обладнання D-Link, представлене на ринку, має сертифікати системи "Електрозв'язок" і відповідає гігієнічним стандартам.

Бездротовий маршрутизатор D-Link DI-624S з вбудованим комутатором на 4 порти Ethernet 10/100 Мбіт/с, точкою доступу і 2 портами USB дозволяє об'єднати дротові і бездротові пристрої в локальну мережу, та забезпечує всім користувачам вихід в Інтернет. З його допомогою також можна отримати доступ до пристроїв зберігання інформації або принтерів, підключених до його високошвидкісних USB портів. D-Link DI-624S здатний здійснювати підключення бездротових пристроїв на швидкості до 108 Мбіт/с. В ноутбуках може використовуватися мобільна технологія Intel Centrino, а в стаціонарних комп'ютерах Wi-Fi адаптери D-Link DWL-G520.

Особливий інтерес представляє бездротовий маршрутизатор D-Link DI-634M. Крім всіх перерахованих вище достоїнств маршрутизатора D-Link DI-624S цей пристрій підтримує ще й технологію MIMO - Multiple Input Multiple Output, що забезпечує більший радіус покриття мережі. Працюючи в діапазоні

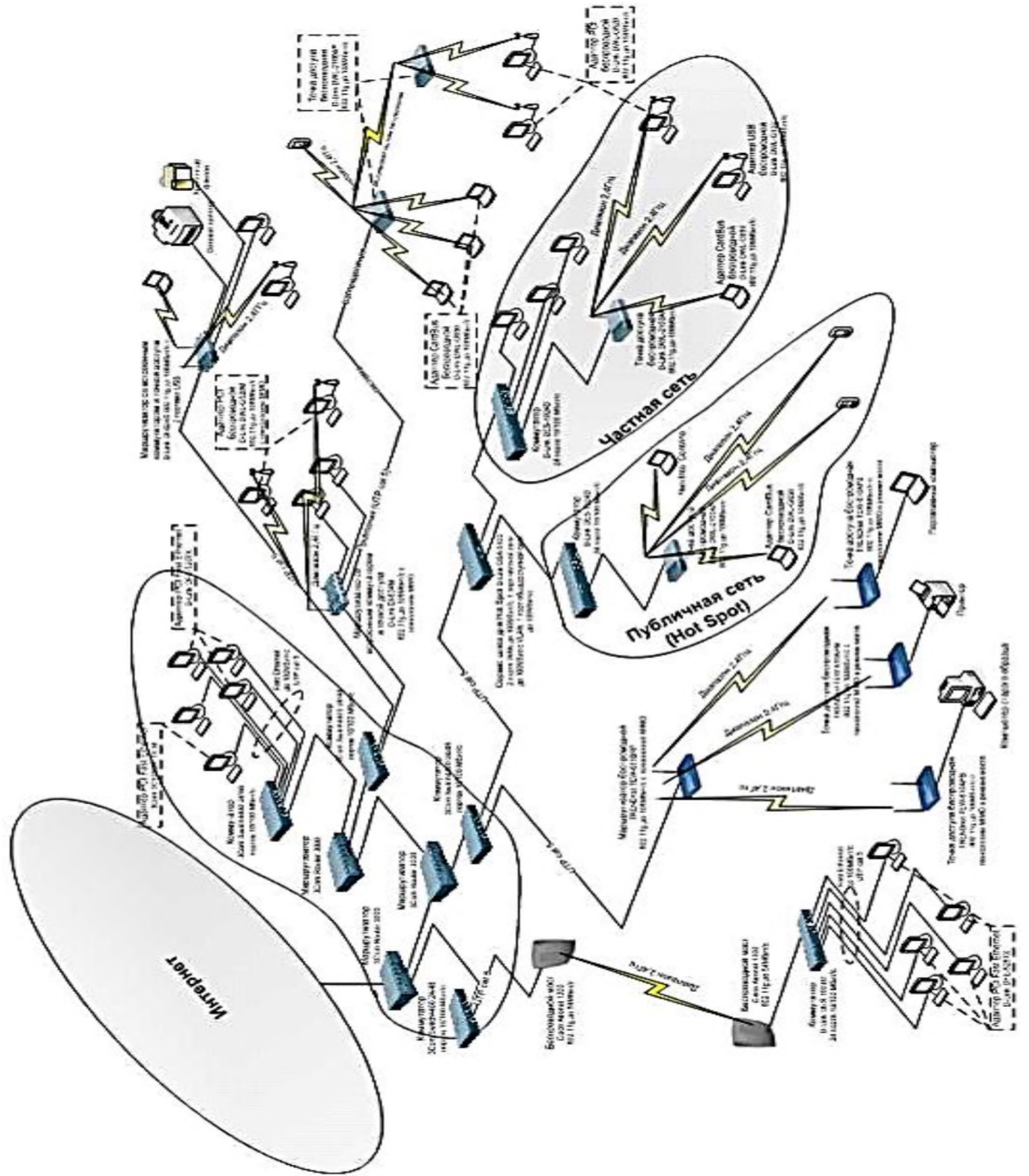
частот 2,4 ГГц, DI-634M передає інформацію через безліч антен (Multiple Output) з високим коефіцієнтом посилення. У процесі поширення радіосигнали зазвичай відбиваються від об'єктів, що зустрічаються на їхньому шляху, створюючи безліч маршрутів, що призводить до їх інтерференції і загасання. Маршрутизатор DI-634M використовує ефект багатопроменевого поширення для збільшення дальності передачі інформації, об'єднуючи сигнали, прийняті декількома антенами (Multiple Input) на різних частотах і підвищуючи, за рахунок цього, потужність вихідного сигналу. В результаті DI-634M скорочує кількість «мертвих» зон і передає потужні сигнали на великі відстані з високими швидкостями, достатніми для роботи потокових додатків і передачі великих файлів. Настільні ПК підключаються до нього за допомогою бездротових адаптерів D-Link DWL-G520M також з підтримкою технології MIMO. Через порт Ethernet маршрутизатор зв'язується з точкою доступу D-Link DWL-2100AP. Ця точка доступу підтримує високошвидкісні (до 108 Мбіт/с) з'єднання з бездротовими адаптерами Wi-Fi D-Link DWL-G650, встановленими в мобільні комп'ютери користувачів. Через бездротову систему розподілу дана точка доступу D-Link DWL-2100AP зв'язується з аналогічною точкою доступу D-Link DWL-2100AP.

Сервісний шлюз D-Link DSA-5100 забезпечує підключення користувачів до загальнодоступної мережі, в той же час, дозволяючи ізолювати і захищати приватну мережу, яка використовує той же канал зв'язку з Інтернет. В обох мережах застосовуються бездротові точки доступу D-Link DWL-2100AP, для поліпшення якості прийому або для збільшення зони покриття можна використовувати додаткові точки доступу, які підтримують швидкість до 108 Мбіт/с. Крім бездротових адаптерів D-Link DWL-520G і D-Link DWL-650G, користувачі можуть використовувати адаптер D-Link DWL-G132, який за

характеристиками не відрізняється від зазначених двох, тільки виконаний в компактному корпусі з USB роз'ємом.

Деякі точки доступу можуть працювати в декількох режимах, наприклад, в режимі бездротового мосту. Яскравим прикладом цього може служити точка доступу американської фірми TRENDnet TEW-610APB, що підтримує технологію MIMO. Вона перетворює будь-який пристрій, наприклад, принтер, портативний або настільний комп'ютер, навіть ігрову консоль в бездротовий мережевий пристрій. Такі точки доступу підключаються до бездротового маршрутизатора TRENDnet TEW-611BRP, який дозволяє збільшити зону охоплення бездротової високошвидкісної мережі в кілька разів за допомогою технології MIMO.

Спеціально розроблена для роботи в вуличних умовах точка доступу/міст Cisco Aironet серії 1300 фірми Cisco дозволяє з'єднати комп'ютери, підключені до некерованого комутатора D-Link DES-1024D, з провідним сегментом інтегрованої мережі за допомогою бездротового з'єднання на швидкості до 54 Мбіт/с.



Малюнок 1.40 – Архітектура інтегрованої мережі на базі технологій Ethernet і Wi-Fi

2.3 Висновки

1 Розроблено принципи побудови інтегрованої мережі на базі технологій Ethernet і Wi-Fi.

2 Сформульовано вимоги до розроблюваної мережі і способи сполучення дротового і бездротового сегментів.

3 Обрано пристрої, що відповідають сформульованим вимогам.

4 На базі обраних пристроїв розроблена архітектура інтегрованої мережі доступу на базі технологій Ethernet і Wi-Fi.

Розділ третій: ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

В цьому проекті розроблена архітектура інтегрованої мережі доступу на базі технологій Ethernet и Wi-Fi. У економічному розділі розраховуються одноразові капітальні витрати на розробку архітектури системи.

3.1 Розрахунки

3.1.1 Визначення трудомісткості розробки архітектури

Трудомісткість створення архітектури визначається тривалістю кожної робочої операції, починаючи зі складання технічного завдання й закінчуючи оформленням документації (за умови роботи одного проектувальника):

$$t = tmz + tv + ta + tnp + tonp + td \text{ [год]}. \quad (3.1)$$

де tmz – тривалість складання технічного завдання на впровадження методу;

tv – тривалість вивчення технічного завдання (ТЗ) та літературних джерел за темою;

ta – тривалість розробки архітектури;

tnp – тривалість модулювання віртуального аналога каналу зв'язку;

$tonp$ – тривалість опрацювання здобутих характеристик;

td – тривалість підготовки технічної документації.

Вихідні дані для визначення трудомісткості створення архітектури приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Тривалість розробки архітектури

$t_{mз}$, год	$t_{в}$, год	t_{a} , год	t_{np} , год	t_{onp} , год	t_{∂} , год
40	50	65	25	20	30

Розрахуємо трудомісткість розробки архітектури за формулою (3.1):

$$t = 40+50+65+25+20+30=230 \text{ [год]}.$$

3.1.2 Розрахунок витрат на розробку архітектури

Витрати на розробку архітектури $K_{пз}$ складаються з витрат на заробітну платню розробника $З_{зп}$ і вартості витрат машинного часу, що необхідний для опрацювання моделі мережі на ПК $З_{мч}$:

$$K_{пз} = З_{зп} + З_{мч} \text{ [грн]} \quad (3.2)$$

Заробітна плата виконавця враховує основну і додаткову заробітну плату, а також відрахування на соціальні потреби (пенсійне страхування, страхування на випадок безробіття, соціальне страхування тощо) і визначається за формулою:

$$Z_{3n} = Z_{3n} \cdot t \cdot Z_{3n} [\text{грн}]. \quad (3.3)$$

де t – трудомісткість створення архітектури;

Z_{3n} дорівнює 90 грн/год.

Розрахуємо заробітну платню проектувальника за формулою (3.3):

$$Z_{3n} = 230 \cdot 90 = 20700,00 [\text{грн}].$$

Вартість машинного часу на ПК визначається за формулою:

$$Z_{\text{мч}} = (t_a + t_{np} + t_{onp} + t_{\partial}) \cdot C_{\text{мч}} [\text{грн}]. \quad (3.4)$$

де $C_{\text{мч}}$ – вартість 1 години машинного часу ПК, грн/година.

Вартість 1 години машинного часу ПК визначається за формулою:

$$C_{\text{мч}} = P_e \cdot t \cdot C_e + \frac{\Phi_{\text{перв}} \cdot H_a}{F_p} + \frac{K_{\text{лнз}} \cdot H_{\text{анз}}}{F_p} [\text{грн/год}], \quad (3.5)$$

де P_e – встановлена потужність ПК;

t – трудомісткість створення архітектури;

C_e – енерговитрати;

$\Phi_{\text{перв}}$ – первісна вартість ПК на початок року;

H_a – річна норма амортизації на ПК;

$K_{\text{лнз}}$ – вартість ліцензійного програмного забезпечення;

$Напз$ – річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення;

Fr – річний фонд робочого часу (за 40-годинного робочого тижня).

Енерговитрати розраховуються за формулою:

$$C_e = P_e \cdot C_{кВт} \text{ [грн/год]}, \quad (3.6)$$

де $C_{кВт}$ - тариф на електричну енергію.

Розрахунок витрат на розробку архітектури зводимо в таблицю 3.2

Таблиця 3.2 – Розрахунок витрат на розробку архітектури

P_e , кВт	$C_{кВт}$ кВт·год	$\Phi_{перв}$, грн	$На$, частка одиниці	$Клиз$, грн	$Напз$, частка одиниці	Fr , год
1,32	1,60	19400,00	0,4	8230,00	0,4	1920,00

Тоді за формулою (3.6) отримаємо розмір енерговитрат:

$$C_e = 1,32 \cdot 1,60 = 2,11 \text{ [грн/год]}.$$

Річна норма амортизації, якщо використовується метод прискорення зменшеної вартості, визначається за формулою:

$$На = \frac{2}{T} \cdot 100\% \quad (3.7)$$

де T – строк корисного використання ПК, дорівнює 5 років.

Розрахуємо річну норму амортизації за формулою (3.7):

$$Ha = \frac{2}{5} \cdot 100\% = 40\% = 0,40 \text{ [частки одиниці]}.$$

Строк корисного використання ліцензійного програмування дорівнює 5 років.

Річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення визначається за формулою (3.7):

$$Ha_{пз} = \frac{2}{5} \cdot 100\% = 40\% = 0,40 \text{ [частки одиниці]}.$$

Ліцензійне програмне забезпечення, яке використовується в даному випадку Microsoft Windows 7 Professional. Його вартість 8230 грн.

Вартість 1 години машинного часу ПК визначаються за формулою (3.5):

$$C_{мч} = 1,32 \cdot 230 \cdot 1,60 + \frac{19400 \cdot 0,40}{1920} + \frac{8230 \cdot 0,40}{1920} = 491,51 \text{ [грн/год]}$$

Розрахуємо вартість машинного часу за формулою (3.4):

$$Z_{мч} = (65 + 25 + 20 + 30) \cdot 491,51 = 68811,40 \text{ [грн]}.$$

Отже, підставивши отримані результати у формулу (3.2), отримаємо величину витрат на розробку архітектури:

$$K_{пз} = 20700,00 + 68811,40 = 89511,40 \text{ [грн]}.$$

3.1.3 Розрахунок капітальних витрат

Загальні капітальні витрати на розробку визначаються за формулою:

$$KЗ = Kпз + Kнавч + Kн \text{ [грн]}, \quad (3.8)$$

де $Kнавч$ - витрати на навчання технічних фахівців і обслуговуючого персоналу;

$Kн$ - Витрати на встановлення обладнання та налагодження системи.

Дані о витратах на розробку архітектури зводимо в таблицю 3.3

Таблиця 3.3 – Витрати на розробку архітектури

$Kпз$, грн	$Kнавч$, грн	$Kн$, грн
89511,40	5800,00	1400,00

Отже, капітальні витрати становлять:

$$KЗ = 89511,4 + 5800 + 1400 = 96711,40 \text{ [грн]}.$$

3.2 Висновки

В економічному розділі було розраховано:

- 1 Трудомісткість розробки архітектури інтегрованої мережі доступу – 230 год;
- 2 Заробітня платня проектувальника – 20700,00грн;
- 3 Витрати на розробку архітектури – 89511,40 грн;
- 4 Одноразові капітальні витрати на розробку архітектури інтегрованої мережі доступу – 96711,40 грн.

ВИСНОВКИ

- 1 Виконано аналітичний огляд літературних джерел по темі дипломної роботи, що дозволило сформулювати постановку задачі.
- 2 Розроблено принципи побудови інтегрованої мережі на базі технологій Ethernet і Wi-Fi.
- 3 Сформульовано вимоги до розроблюваної мережі і способи сполучення дротового і бездротового сегментів.
- 4 Обрано пристрої, що відповідають сформульованим вимогам.
- 5 На базі обраних пристроїв розроблена архітектура інтегрованої мережі доступу на базі технологій Ethernet і Wi-Fi.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. - СПб.: Питер, 2001.
- 2 Базовые технологии локальных сетей / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. - СПб.: Питер, 1999.
- 3 Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Практическое руководство по изучению, разработке и использованию беспроводных ЛВС стандарта 802.11 / Педжман Рошан, Джонатан Лиэри. - М.: Cisco Press Перевод с английского Издательский дом «Вильямс», 2004.
- 4 Современные технологии беспроводной связи / Шахнович И. - М.: Техносфера, 2004.
- 5 Сети и системы радиодоступа / Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. - М.: Эко-Трендз, 2005.
- 6 Анатомия беспроводных сетей / Сергей Пахомов. - Компьютер-Пресс, №7, 2002.
- 7 Беспроводные сети. Первый шаг / Джим Гейер. - М.: Издательство: Вильямс, 2005.
- 8 Официальный сайт компании Flylink - <http://flylink.ru>
 - . Официальный сайт компании Cisco Systems - <http://www.cisco.com/>
 - . Официальный сайт компании D-Link - <http://dlink.ru>
 - . Официальный сайт компании Linksys - <http://www-ru.linksys.com>
 - . Официальный сайт компании TRENDnet - <http://www.trendshop.ru>

9 Специализированный портал, посвященный беспроводным технологиям -
<http://www.wireless.ru/wireless>

ДОДАТОК А: Відомість матеріалів дипломної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат		
2	A4	Список умовних скорочень		
3	A4	Зміст		
4	A4	Вступ		
5	A4	Стан питання. Постановка задачі		
6	A4	Спеціальна частина		
7	A4	Економічний розділ		
8	A4	Висновки		
9	A4	Перелік посилань		
10	A4	Додаток А		
11	A4	Додаток Б		
12	A4	Додаток В		

ДОДАТОК В: Відгук керівника дипломної роботи

ВІДГУК на дипломну роботу

Студента(ки) _____ гр.

(прізвище, ім'я)

на тему:

Актуальність теми

Повнота розкриття теми

Теоретичний рівень

Практична значущість

Самостійність виконання роботи

Якість оформлення, загальна та спеціальна грамотність

Переваги та недоліки роботи

Загальна оцінка роботи та висновок щодо рекомендації до захисту в ДЕК

Науковий керівник

к.ф.-м.н., професор

(посада)

(підпис)

Гусєв О.Ю.

(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2019 р.