

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Підвищення продуктивності існуючої корпоративної локальної мережі
підприємства на базі технологій Ethernet
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІМІМ-19-2
Кононенко І.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та
радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-
мережна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Ширяєв А.В.
(прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Безрук В.М.
(прізвище, ініціали)

2021 p.

Не містить відомостей, заборонених до відкритого публікування

Студент _____ /Кононенко І.В./
Керівник _____ /Ширяєв А.В./

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ *інфокомунікацій* _____
Кафедра _____ *інформаційно-мережної інженерії* _____
Рівень вищої освіти _____ *другий (магістерський)* _____
Спеціальність _____ *172 Телекомунікації та радіотехніка* _____
(код і повна назва)
Тип програми _____ *Освітньо-наукова* _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня-наукова програма _____ *Інформаційні мережі зв'язку* _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«_____» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ *Кононенко Ігорю Вячеславовичу* _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ *Підвищення продуктивності існуючої корпоративної* _____
локальної мережі підприємства на базі технологій Ethernet _____

затверджена наказом по університету від «12» *березня* _____ 2021 р. № 350 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії «19» *травня 2021* р.

3. Вихідні дані до роботи *Побудова методів підвищення ефективності локальної* _____
мережі зв'язку розробленої корпоративної локальної мережі, що складається з _____
територіально рознесених головного офісу та двох філій. Зробити розрахунок _____
максимально досяжної пропускної здатності для мереж з комутацією пакетів та _____
методом колективного доступу для клієнтів WiFi на їх основі зробити висновки щодо _____
використання оптимального обладнання для цієї мережі. Отримані результати _____
проаналізувати та на їх основі зробити висновки та рекомендації щодо підвищення _____
ефективності локальної мережі _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
Вступ та висновки _____

1. Огляд існуючих технологій для розробки локальної мережі _____

2. Постановка задачі _____

3. Розрахунок імовірності своєчасної доставки повідомлень для поставленого завдання _____

4. Розрахунок максимальної досяжної пропускної здатності для мереж з комутацією _____
пакетів _____

5. Розрахунок максимальної досяжної пропускної здатності для клієнтів WiFi мережі в _____
умовах дії механізму колективного доступу _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Слайди у форматі Power Point (мета роботи, топологія мереж, вибір каналної технології для дротового з'єднання, вибір каналної технології для бездротового з'єднання, WiFi з частотою 2,4 ГГц, WiFi з частотою 5 ГГц, проблеми безпеки дротового з'єднання, проблеми безпеки бездротового з'єднання, забезпечення безпеки локальної мережі, постановка задачі, рішення поставленої задачі, механізми колективного доступу для WiFi клієнтів, розрахунок максимально досяжної пропускної здатності для клієнтів WiFi мережі, висновок)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.</i>	25.01.2021	
2	<i>Підбір літератури за темою роботи.</i>	26.01 – 02.02.21	
3	<i>Виконання розділу 1</i>	03.02 – 15.02.21	
4	<i>Виконання розділу 2</i>	16.02 – 28.02.21	
5	<i>Виконання розділу 3</i>	01.03 – 14.03.21	
6	<i>Виконання розділу 4</i>	15.03 – 25.03.21	
7	<i>Виконання розділу 5</i>	26.03 – 10.04.21	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	11.04 – 27.04.21	
9	<i>Оформлення презентаційного матеріалу, підготовки до захисту у ЕК</i>	28.04 – 10.05.21	

Дата видачі завдання _____ 25.01.2021

Студент _____

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

доц. Ширяєв А.В.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 98 с., 35 рис., 18 табл., 27 джерел, 2 додаток.

Об'єкт дослідження – технології та принципи побудови корпоративних локальних мереж та забезпечення її роботи.

Мета роботи – підвищення продуктивності існуючої корпоративної локальної мережі підприємства на базі технологій Ethernet.

Проведено розрахунки максимально досяжної пропускної здатності. Проводиться аналіз розрахованих значень пропускної здатності в умовах дії механізму колективного доступу.

LAN, WLAN, ETHERNET, БЕЗПЕКА МЕРЕЖІ, ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ КЛІЄНТІВ WIFI, ЙМОВІРНІСТЬ ДОСТАВКИ ПОВІДОМЛЕНЬ, МЕХАНІЗМИ КОЛЕКТИВНОГО ДОСТУПУ.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 98 p., 35 fig., 18 tabl., 27 sources, 2 app.

The object of research is technologies and principles of construction of corporate local area networks and maintenance of its work.

The purpose of the work is to increase the productivity of the corporate local area network of the industry on basic Ethernet technologies.

The calculations of the maximum achievable bandwidth were performed. The analysis of the calculated values of bandwidth in the conditions of operation of the collective access mechanism is carried out.

LAN, WLAN, ETHERNET, NETWORK SECURITY, NETWORK TOPOLOGIES, WIFI CUSTOMER CAPACITY, MESSAGE DELIVERY PROBABILITY, COLLECTIVE ACCESS MECHANISMS.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ.....	12
1.1 Технологія Ethernet.....	13
1.2 Технологія Fast Ethernet.....	14
1.3 Технологія Gigabit Ethernet.....	20
1.4 Технологія WiFi.....	22
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	34
2.1 Технічні вимоги до локальної мережі.....	34
2.2 Вимоги до технологій.....	36
2.3 Вимоги до безпеки.....	41
2.3.1 Аналіз загроз мережевої безпеки.....	41
2.3.2 Проблеми безпеки IP-мереж.....	41
2.3.3 Засоби забезпечення інформаційної безпеки.....	42
2.4 Вимоги до часу розгортання.....	42
3 РОЗРАХУНОК ІМОВІРНОСТІ СВОЄЧАСТНОЇ ДОСТАВКИ ПОВІДОМЛЕННЯ ДЛЯ ПОСТАВЛЕНОГО ЗАВДАННЯ.....	45
3.1 Загальні відомості.....	45
3.2 Розрахунок ймовірності своєчасної доставки повідомлень.....	50
4 РОЗРАХУНОК МАКСИМАЛЬНО ДОСЯЖНОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ДЛЯ МЕРЕЖ КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВ.....	65
5 РОЗРАХУНОК МАКСИМАЛЬНО ДОСЯЖНОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ДЛЯ КЛІЄНТІВ WIFI МЕРЕЖІ В УМОВАХ ДІЇ МЕХАНІЗМУ КОЛЕКТИВНОГО ДОСТУПУ.....	71
5.1 Механізми колективного доступу в мережах 802.11.....	71
5.2 Розрахунок максимально досяжної пропускної здатності для клієнтів WiFi.....	80
5.3 Аналіз розрахованих значень пропускної здатності для клієнтів WiFi мережі в умовах дії механізму колективного доступу.....	81
ВИСНОВОК.....	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	84
ДОДАТОК А.....	86
ДОДАТОК Б.....	95

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ACK – Acknowledgement field is significant;
- AES – (Advanced Encryption Standard) стандарт симетричного алгоритму блочного шифрування США;
- AP – (Access Point) точка доступу;
- CSMA/CD – (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) множинний доступ з прослуховуванням несучої і виявленням колізій;
- CTS – Clear To Send;
- DIFS – DCF Interframe Space;
- DoS – (Denial of Service) «Відмова в обслуговуванні»;
- ECMA – European Computer Manufacturers Association;
- FDDI – (Fiber Distributed Data Interface) волоконно-оптичний розподільний інтерфейс передачі даних;
- IEEE – (Institute of Electrical and Electronic Engineers) міжнародна некомерційна асоціація фахівців в області техніки;
- IP – (Internet Protocol) «Міжмережвий протокол»;
- LAN – (Local Area Network) локальна обчислювальна мережа;
- LLC – (Logical Link Control) підрівень управління логічним зв'язком;
- MAC – (Media Access Control) управління доступом до середовища;
- OS – (Operating System) операційна система;
- PHY – (Physical layer) фізичний рівень;
- RTS – Request To Send;
- SSID – (Service Set Identifier) унікальне найменування безпроводової мережі;
- SIFS – Short Interframe Space;
- TCP – (Transmission Control Protocol) протокол керування передачею;
- VPN – (Virtual Private Network) віртуальна приватна мережа;
- WAN – (Wide Area Network) глобальна комп'ютерна мережа;
- WAVE – (Wireless Access in Vehicular Environment) бездротовий доступ в транспортному середовищі;
- WECA – (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) альянс сумісністю безпроводного обладнання Ethernet;

– WEP – (Wired Equivalent Privacy) алгоритм для забезпечення безпеки мереж WiFi;

– WiFi – (Wireless Fidelity) «Бездротова прихильність»;

– WLAN – (Wireless Local Area Network) бездротова локальна мережа;

– WPA – (WiFi Protected Access) програма сертифікації бездротового зв'язку;

– ІС – інформаційні системи;

– КК – комутація каналів;

– МР – мережний рівень;

– САПР – системи автоматизованого проектування;

– ТІХ – тимчасово-імовірнісні характеристики;

– ТР – транспортний рівень;

– ЕМВВС – еталонна модель взаємодії відкритих систем.

ВСТУП

Глобальна інформаційна інфраструктура – грає велику роль у повсякденному житті людей, тому як на сьогоднішній день у світі існує безліч комп'ютерів і практично усі вони об'єднанні в інформаційні мережі, від невеликих локальних мереж зв'язку до глобальних мереж зв'язку типу Internet.

Потреба щодо об'єднання комп'ютерів у мережі зв'язку обумовлена тим, щоб зменшити навантаження на діяльність людини, прискорити передачу інформації, повідомлень, дати користувачам цієї мережі можливість швидко обмінюватися інформацією, одержувати та передавати повідомлення, і при цьому не відходити від робочого місця. Internet дає змогу миттєво одержувати будь-яку інформацію практично з будь-якої точки світу, а так само обмін інформації між комп'ютерами різних країн працюючих, які працюють завдяки різним програмним забезпеченням.

Взагалі поняття глобальної інформаційної інфраструктури звучить так – складна система, що надає користувачам набір телекомунікаційних послуг, які забезпечують відкриту кількість додатків і охоплюють всі види інформації та можливість її отримання в будь-якому місці, будь-якого часу за прийнятною ціною і з прийнятною якістю. Елементарною частиною цієї інфраструктури є локальні мережі зв'язку, які представляють собою осередки телекомунікаційної мережі підприємств, провайдерів, організацій, банків тощо.

Інформаційна мережа несе в собі величезні потенційні можливості, при виробі нових технологій, нових алгоритмів передачі інформації, новому обладнанню. Все це використовується для розробки мережі зв'язку, яка має більшу швидкість, надійність передачі інформації, що і є найважливішим при розробці інформаційної мережі зв'язку.

Завдяки локальній обчислювальній мережі (англ. Local Area Network, LAN) декілька окремих комп'ютерних місць до єдиного каналу передачі даних, завдяки цьому користувачам наприклад однієї фірми одночасно використовувати спеціальне, або не спеціальне програмне забезпечення фірми, і бази даних, які необхідні для автоматизованої роботи кожного з користувачів.

Поняття локальної обчислювальної мережі це – об'єднання певного числа комп'ютерів на відносно невеликій території. В порівнянні з глобальною

мережею (WAN), локальна мережа зазвичай має більшу швидкість обміну даними, менше географічне покриття та відсутність необхідності використовувати запозичену телекомунікаційну лінію зв'язку.

Таке з'єднання надає змогу користувачу взаємодіяти з іншими комп'ютерами, підключеними до цієї LAN.

Виробнича практика показує, що LAN відіграє дуже велику роль. За допомогою LAN у єдину інформаційну систему об'єднуються персональні комп'ютери, які розміщуються на віддалених місцях, у нашому випадку вони знаходяться у різних будівлях, вони використовують спільне устаткування, програмні засоби та інформацію. З моменту підключення їх за допомогою LAN, робочі місця співробітників перестають бути ізольованими і поєднуються в єдину систему.

Розробка корпоративної локальної мережі зв'язку для однієї з провідних ІТ-компаній, яка має багато замовників як нашої, так і зарубіжної країни. Для розробки корпоративної локальної мережі ми використовуємо підключення за допомогою дротяних і бездротових технологій Ethernet.

Підвищення продуктивності існуючої корпоративної локальної мережі. Для підвищення продуктивності корпоративної локальної мережі проводимо розрахунок максимально досяжної пропусної здатності клієнтів WiFi.

У кваліфікаційній роботі розглядаються особливості функціонування інформаційних мереж з комутацією повідомлень і комутацією пакетів, вираження ймовірності $P\{t_d \leq t\}$ своєчасної доставки повідомлення, а також аналіз логічних структур транспортування даних. Також у роботі розглядаються питання підвищення продуктивності пропусної здатності каналів зв'язку для клієнтів WiFi мережі.

Результати розрахунків є складовою частиною САПР для розробки архітектури інформаційних мереж і служать для перевірки задоволення розробленої мережею заданих тимчасово-імовірнісних характеристик.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Час коли людство побачило перші локальні мережі зв'язку пройшло дуже багато часу, багато різних мережевих технологій були розроблені завдяки тому, що популярність LAN зростала з кожним днем, але не всі вони використовуються у наш час. На дану ситуацію значною мірою вплинули великі компанії, які працювали і розвивали тільки кращі на їх погляд мережеві технології. Але існують і випадки, коли стандартні мережі, не забезпечують гарного обміну інформацією. Проте через те що за їх випуск відповідають компанії гіганти, вони випускаються у великій кількості, та незначну вартість. В свою чергу виробники усієї мережевої продукції орієнтуються на те, яка з мережевих технологій на даний момент є однією із розповсюджених у світі.

На даний момент у по всьому світу встановлено мережеве обладнання, більша кількість споживачів не прагне покращувати свою мережу, тому як їх повністю влаштовує існуюча мережа. Для розробки взагалі нової більш швидкої, сучасної мережі зв'язку існує необхідність у проведенні наукових досліджень, ціна яких може коштувати великих грошей. Тому ці два фактори призводять до того, що кількість мереж зв'язку, які використовують зменшилось.

Мережева технологія – це погоджений набір стандартних протоколів і реалізуючі їх програмно-апаратні засоби, достатніх для побудови обчислювальної мережі зв'язку.

У проектуванні локальних мереж основна роль відводиться протоколам фізичного і каналного рівнів моделі OSI. Специфіка локальних мереж, в яких використовується поділюване середовище передачі даних, знайшла своє відображення в поділі каналного рівня на два підрівні: логічної передачі даних (Logical Link Control), рівень LLC, і управління доступом до мережі зв'язку (Media Access Control), рівень MAC.

Рівень MAC забезпечує коректне використання загального середовища передачі даних, коли за певним алгоритмом будь-який вузол отримує можливість передачі свого кадру даних. В сучасних обчислювальних мережах мають поширення кілька протоколів рівня MAC: Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit

Ethernet, 100VG-AniLAN, Token Ring, FDDI. Рівень LLC організовує передачу кадрів даних з різним ступенем надійності, для користувачів мережі зв'язку.

1.1 Технологія Ethernet

Ethernet представили у світі в 1972 році (розробником виступила відома фірма Xerox). Він набув великого поширення в стандартних мережах зв'язку. У 1980 році завдяки тому, що мережа зв'язку швидко набувала обертів, нею зацікавились та підтримали великі компанії як, DEC і Intel. Коли ці дві компанії взяли за даний стандарт вони організували компанію, та назвали її по перших літерах свої назв, та отримали DIX. Після 5 років сумісної праці зазначених вище компаній у 1985 році Ethernet визнали міжнародним стандартом та отримала підтримку від комітету IEEE та ECMA.

Мережу Ethernet вважають стандартом 802. Він має концепцію CSMA/CD іншими словами це множинний доступ до моноканалу, з використання шини, виявленням помилок, та контролем передачі. Оскільки цей стандарт має дуже легку структуру побудови, тому інші мережі можуть з ним працювати, але часто буває таке що між собою мережі 802.3 є несумісними за різними частинами характеристик. Основні характеристики 802.3 наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики початкового стандарту IEEE 802.3:

Характеристика	Опис
Топологія мережі зв'язку	Шина
Максимальна довжина мережі	5 км
Максимальна кількість абонентів	До 1024
Середовище передачі каналу зв'язку	Коаксіальний кабель
Метод доступу	CSMA/CA
Передача вузькосмугова	Без модуляції (моноканал)
Швидкість передачі каналу зв'язку	10 Мбіт/с
Довжина сегмента мережі	До 500 м
Кількість абонентів на одному сегменті мережі	До 100

Завдяки цьому можна побачити, що між стандартами IEEE 802.3 і Ethernet існують незначні відмінності, які не беруть до уваги.

Технологія Ethernet найпопулярніша з мережі зв'язку, її використовують більшість користувачів. Навідміну від початкової версії де використовувалися коаксіальний кабель двох типів, наразі після стількох років розробки нових версій. У мережі Ethernet використовують для передачі як виту пару так і волоконно-оптичні кабелі.

Увесь розвиток цієї технології почав добре себе проявляти після того, як усі параметри, характеристики та протоколи з'явилися у відкритому доступі, завдяки чому багато виробників по всьому світу почали випуск обладнання Ethernet, це сприяло тому, що обладнання працювало та мало сумісність навіть від різних виробників.

1.2 Технологія Fast Ethernet

Fast Ethernet – стандарт протоколу канального рівня, працює за допомогою волоконно-оптичного та мідного кабелю, зі швидкістю 100 Мбіт/с Затвердження IEEE у 1995 році, та отримала назву 802.3u. Вона є спадкоємицею стандарту Ethernet IEEE 802.3. 802.3u бере деякі з характеристик з попередніх версій це: формат кадру мережі зв'язку, механізм доступу до середовища CSMA/CD і топологію зірка мережі зв'язку. Розвиток технології в цілому змінився лише в кількох сегментах фізичного рівня, що дозволило збільшити пропускну здатність, включаючи типи застосовуваного кабелю, довжину сегментів і кількість концентраторів.

Структура Fast Ethernet має значну кількість режимів роботи, де інформація проходить кожен з них та передається отримувачу.

Так само як і структура Ethernet, Fast Ethernet має три рівня:

- пристрій фізичного рівня;
- фізичний рівень;
- канальний рівень.

Порівнянн структури технологій Ethernet та Fast Ethernet наведена на рисунку 1.1.

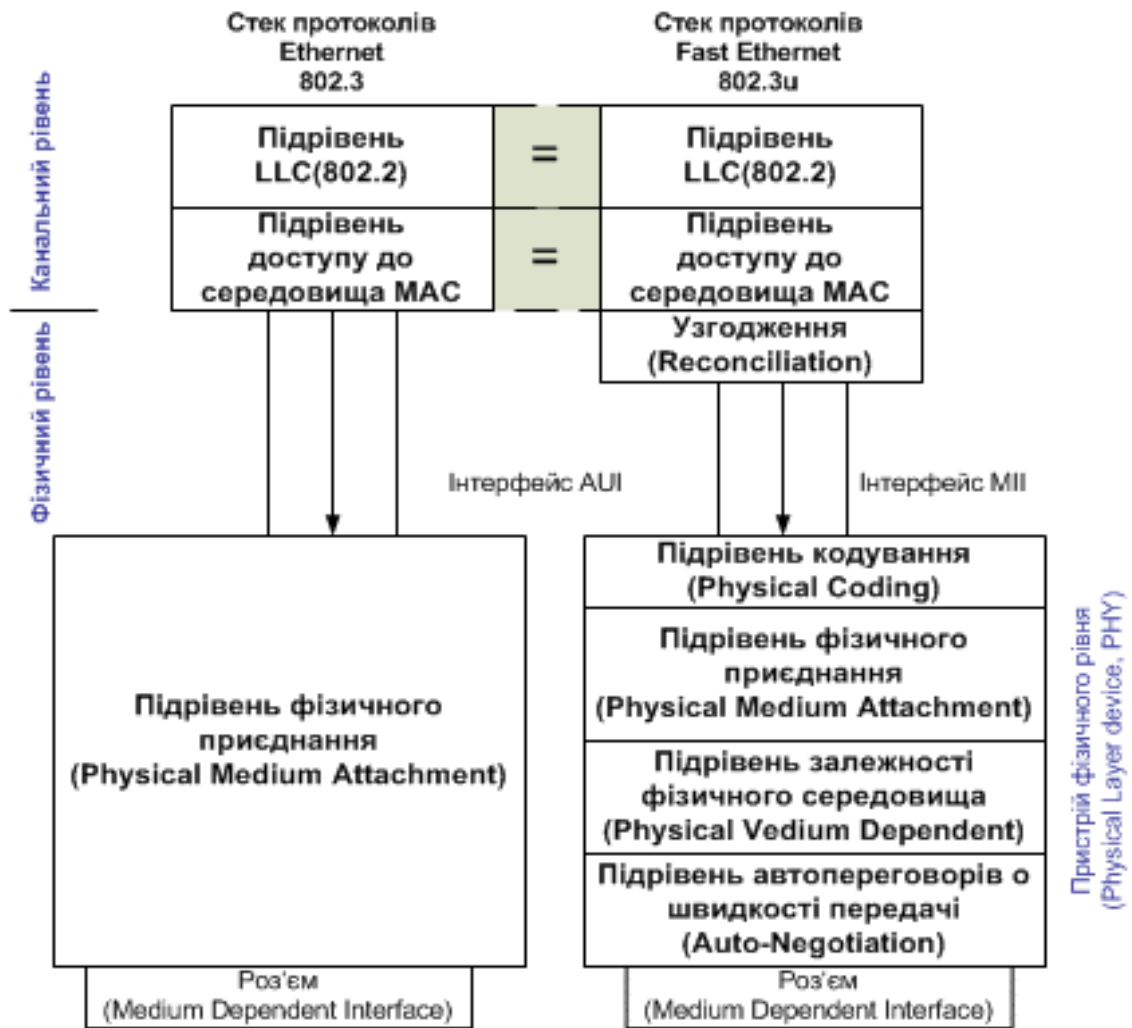


Рисунок 1.1 – Структура технологій E Fast Ethernet

Кожен з цих рівнів має у своєму складі багату кількість підрівнів, опис підрівнів наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Підрівні структури Fast Ethernet

Назва	Опис
Підрівень управління логічним зв'язком	поділяється на підрівень LLC та MAC, забезпечує взаємозв'язок з протоколами більш високого рівня
Підрівень кодування	кодує/декодує дані, які надходять від рівня MAC
Управління доступом до середовища(MAC)	призначення полягає у визначенні, коли вузол мережі зв'язку може передати пакети

Продовження таблиці 1.2

Підрівень автопереговорів	дозволяє двум взаємодіючим портам обрати найбільш ефективний режим роботи
Підрівень узгодження MAC	розрахований на інтерфейс AUI, необхідно перетворити для інтерфейсу МІІ, який використовується у Fast Ethernet
Підрівні фізичного приєднання і залежності від фізичного середовища (PMA і PMD)	здійснюють зв'язок між підрівнем PSC і інтерфейсом MDI

Підрівень управління логічним зв'язком надає комунікаційні послуги, які показані на рисунку 1.2 та має сам заголовок LLC (табл. 1.3)

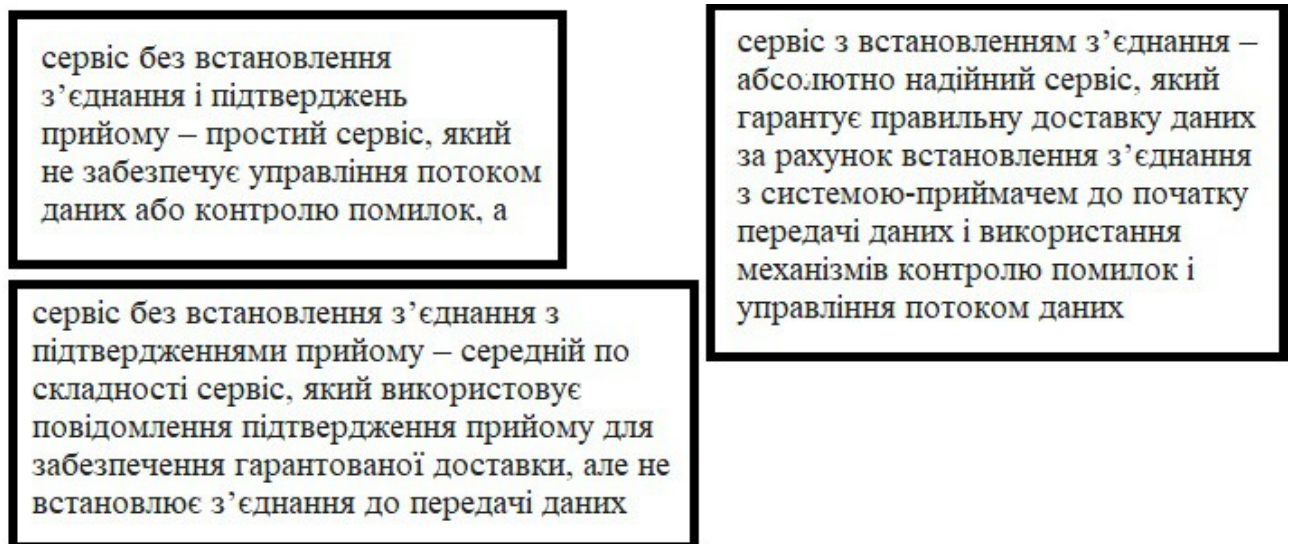


Рисунок 1.2 – Комунікаційні послуги

Таблиця 1.3 – Заголовок LLC

DSAP	точка доступу до сервісу системи-отримувач зазначає, в якому місці буферів пам'яті системи-одержувача слід розмістити дані пакета
SSAP	точка доступу до сервісу системи-джерела виконує такі ж функції для джерела даних, розміщених в пакеті
Поле управління	вказує на тип сервісу, необхідного для даних в PDU і функцій пакета

На основі передачі сигналів Ethernet зі швидкістю 100 Мбіт/с, Fast Ethernet виділяє типи середовищ наведені у таблиці 1.4

Таблиця 1.4 – Типи середовищ Fast Ethernet

Назва	Опис
100Base-TX	дві кручені пари проводів. Передача здійснюється відповідно до стандарту передачі даних в крученому фізичному середовищі, розробленим ANSI. Кручений кабель для передачі даних може бути неекранованим, або екранованим. Використовує алгоритм кодування даних 4В/5В і метод фізичного кодування MLT-3
100Base-FX	дві жили, волоконно-оптичного кабелю. Передача також здійснюється відповідно до стандарту передачі даних в волоконно-оптичному середовищі, який розроблений ANSI. Використовує алгоритм кодування даних 4В/5В і метод фізичного кодування NRZI. Специфікації 100Base-TX і 100Base-FX відомі також як 100Base-X
100Base-T4	це особлива специфікація, розроблена комітетом IEEE 802.3u. Відповідно до цієї специфікації, передача даних здійснюється по чотирьом крученим парам телефонного кабелю, який називають кабелем UTP категорії 3. Використовує алгоритм кодування даних 8В/6Т і метод фізичного кодування NRZI

Кожен з кабелів використовує роз'єм MDI, у випадку коли використовується неекранований кабель це – RJ 45. У випадку використання екранованого кабеля слід використовувати спеціальний роз'єм DB 9, але він зазвичай використовується в мережах Token Ring.

Різновид кабелів крученої пари, які використовуються у різних середовищах Fast Ethernet 100Base-TX:

– UTP – категорії 5, застосовує дві пари проводів, є неекранованим. Призначення контактів наведені у таблиці 1.5;

– STP типу 1 – кабель екранований не є розповсюдженим відносно кабелю UTP, зазвичай використовується там, де є технологія Token Ring. Призначення контактів наведено у таблиці 1.6.

Таблиця 1.5 – Призначення контактів роз'єму MDI кабелю UTP 100Base-TX

Номер контакту	Назва сигналу	Колір проводу
1	Передача (+)	Помаранчевий
2	Передача (-)	Помаранчевий
3	Прийом (+)	Білий/зелений
4	Не використовується	Синій
5	Не використовується	Білий/синій
6	Прийом (-)	Зелений
7	Не використовується	
8	Не використовується	

Таблиця 1.6 – Призначення контактів роз'єму MDI кабелю STP 100Base-TX

Номер контакту	Назва сигналу	Колір проводу
1	Прийом (+)	Помаранчевий
2	Не використовується	
3	Не використовується	
4	Не використовується	
5	Передача (+)	Червоний
6	Прийом (-)	Чорний
7	Не використовується	
8	Не використовується	
9	Передача (-)	Зелений
10	Земля	Оболонка кабелю

Для середовища 100Base-FX використовують зазвичай волоконно-оптичний кабель, який поділяється на:

– багатомодовий кабель – який має діаметр серцевини 50 мікрметра, та для передачі сигналу по ньому використовує світлодіодний приймач;

– одномодовий кабель – який має діаметр серцевини 10 мікрметрів, та для передачі сигналу по ньому використовує лазерний приймач.

Для середовища 100Base-T4 використовують зазвичай кручену пару

категорії 3, 4, 5. Призначення контактів наведені у таблиці 1.7

Таблиця 1.7 – Призначення контактів роз'єму MDI кабелю UTP 100Base-T4

Номер контакту	Назва сигналу	Колір проводу
1	TX D1 +	Білий / помаранчевий
2	TX D1 –	Помаранчевий
3	RX D2 +	Білий / зелений
4	VI D3 +	Синій
5	VI D3 –	Білий / синій
6	RX D2 –	Зелений
7	VI D4 +	Білий / коричневий
8	VI D4 –	Коричневий

Обмежень довжини кабелю у стандарті Fast Ethernet залежать від використання різних типів кабелю та різних типів концентраторів. Загалом цей стандарт використовує два типи концентраторів:

- концентратор I – це такий концентратор, який допомагає підтримувати зв'язок у кабелі з різним типом передачі сигналу;
- концентратор II – це такий концентратор, який підтримує зв'язок тільки з однаковим типом передачі сигналу.

У таблиці 1.8 наведено яка обмежувальна довжина буде при використанні по першу чергу різних сегментів кабелю, по друге різних концентраторів, а також їх кількості, що дуже сильно впливає на довжину. Якщо використовується багато різних способів з'єднання в одній мережі зв'язку, тим менше буде розмір колізій.

Таблиця 1.8 – Нормативи для багатосегментній конфігурації Fast Ethernet

	Один концентратор класу I	Один концентратор класу II	Два концентратора класу II
Всі сегменти мідні (100Base-TX або 100Base-T4)	200 метрів	200 метрів	205 метрів

Продовження таблиці 1.8

Всі сегменти оптоволоконні (100Base-FX)	272 метра	320 метрів	228 метрів
Один сегмент 100Base-T4 і один сегмент 100Base-FX	231 метр	Не застосовується	Не застосовується
Один сегмент 100BaseTX і один сегмент 100Base-FX	260,8 метра	308,8 метра	216,2 метра

1.3 Технологія Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet – цей стандарт каналної технології використовується, ті ж самі параметри, які використовував Fast Ethernet. Для того щоб впровадити Gigabit Ethernet нічого не потрібно робити, окрім узгодження швидкостей обміну. Затвердженна IEEE у 1998 році, та отримала кодову назву 802.3z. Список специфікацій які були введені з технологією Gigabit Ethernet:

- 1000Base-T;
- 1000Base-TX;
- 1000Base-SX;
- 1000Base-LX;
- 1000Base-CX.

Характеристики усіх вище зазначених специфікацій наведено у таблиці 1.9

Тому що швидкість передачі збільшена відносно попередніх стандартів, з'являється необхідність до збільшення мінімальної довжини пакета до 512 байт, тому всі пакети, які мають довжину менше, розширюються до цього значення мінімуму. Gigabit Ethernet використовує блоковий режим для того щоб передати пакети. Якщо в мережа має вільний канал для передачі даних, то абонент, який має якісь пакети для передачі, може передавати їх послідовно, один за одним, в додаток до цього ці пакети можуть мати різні адреси прийому. Ці пакети, які будуть передаватися додатково мають бути невеликого розміру, та так щоб сумарна довжина усіх послідовно передаючих пакетів не була вища за 8192 байти. Завдяки цим параметрам передачі інформації значно знизиться кількість використання мережі і загальне число колізій також зменшиться, що покращить нашу мережу зв'язку.

Але коли використовується блоковий режим передачі даних необхідність у тому, щоб усі пакети розширювалися до 512 байтів немає. Тому як нам вистачить тільки розширення першого пакету за для того, щоб перевірити мережу зв'язку на наявність колізій.

Таблиця 1.9 – Специфікації технології Gigabit Ethernet

	1000BASE-T	1000BASE-TX	1000BASE-SX	1000BASE-LX	1000BASE-CX
Максимальна довжина сегмента	100 метрів	100 метрів	550 метрів	5000 метрів	550 метрів
Кодування	PAM5		PAM5		PAM5
Кабель	UTP-5e	STP-6	Багатомодова оптика	Одномодова оптика	Багатомодова оптика
Топологія	Зірка, Дерево	Зірка, Дерево	Зірка, Дерево	Зірка, Дерево	Зірка, Дерево

Мережа зв'язку Gigabit Ethernet використовує два типи передачі даних. Повнодуплексний – який забезпечує відсутність помилок та не накладає обмеження на канал зв'язку. Напівдуплексний режим не використовується через те, що жоден з виробників мережевого обладнання не підтримав його.

Gigabit Ethernet в першу чергу застосовується у мережах зв'язку, які об'єднують комп'ютери великих підприємств, які розташовуються в декількох будинках. Вона дозволяє за допомогою відповідних комутаторів, що перетворюють швидкості передачі, забезпечити канали зв'язку з високою пропускною здатністю між окремими частинами складної мережі або лінії зв'язку комутаторів з надшвидкодійними серверами. Структуру мережі наведено на рисунку 1.3

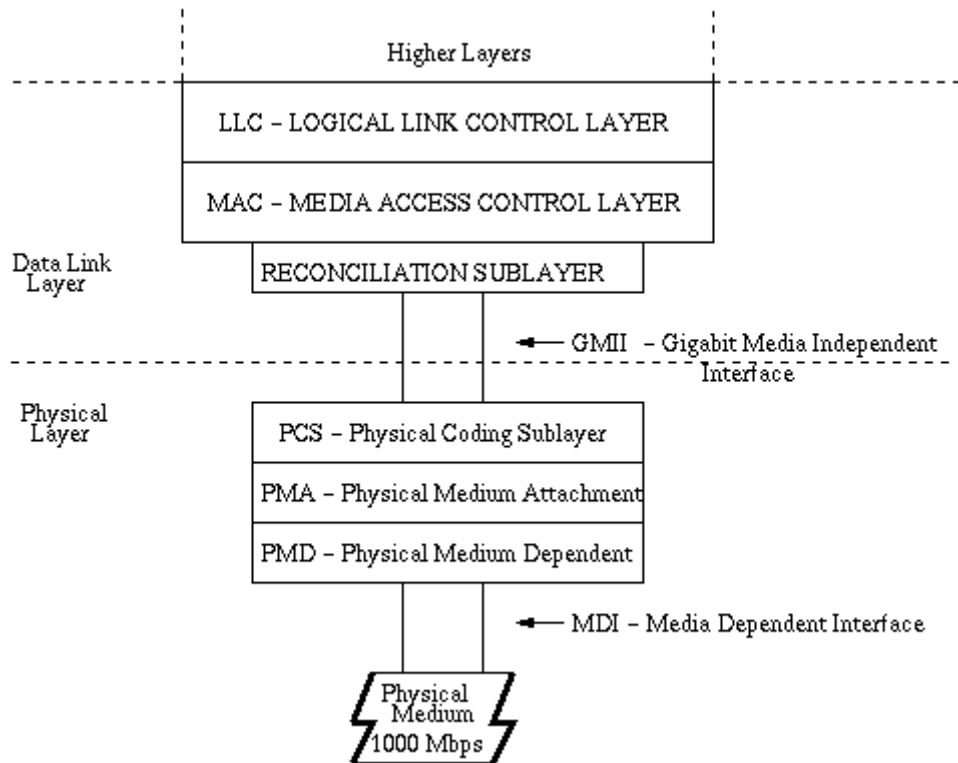


Рисунок 1.3 – Структура технології Gigabit Ethernet

1.4 Технологія WiFi

IEEE 802.11 – стандарт бездротової локальної мережі зв'язку, поділяється на частотні зони 0,9, 2,4, 3,6, 5 або 60 ГГц. Більшості людей у світі він відомий під назвою WiFi. Організація яка займається його розробкою і просуванням має назву WiFi Alliance. Дана технологія набула своєї актуальності у той час коли почала свій розвиток таким пристроїв як, телефон, ноутбук та інші портативні електричні прилади. Прилади зазвичай використовують у русі, у різних точках, що потребує наявності WiFi буквально на кожному кроці.

Стандарт мережі зв'язку WiFi має найнижчі швидкості для передачі даних, через те, що на відміну від провідного підключення, швидкість у бездротовому підключенні залежить від багатьох факторів. Швидкість залежить не тільки від типу використовуваного обладнання та його характеристик, але й від погодних умов у даний час, фізичних перешкод, тощо. У таблиці 1.10 наведено перелік основних стандартів, які з'являються через появу у світі великої кількості портативних пристроїв.

Таблиця 1.10 – Перелік основних стандартів WiFi

Назва стандарту	Параметри	Опис
802.11b	<ul style="list-style-type: none"> – кодування Barker 11 та CCK – модуляції DBPSK та DQPSK – радіочастотна технологія DSSS – максимальні швидкості передачі даних в каналі 1,2,5.5, 11 Мбіт/с 	Описує велику швидкість передачі і вводить більше технологічні
802.11a	<ul style="list-style-type: none"> – кодування Convolution Coding – модуляції BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM – радіочастотна технологія OFDM – максимальна швидкість передачі даних в каналі 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Мбіт/с 	Описує вищу швидкість передачі ніж 802.11b
802.11g	<ul style="list-style-type: none"> – кодування Barker 11 та CCK – модуляції DBPSK та DQPSK – радіочастотна технологія OFDM та DSSS – максимальна швидкість передачі даних в каналі 1, 2, 5.5, 11 Мбіт/с на DSSS та 6, 9, 12, 18, 24, 36, 54 Мбіт/с на OFDM 	Описує таку ж саму швидкість передачі даних як у 802.11a. Використовує частотний канал в діапазоні 2.4 ГГц
802.11n	<ul style="list-style-type: none"> – радіочастотна технологія OFDM – максимальна швидкість передачі даних в каналі 600 Мбіт/с 	Описує частотні діапазони 2.4 і 5 ГГц. Сумісний з 11b/11a/11g

Щоб вдало побудувати мережу WiFi необхідно правильно обрати режим організації завдяки якому обладнання буде розташоване в певному місці. Для того щоб організації бездротових меред існує три режими. Режими наведені у таблиці 1.11. Кожен режим обирається відносно тому середовищі у якому його необхідно розташувати. Приклади можливих MCS (Modulation & Coding Scheme) для 802.11n, а також максимальні теоретичні швидкості передачі даних (transfer) в радіоканалі представлені на рисунку 1.7.

Таблиця 1.11 – Режим організації WiFi

Назва режиму	Опис
Режим Ad-Нос (Independent Basic Service Set (IBSS) або Peer-to-Peer)	даний режим є простою структурою локальної мережі зв'язку, коли абонентські станції (ноутбуки або комп'ютери) працюють у взаємодії безпосередньо один з одним
Режим BSS (Basic Service Set)	у цьому режимі вузли мережі взаємодіють один з одним не безпосередньо, а через точку доступу (Access Point, AP). У режимі BSS все вузли взаємодіють між собою через одну AP, яка може грати роль моста для підключення до зовнішньої кабельної мережі
Режим ESS (Extended Service Set)	цей режим дозволяє об'єднати кілька точок доступу, тобто об'єднує кілька мереж BSS. В даному випадку точки доступу можуть взаємодіяти і один з одним. Розширений режим зручно застосовувати тоді, коли необхідно об'єднати в одну мережу кілька користувачів або підключити кілька провідних чи бездротових мереж

Графічно усі три режими наведено на рисунках 1.4-1.6

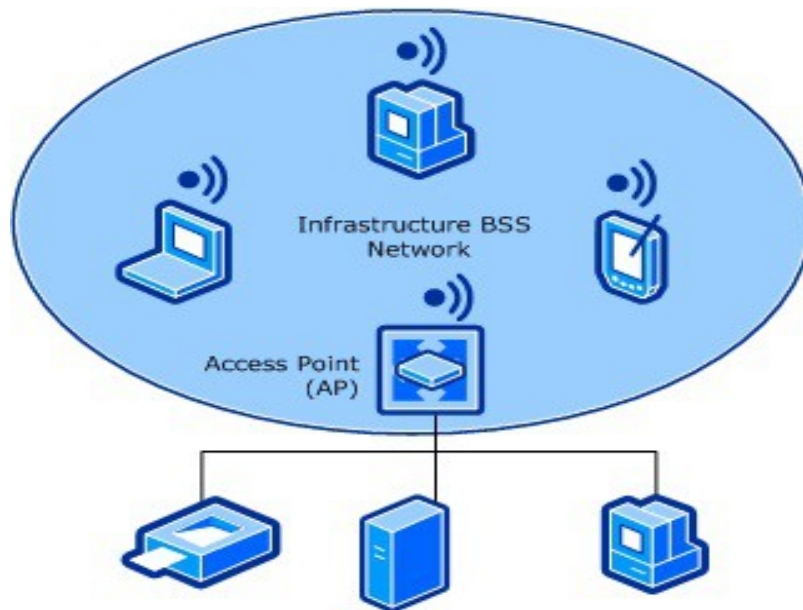


Рисунок 1.4 – Топологія BSS

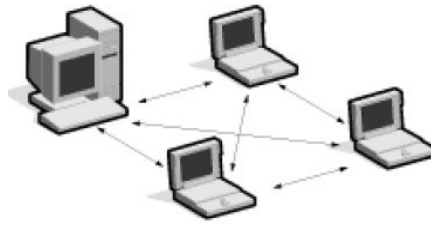


Рисунок 1.5 – Режим IBSS

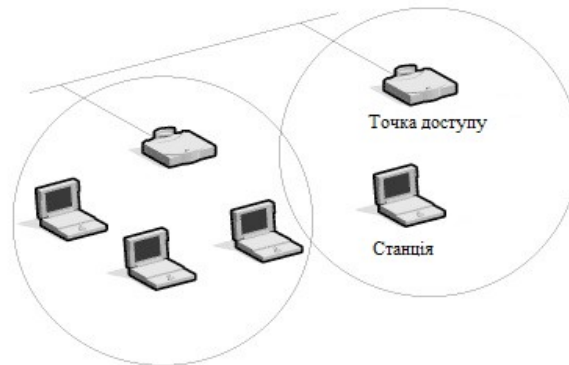


Рисунок 1.6 – Режим ESS

MCS Index	Type	Coding Rate	Spatial Streams	Data Rate (Mbps) with 20 MHz CH		Data Rate (Mbps) with 40 MHz CH	
				800 ns	400 ns (SG1)	800 ns	400 ns (SG1)
0	BPSK	1/2	1	6.50	7.20	13.50	15.00
1	QPSK	1/2	1	13.00	14.40	27.00	30.00
2	QPSK	3/4	1	19.50	21.70	40.50	45.00
3	16-QAM	1/2	1	26.00	28.90	54.00	60.00
4	16-QAM	3/4	1	39.00	43.30	81.00	90.00
5	64-QAM	2/3	1	52.00	57.80	108.00	120.00
6	64-QAM	3/4	1	58.50	65.00	121.50	135.00
7	64-QAM	5/6	1	65.00	72.20	135.00	150.00
8	BPSK	1/2	2	13.00	14.40	27.00	30.00
9	QPSK	1/2	2	26.00	28.90	54.00	60.00
10	QPSK	3/4	2	39.00	43.30	81.00	90.00
11	16-QAM	1/2	2	52.00	57.80	108.00	120.00
12	16-QAM	3/4	2	78.00	86.70	162.00	180.00
13	64-QAM	2/3	2	104.00	115.60	216.00	240.00
14	64-QAM	3/4	2	117.00	130.00	243.00	270.00
15	64-QAM	5/6	2	130.00	144.40	270.00	300.00
16	BPSK	1/2	3	19.50	21.70	40.50	45.00
...
31	64-QAM	5/6	4	260.00	288.90	540.00	600.00

Рисунок 1.7 – Технічні характеристики IEEE 802.11n

Для того щоб реалізувати різні сервісні функції існують так звані додаткові стандарти WiFi. Додаткові стандарти наведені у таблиці 1.12.

Таблиця 1.12 – Додаткові стандарти WiFi

Назва стандарту	Опис
802.11d	дозволяє регулювати смуги частот в пристроях різних виробників за допомогою спеціальних опцій, введених в протоколи управління доступом до середовища передачі
802.11e	описує класи якості QoS для передачі різних медіафайлів і, в LAN різного медіаконтенту
802.11f	дозволяє користувачеві працювати з різними мережами при переміщенні між зонами дії окремих мереж зв'язку
802.11h	використовується для запобігання створення проблем метеорологічним і військовим радарам шляхом динамічного зниження випромінюваної потужності WiFi обладнанням або динамічний перехід на інший частотний канал при виявленні триггерного сигналу
802.11i	розроблені нові методи захисту мереж зв'язку WiFi, реалізовані як на фізичному, так і програмному рівнях
802.11k	цей стандарт спрямований на реалізацію балансування навантаження в радіопідсистемі мережі зв'язку WiFi
802.11m	поправки і виправлення для всієї групи стандартів 802.11 об'єднуються підсумовуються в окремому документі
802.11p	визначає взаємодію WiFi-обладнання, що рухається зі швидкістю до 200 км/год повз нерухомих точок доступу WiFi, віддалених на відстань до 1 км
802.11r	визначає швидкий автоматичний роумінг WiFi-пристроїв при переході із зони покриття однієї точки доступу WiFi до зони покриття іншою. Цей стандарт адаптований на реалізацію мобільності і, перш за все, важливий саме для різних видів мобільних пристроїв з WiFi, таких як: смартфонів, планшетних комп'ютерів, WiFi IP-телефонів і тощо

Продовження таблиці 1.12

802.11s	стандарт для реалізації повнозв'язних мереж зв'язку (Wireless Mesh), де будь-який пристрій може служити в якості маршрутизатора, а також точкою доступу
802.11t	В стандарті зазначенні методики тестування, способи вимірів і обробки результатів (treatment), вимоги до випробувального устаткування.
802.11u	визначає процедури взаємодії мереж зв'язку стандарту WiFi з зовнішніми мережами зв'язку
802.11v	у стандарті повинні бути розроблені поправки, спрямовані на вдосконалення систем, що впливають на управління мережами
802.11y	додатковий стандарт зв'язку для діапазону частот 3,65-3,70 ГГц. Призначений для пристроїв останнього покоління, які працюють із зовнішніми антенами зі швидкістю до 54 Мбіт/с на відстані до 5 км на відкритому просторі. Стандарт не повністю підготовлений
802.11w	визначає методи і процедури, що покращать захист і безпеку рівня управління доступом до середовища передачі даних (MAC)
802.11ac	поновлений стандарт WiFi, який працює тільки в частотній смузі 5 ГГц і забезпечує значно вищі швидкості як на індивідуального клієнта WiFi, так і на точку доступу WiFi

Частотні смуги і канали WiFi. Світова практика використання неліцензованому частотного спектра – ISM (Industrial, Scientific, Medical):

- 1) Industrial / Промисловий: 902-928 МГц (ширина 26 МГц);
- 2) Scientific / Науковий 2400-2500 МГц (ширина 100 МГц);
- 3) Medical / Медичний: 5725-5875 МГц (ширина 150 МГц).

Тут для мереж стандарту WiFi використовується в основному частина діапазону 2400-2500 МГц. Набір смуг в діапазоні частот 5150-5825 МГц (частково використовується для пристроїв WiFi).

Вибір коректних частотних каналів є однією з основних завдань для проектування мережі стандарту WiFi 802.11, оскільки це може впливати на стан сигналу, та помилок, які можуть визивати сусідні точки доступу у тому ж частотному діапазоні. Частотні смуги і канали наведені у таблиці 1.13.

Таблиця 1.13 – Частотні смуги і канали WiFi в 2.4 ГГц

Канал WiFi	Нижня частота	Центральна частота	Верхня частота
1	2.401	2.412	2.423
2	2.406	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.446	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473
12	2.456	2.467	2.478
13	2.461	2.472	2.483

При цьому процес вибору повинен враховувати фундаментальний вибір частотної архітектури відповідного WiFi-рішення: багатоканальна або одноканальна архітектура. Загальна діаграма перекриття частотних каналів показана на рисунку 1.8.

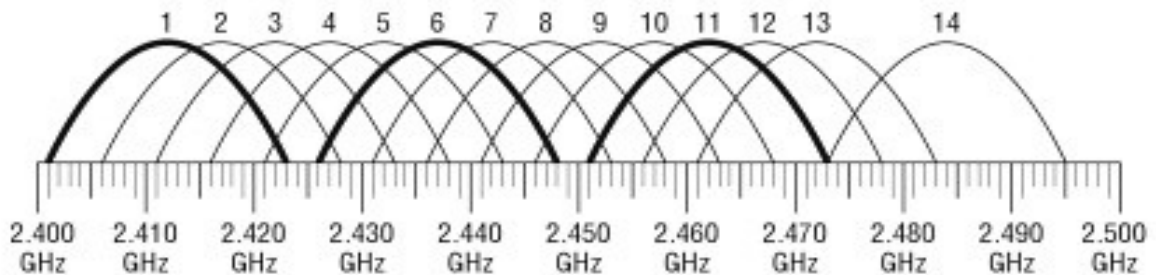


Рисунок 1.8 – Діаграма перекриття частотних каналів WiFi в 2.4 ГГц

У смузі частот (рис. 1.9.) WiFi 2.4 ГГц доступні 3 канали, що не прикриваються: 1, 6, 11. Дане виділення будується за вимогою IEEE щодо забезпечення мінімуму в 25 МГц для рознесення центрів частотних каналів WiFi, що не прикриваються. При цьому ширина каналу становить 22 МГц.

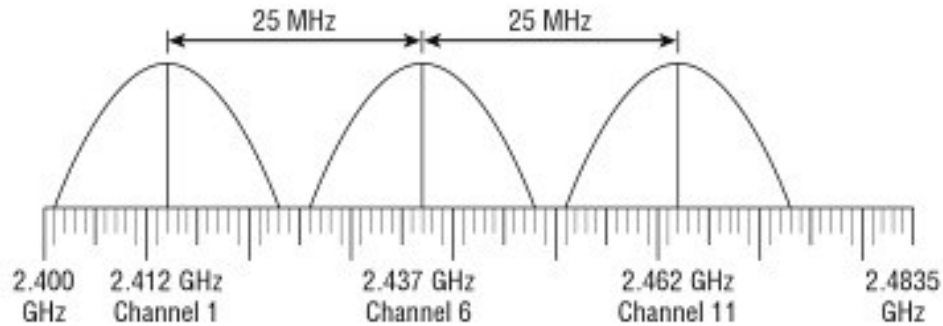


Рисунок 1.9 – Канали у смузі частот WiFi 2.4 ГГц

Частотні смуги і канали WiFi в 5 ГГц:

- UNII-1: 5150-5250 МГц (доступно 4 частотних каналу WiFi)
- UNII-2: 5250-5350 МГц (доступно 4 частотних каналу WiFi)
- UNII-2 Extended: 5470-5725 МГц (доступно 11 частотних каналів WiFi)
- UNII-3: 5725-5825 МГц (доступно 4 частотних каналу WiFi)

Формування каналів WiFi в 5 ГГц наведено на рисунку 1.10

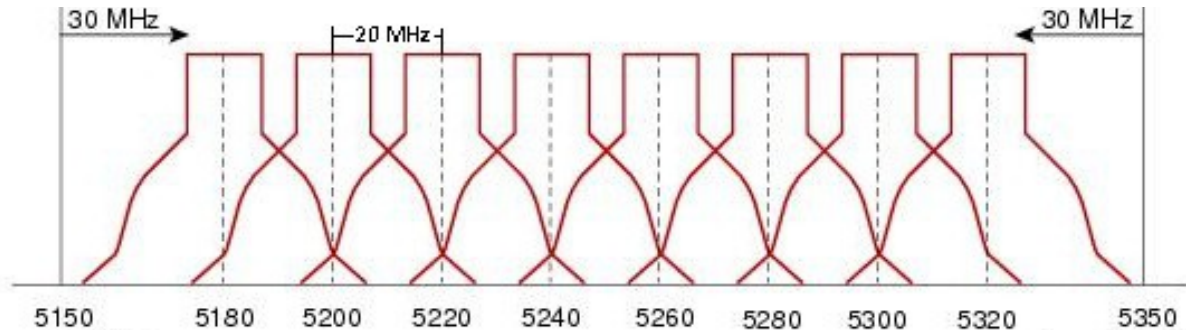


Рисунок 1.10 – Формування каналів WiFi в 5 ГГц

Звідци можна виділити, що:

- 30 МГц – це дистанція від граничних діапазонів;
- 20 МГц – це дистанція міжканального рознесення.

Основні області застосування WiFi мереж. В даний час WiFi мережі використовуються дуже широко, і сфери їх застосування все збільшуються. Розглянемо лише ті мережі, які зазвичай використовуються у повсякденному житті людей, інформація про них наведена у таблиці 1.14.

Таблиця 1.14 – Основні області застосування WiFi

<p align="center">Бездротові локальні мережі зв'язку для домашнього використання чи для використання у невеликому офісі</p>
<p>використання технології WiFi, що дозволяє об'єднати в мережу декілька комп'ютерів і принтерів без прокладки кабелів. Для таких мереж можна використовувати як з'єднання типу «точка-точка», так і з'єднання, що використовує точки доступу. При необхідності підключення бездротової локальної мережі для дому або невеликого офісу до інтернету з використанням провідних технологій необхідна установка невеликого маршрутизатора бездротової локальної мережі, через який і буде здійснюватися широкосмугове з'єднання. Радіусу дії такого маршрутизатора зазвичай буває достатньо для забезпечення зв'язку в межах будинку, квартири або невеликого офісу. Поєднання точки доступу з провідним маршрутизатором дасть можливість підключити кілька пристроїв без використання другого маршрутизатора бездротової локальної мережі</p>
<p align="center">Бездротові локальні мережі підприємств</p>
<p>такі мережі можуть складатися з декількох точок доступу, які можуть утворювати перекриваючі радіоїчейки (стільніки). Це дає можливість користувачам переміщатися в межах підприємства і мати доступ до його ресурсів через бездротову мережу. Для роботи такої мережі, звичайно, потрібно або провідний маршрутизатор в комбінації з більш потужною точкою доступу, або бездротовий маршрутизатор бездротової локальної мережі. Бездротові локальні мережі підприємств повинні мати хороші механізми забезпечення безпеки бездротової мережі</p>
<p align="center">Бездротові локальні мережі в громадських місцях</p>
<p>такі мережі будуються в максимально відвідуваних місцях, таких як аеропорти, торгові центри, ресторани, готелі, в яких люди зупиняються лише ненадовго, але мають при цьому доступ до мережевих послуг. Такі точки зазвичай називають «гарячими точками» (хотспотами). Вони мають змогу працювати як на платній, так і на безкоштовній основі (реєстрація та безкоштовне використання). Пристрій мережі для невеликих «гарячих точок» може бути аналогічно мережі для дому або невеликого офісу. Якщо мережа платна, то додатково до точки доступу та маршрутизатора необхідна установка контролера доступу і білінгової системи, яка б розраховувала плату за послуги</p>

Такі мережі зв'язку так само вимагають установки потужних засобів безпеки мережі зв'язку, наприклад, для виконання функцій контролю доступу може знадобитися централізований сервер, що забезпечує аутентифікацію, авторизацію та білінг.

Wi-Fi 802.11ax, заснований на стандарті 802.11ac, дозволяє підвищити швидкість передачі даних і пропускну здатність не тільки нових, але і вже існуючих мереж при роботі з додатками нового покоління за рахунок збільшення ефективності, гнучкості та забезпечення масштабованості.

Пристрої Wi-Fi оптимальні для побутових додатків, невеликих офісів і магазинів. При наявності достатньої кількості точок доступу вони також ефективні в готелях, терміналах аеропортів, офісах і мережах середнього розміру. Недоліком є той факт, що чим більше точок доступу, тим більше завантаженим стає ефір, що підсилює інтерференцію. На рис. 1.11, перераховані обмежуючі фактори для кожного параметра. Так, смуга пропускання регулюється нормативними актами, а інші параметри – технічними факторами: кількість бітів на піднесучу залежить від умов зв'язку в каналі, а кількість просторових каналів визначається розмірами пристрою, оскільки потрібно встановити кілька антен.

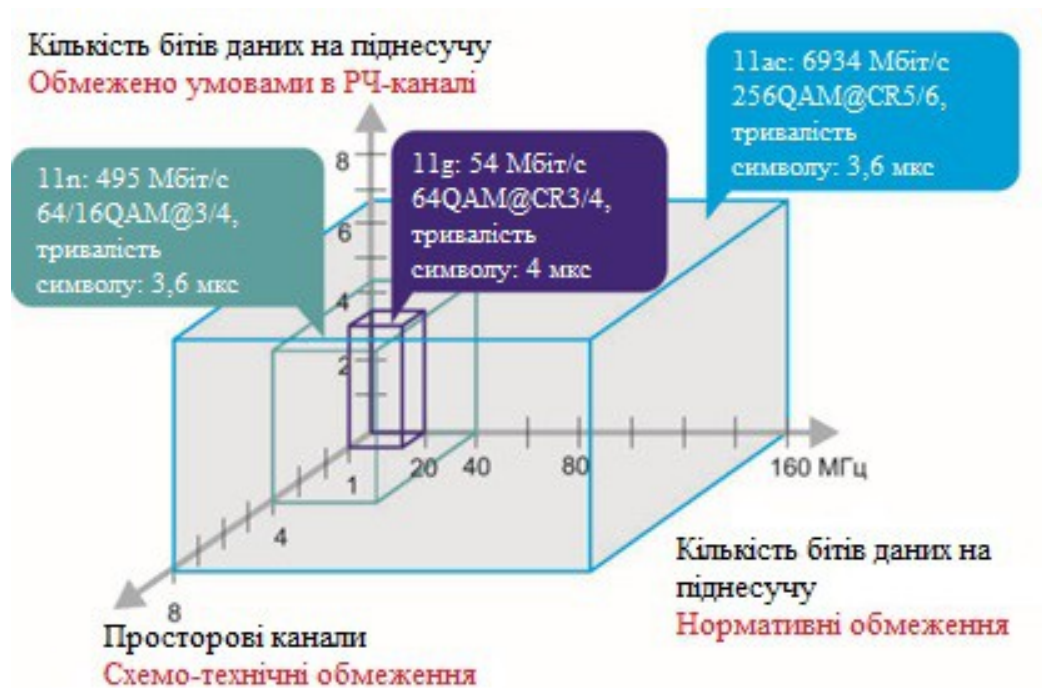


Рисунок 1.11 – Розвиток стандартів Wi-Fi

Для підвищення якості зв'язку по Wi-Fi необхідно скористатися одним із таких способів або їх комбінацією:

- змінити або додати частотні смуги;
- використовувати комплексні методи передачі;
- розташувати поднесущими ближче один до одного;
- використовувати вдосконалені схеми модуляції;
- змінити підходи до планування та управління доступом;
- розширити канали;
- збільшити захисні інтервали.
- використовувати кілька прийомних і передавальних антен (MIMO).

В даний час захисні інтервали Wi-Fi дуже короткі і не дозволяють впоратися з міжсимвольною інтерференцією, яка часто виникає в середовищах з кількома трактами проходження сигналу, коли його затримка велика.

Всередині приміщення, як правило, затримка не перевищує 0,5 мкс, а поза приміщенням вона досягає 3 мкс. Цього достатньо для появи інтерференції, оскільки довжина символу становить 3,2 мкс (рис. 1.12).

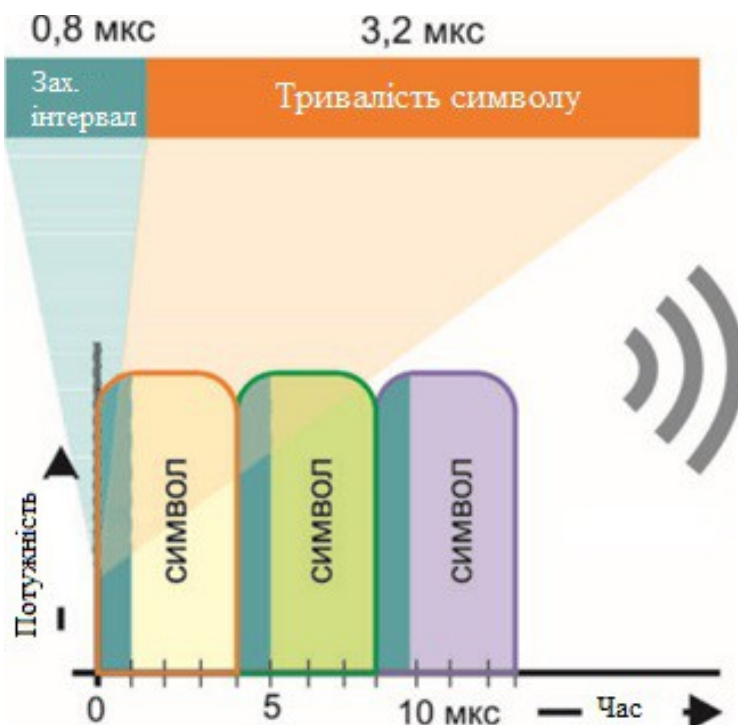


Рисунок 1.12 – Використання більш широких інтервалів дозволяє послабити міжсимвольні інтерференції при роботі поза приміщеннями, коли сигнал має безліч шляхів проходження

Отже, поточне визначення технології 802.11ax включає вісім основних елементів, призначених для створення фізичного рівня (PHY) бездротової передачі з високою ефективністю (high-efficiency wireless, HEW). Вони перераховані в таблиці 1.15: частотні діапазони, ширина каналів, відстань між поднесущими, схема кодування, тривалість символу, тривалість захисного інтервалу, схеми передачі, кількість просторових потоків на користувача.

Таблиця 1.15 – Вісім головних елементів, що забезпечують високу ефективність технології 802.11ax

Елементи фізичного рівня бездротової передачі з високою ефективністю технології 802.11ax		Примітка
Підтримувані смуги	2,4; 5 ГГц (6 або 7 ГГц)	Підтримувані смуги
Смуга каналу	20, 40, 80, 80+80, 160 МГц	підвищує пропускну здатність для передачі даних
Схема передачі (шифрування)	OFDMA, OFDM	знижує затримку для індивідуальних користувачів, підвищує ефективність
Відстань між поднесущими	78,125 кГц	знижує навантаження, що вноситься захисним інтервалом
Тривалість символу	3,2; 6,4; 12,8 мкс	забезпечує роботу в режимі многолучевості
Тривалість захисного інтервалу	0,8; 1,6; 3,2 мкс	забезпечує роботу в режимі многолучевості
Схема модуляції	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM	підвищує пропускну здатність
Кількість просторових каналів на користувача	SU-MIMO: ≤ 8 ; MU-MIMO: ≤ 4	управляє активністю ресурсних блоків при передачі в будь-якому напрямку

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

2.1 Технічні вимоги до локальної мережі

Для інформаційного забезпечення та швидкого доступу до інформації необхідно спроектувати і розробити комп'ютерну мережу, яка повинна мати здатність на виконання наступних функцій:

- створити єдину мережу, яка охопить усіх користувачів і надати їм можливість створення, обробки та редагування її у будь-якому програмному забезпеченні;

- підвищення достовірності інформації, а так само створення архівів даних які можна використовувати надалі;

- забезпечення ефективної системи накопичення, зберігання і пошуку технологічної, техніко-економічної і фінансово-економічної інформації по поточній роботі і виконаної якийсь час назад (архівна інформація) за допомогою створення глобальної бази даних.

Мережа має такі характеристики(рис. 2.1):

- предметна область – ІТ-компанія;
- кількість робочих груп на поверсі (1/2/3 будівлі) – 1/2/2;
- кількість робочих станцій у групі (max) – 32;
- кількість будівель – 3;
- кількість поверхів (1/2/3 будівлі) – 2/3/4;
- кількість WiFi точок у кожному будинку та на вулиці(1/2/3/Вулиця) – 1/3/4/1;
- відстань між будівлями (1,2/2,3/3,1) – 70 м/100 м/130 м.

На робочому місці зазвичай виконується підключення кінцевих пристроїв (комп'ютери, термінали, принтери, тощо) до локальної мережі.

Існує так звана горизонтальна підсистема, за її допомогою виконується розводка кабелю до робочих місць, які зазвичай розташовані на одному поверху будинку, і з'єднуються з системою керування. Для побудови цієї системи використовують коаксіальний кабель, виту пару, або волоконно-оптичний кабель. Вона є частині телекомунікаційної кабельної системи, що з'єднує телекомунікаційну розетку робочого місця з телекомунікаційним шкафом.

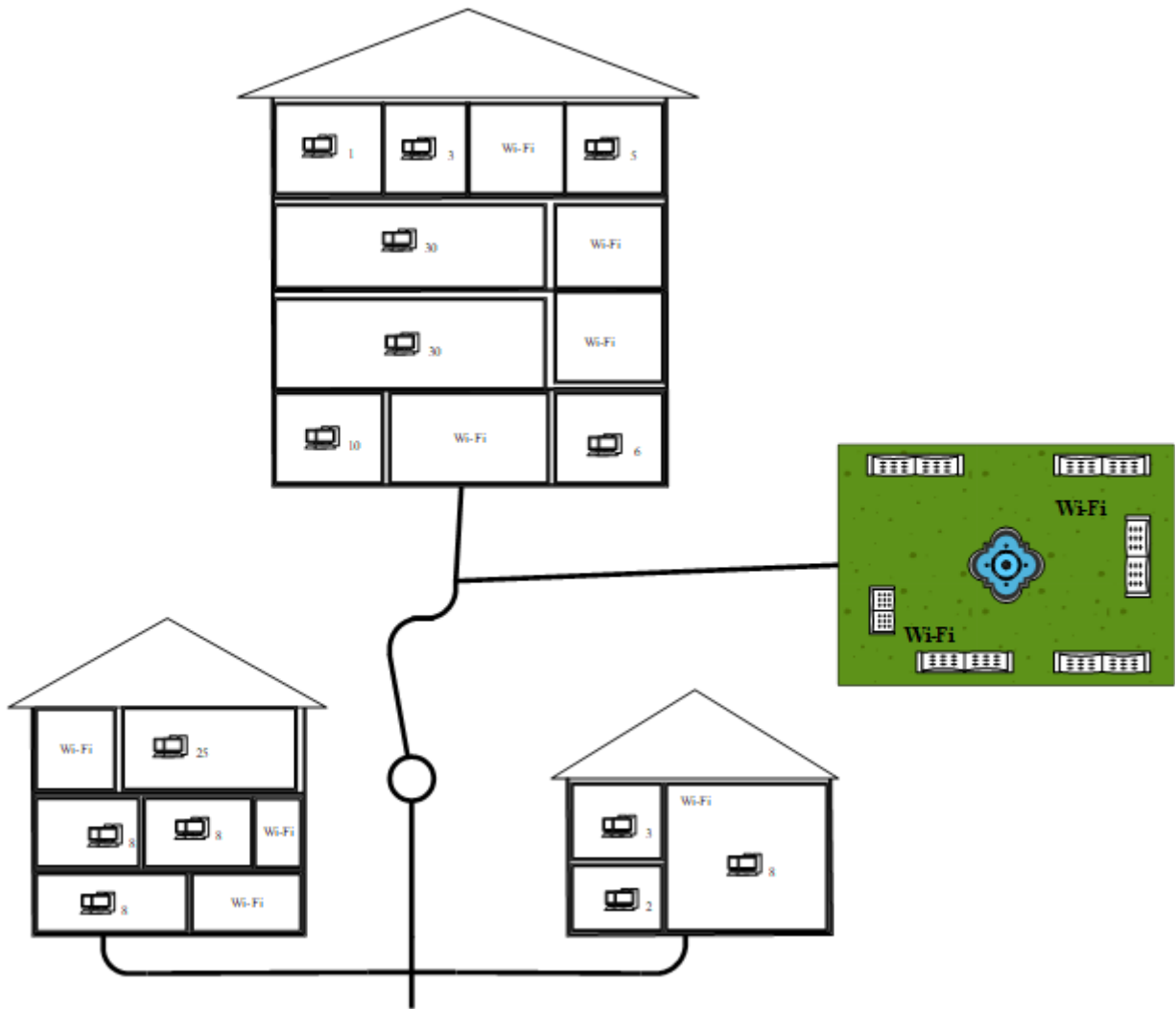


Рисунок 2.1 – Структура підприємства

Зазвичай підсистема горизонтальної розводки залишається незмінною, це грає велику роль коли проводку збраються використовувати досить довго.

Використовуючи підсистему вертикальної розводки, за її допомогою з'єднується поверхи будинку, а також усіх підсистем керування. Ця підсистема повинна задовільняти усім вимогам, які прописані стандартом. Зазвичай використовують волоконно-оптичні кабеля або виту пару, рідко використовують коаксіальний кабель.

Для з'єднання між собою будинків, які розташовані на одній території, та потребують об'єднання їх в єдину мережу, використовується базова підсистема. Зазвичай використовують волоконно-оптичний кабель, тому як, він має високу швидкість, і добре стикується з підсистемою вертикальної розводки каюелю.

2.2 Вимоги до технологій

У той час коли мова йде про вибір мережевих обладнання є необхідність враховувати безліч чинників, зокрема:

- необхідність мати стабільну швидкість передачі даних і в подальшому можливість збільшення її;
- обирати обладнання за рівнем стандартизації, та так, щоб воно забезпечувало сумісність з великою кількістю програмних засобів;
- різновид топологій мережі, та окрім використання окремо кожної топології, варіації їх комбінування;
- результати аналізу використаного обладнання на сумісність;
- враховувати вартість обладнання.

Під час розробки локальної мережі зв'язку кабель слід обрати таким чином, щоб він задовільняв потреби мережі. Потрібно враховувати такі параметри як довжину, на якій потрібно прокласти кабель, також зовнішні перешкоди, це залежить від середовища у який ведеться прокладка і звісно враховуючи власний рівень випромінювань.

Розробляючи мережу зв'язку, потрібно приділити увагу тому, яку використовувати топологію. Для того щоб обрати топологію необхідну для вашої мережі, потрібно враховувати такі параметри як:

- кількість інформації, яка планується передавати;
- кількість робочих станцій, які будуть використовуватися;
- відстань між робочими станціями.

Після аналізу цієї інформації ми можемо отримати дані для того щоб досягти максимальної пропускної здатності для такої мережі, без зайвих грошових витрат.

Загалом під топологією розуміється описання того, як комп'ютери або інші електронні пристрої розташовані та з'єднанні між собою в єдину мережу зв'язку. Із основних топологій виділяють:

- Ring (кільце);
- Star (зірка);
- Bus (шина);
- Mesh (комірка).

Більш детальний розгляд топологій мережі розглянуто у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Топології мережі зв'язку

Назва топології	Опис	Недоліки
«Зірка»	усі комп'ютери в мережі сполучені один з одним за допомогою центрального концентратора. Усі дані, які посилає станція, прямують прямо на концентратор, який пересилає пакет у напрямі одержувача. У цій топології тільки один комп'ютер може посилати дані в конкретний момент часу	вимагає більше кабелю, чим інші топології, вихід з ладу концентратора виведе з ладу увесь сегмент мережі
«Шина»	складається з єдиного кабелю, до якого приєднані усі комп'ютери сегменту. Повідомлення посилаються по лінії усім підключеним станціям незалежно від того, хто є одержувачем. Кожен комп'ютер перевіряє кожен пакет в дроті, щоб визначити одержувача пакету	важко ізолювати неполадки станції або іншого мережевого компонента, неполадки в магістральному кабелі можуть привести до виходу з ладу усієї мережі
«Кільце»	фактично утворюють логічне кільце, до якого підключені усі комп'ютери мережі. Доступ до носія в кільці здійснюється за допомогою маркерів (token), які пускаються по кругу від станції до станції, даючи їм можливість переслати пакет, якщо це треба	неполадки на одній станції можуть привести до відмови усієї мережі, при переконфігурації будь-якої частини мережі необхідно тимчасово відключати усю мережу
«Комірка»	сполучає усі комп'ютери попарно, ці мережі значно важче встановлювати. Але ці мережі стійкі до збоїв	Великі витрати кабелю

Графічний приклад топологій представлених у таблиці 2.1 наведено на рисунках 2.2 – 2.4

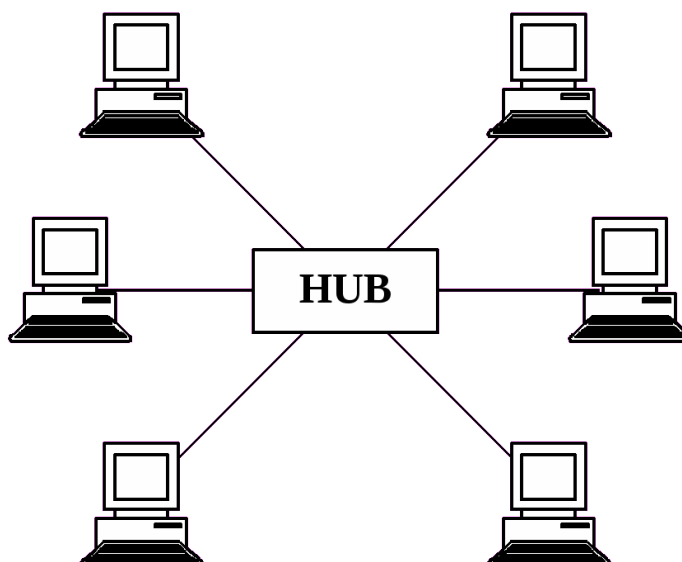


Рисунок 2.2 – Топологія «Зірка»

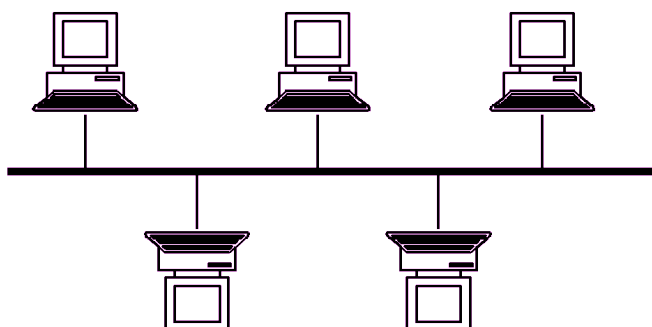


Рисунок 2.3 – Топологія «Шина»

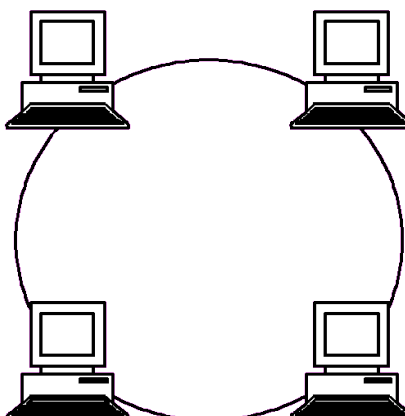


Рисунок 2.4 – Топологія «Кільце»

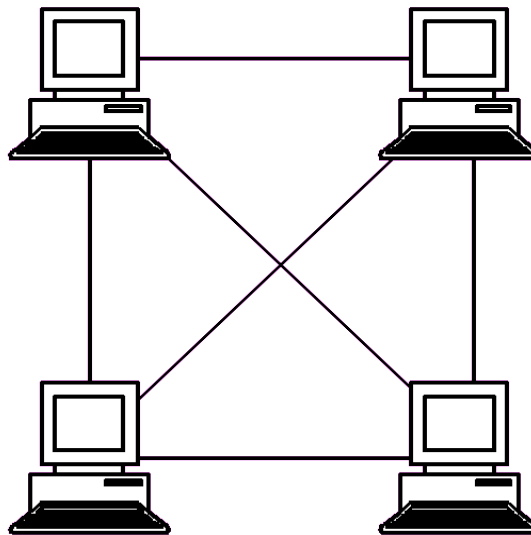


Рисунок 2.5 – Топологія «Комірка»

У реальному проектуванні мережі зазвичай всі топології комбінують, через багату різницю у середовищі розміщення мережі.

Основні із комбінованих топологій наведено у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Основні комбіновані топології

Назва топології	Опис
«Зірка на шині»	об'єднує топологію «Шина» і топологію «Зірка»
«Зірка на кільці»	ця мережа ідентична топології «зірка», але насправді концентратор сполучений дротами як логічне кільце. Також як і у фізичному кільці, в цій мережі посилаються маркери для визначення порядку передачі даних комп'ютерами.
«Гибридна комірка»	у великих мережах коштує доволі таки багато, в основному використовується для з'єднання серверів, які зберігають важливі дані

Графічний приклад описаних вище комбінованих топологій мережі зв'язку наведено на рисунках 2.6 – 2.8.

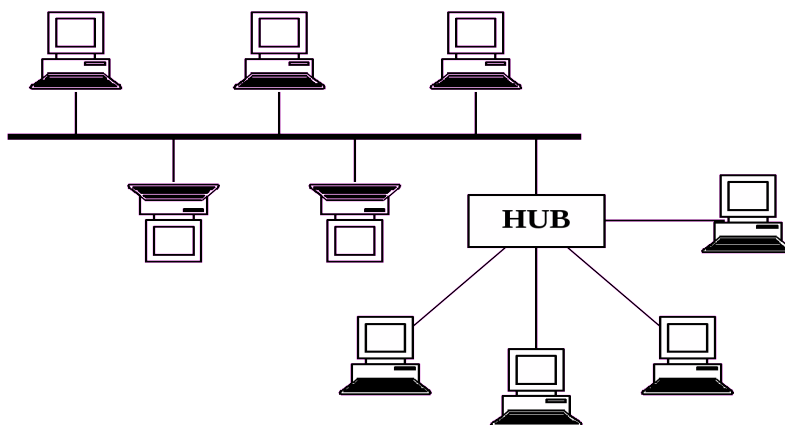


Рисунок 2.6 – Топологія «Зірка на шині»

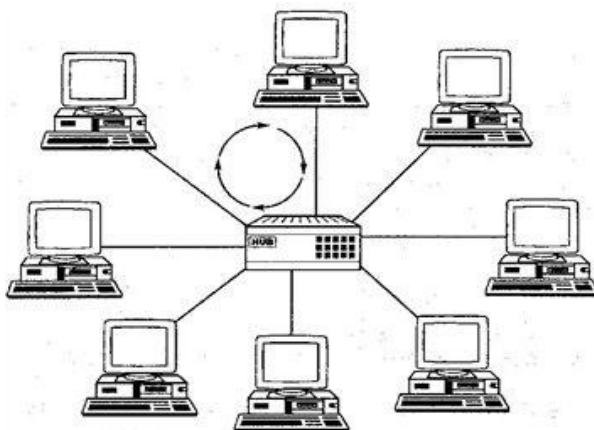


Рисунок 2.7 – Топологія «Зірка на кільці»

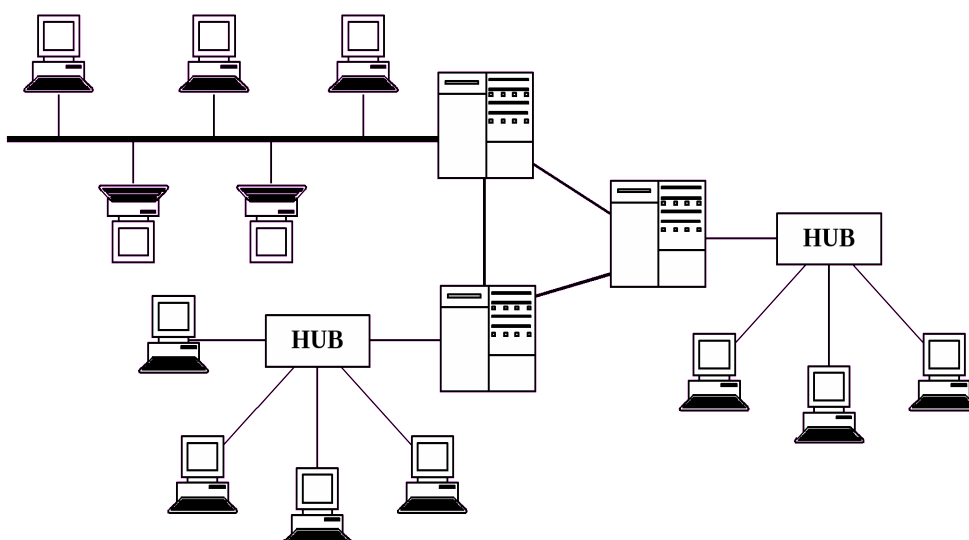


Рисунок 2.8 – «Гібридна комірка»

2.3 Вимоги до безпеки

2.3.1 Аналіз загроз мережевої безпеки

Існуює набір протоколів TCP/IP, які використовуються для забезпечення сумісності і з'єднання комп'ютрів різних типів. Найголовніша перевага TCP/IP полягає у тому, що комп'ютерні мережі підтримують даний набір протоколів. Також за допомогою цього протоколу можна отримати доступ до глобальної мережі Internet.

Під час розробки TCP/IP, ніхто не припускав що, цей протокол стане майже стандартом для мережевої взаємодії. Розробники цього протоколу вважали, що не має необхідності у створенні захистної системи для протоколу TCP/IP, тому на ранніх етапах вимог до безпеки узагалі не було.

2.3.2 Проблеми безпеки IP-мереж

Кожен день інтернет розповсюджується, та відіграє важливу роль у зберіганні персональних даних, інформації корпорацій та навіть державних таємниць та багато чього іншого, що потребує конфіденціальності від посторонніх очей. Зловмисники які загрожують мережі тим що, вони зчитують та копіюють персональну інформацію у наш час зазвичай називають хакерами.

Завдяки тому, що зловмисники розвиваються разом із розвитком інтернету, то у реальному часі для того щоб провести хакерську атаку необхідно знати тільки IP-адресу та мати спеціальне програмне забезпечення розроблене іншими хакерами раніше, яке і зробить атаку за нього.

Зростання популярності Інтернет-технологій супроводжується зростанням серйозних загроз розголошення персональних даних, критично важливих корпоративних ресурсів, державних таємниць і тощо. Хакери та інші зловмисники піддають загрозам мережеві інформаційні ресурси, намагаючись отримати до них доступ за допомогою спеціальних атак. Ці атаки стають все більш витонченими по впливу і нескладними у виконанні. Цьому сприяють два основні чинники.

До цілей атак можна віднести такі:

- викрадення переданої інформації;
- зміна переданої інформації;
- виведення усієї системи або частину системи з ладу.

2.3.3 Засоби забезпечення інформаційної безпеки

Для того, щоб забезпечити проблему безпеки комп'ютерних систем та мереж, використовують два методи частковий або комплексний. Опис цих підходів наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Методи забезпечення інформаційної безпеки

Назва методу	Опис
Частковий метод	спрямований на протидію чітко визначеним загрозам в заданих умовах. Як приклади реалізації такого підходу можна вказати окремі засоби управління доступом, автономні засоби шифрування, спеціалізовані антивірусні програми і тощо. Перевагою такого підходу є висока вибірковість до конкретної загрози. Істотний недолік – відсутність єдиного захищеного середовища обробки інформації. Фрагментарні заходи захисту інформації забезпечують захист конкретних об'єктів комп'ютерних систем тільки від конкретної загрози. Навіть невелика видозміна загрози веде до втрати ефективності захисту
Комплексний метод	орієнтований на створення захищеного середовища обробки інформації в комп'ютерній системі, що об'єднує в єдиний комплекс різноманітні заходи протидії загрозам. Організація захищеного середовища обробки інформації дозволяє гарантувати певний рівень безпеки комп'ютерних систем, що є безперечною гідністю комплексного підходу. До недоліків цього підходу відносяться: обмеження на свободу дій користувачів комп'ютерної системи, чутливість до помилок установки і настройки засобів захисту, складність управління

2.4 Вимоги до часу розгортання

Час розгортання корпоративної локальної мережі може багато у чому відрізнятись, все залежить від того на яких умовах потрібно будувати LAN:

– стан житлового комплексу:

а) місце розгортання знаходиться на етапі будівництва, тому ми маємо змогу вдало розподілити дротову та бездротову систему зв'язку. У цьому

випадку потрібно після розподіленню LAN дочекатися кінцю будівництва та налаштувати усе обладнання вже на робочих станціях, за якими будуть працювати користувачі;

б) місле розгортання знаходиться у робочему етапі, та наша задача, оновити LAN до більш нового обладнання та програмного забезпечення. У цьому випадку нам знадобиться більше часу, тому як нам потрібно шукати способи розподілення LAN, ми маємо змогу використовувати засторілі місця розподілення LAN, але це не завжди може бути можливим.

– наявність необхідного обладнання:

а) в наявності є все обладнання яке необхідно для побудови корпоративної локальної мережі зв'язку, що набагато зменшує час розгортання. Тому немає потреби витратити час на вирішення питань побудови;

б) в наявності є не все обладнання, яке необхідно використовувати для побудови корпоративної локальної мережі зв'язку, що може певним чином збільшити час розгортання. Таким чином з'являється необхідність у тому, як побудувати мережу без допомоги певного обладнання та витрачається час на вирішення питань стосовно цього.

– облаштування шаф:

а) присутні серверні шафи, які обладнанні всім необхідним, тому час на їх укомплектування витратити не потрібно, а лише помістити у них наше обладнання;

б) не вистачає серверних шаф, або деякі з них не обладнанні. Тому необхідно витратити час на те щоб розібритися з тим, яке обладнання необхідно для цієї локальної мережі. Витрачений час на це поведе за собою збільшення часу розгортання мережі.

– підведення електрики:

а) для підключення усіх мережних робочих пристроїв необхідна електрика, у першому випадку у кожному приміщенні мережі має вихід електричний кабель, та розташовані розетки, тому час на те щоб прокласти електрику та підключити мережні пристрої не витрачається, що значно збільшує час розгортання мережі;

б) електрика не підведена у приміщення, а займає малу частину усієї території. З'являється необхідність у прокладці електрики по всій території, що дає змогу прокласти її так, як необхідно і вигідніше буде для локальної

мережі, але маючи таку велику перевагу, значною мірою втрачаємо загальний час розгортання мережі.

– утверджений дозвіл на перебудову об'єкта:

а) для побудови корпоративної локальної мережі потрібно мати дозвіл на її будівництво. У першому випадку немає дозволу, який затверджений державними організаціями, втрачається час на його отримання, що збільшує час, який необхідно витрати на розгортання;

б) дозвіл на будівництво корпоративної локальної мережі присутній, та затверджений державними організаціями, тому маємо змогу приступати до роботи, як тільки затвердим, план будівництва LAN з замовником. Це суттєво зменшує час розгортання, тому як дозвіл необхідно чекати деякий час.

3 РОЗРАХУНОК ІМОВІРНОСТІ СВОЄЧАСНОЇ ДОСТАВКИ ПОВІДОМЛЕННЯ ДЛЯ ПОСТАВЛЕНОГО ЗАВДАННЯ

3.1 Загальні відомості

Оскільки за характеристиками розміщення будівель ми маємо опиратися на вибір каналних технологій, які виконують нашу поставлену задачу (рис. 3.1).

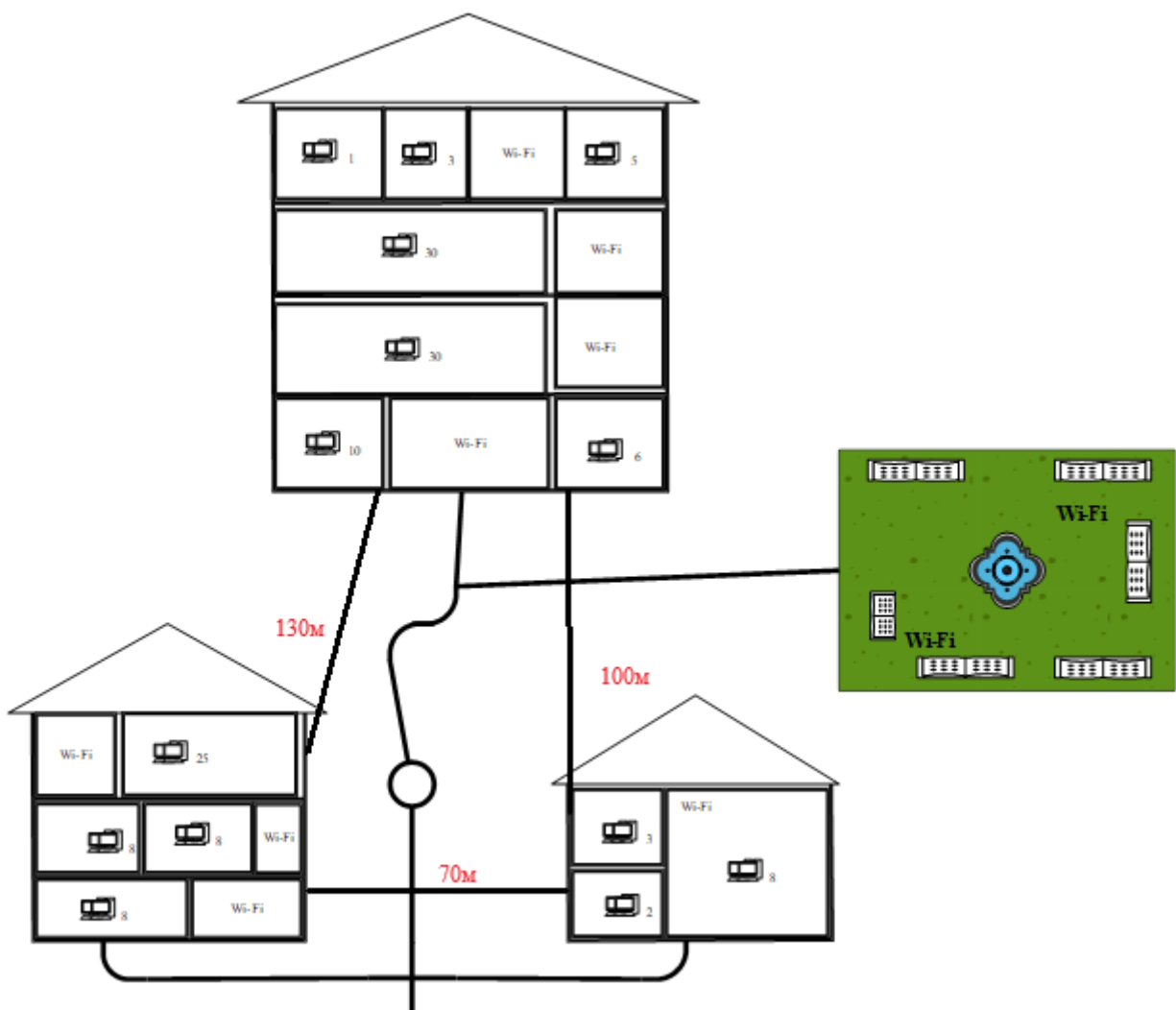


Рисунок 3.1 – Структура підприємства з позначками відстані

Згідно поставленої задачі ми вибираємо каналну технологія, яка буде використовуватися на підприємстві, у таких зонах як:

Також впливає той фактор, що нам потрібно прокласти кабель на вулиці, та волоконно-оптичний кабель має кращий захист і зовнішні електричні впливи на нього практично не впливають, тому ми обираємо цю технологію.

Стандарт IEEE 802.11(5 ГГц) – цю технологію бездротового підключення обрали з тих міркувань, що будівля має залізобетонне покриття, що впливає на глушіння WiFi, а чим вище частота сигналу тим менша ймовірність, що сигнал буде заглушений. Для кожного поверху ми обрали різні канали (1,4,7) на частоті 5 ГГц, щоб частотні канали не накладалися один на одного.

Для бездротового підключення на вулиці ми обрали технологію IEEE 802.11(2.4 ГГц). Нам необхідно забезпечити підключення тільки у парку, тому ми використаємо там тільки два канали 1 та 6.

Розглядаючи різні види обміну інформацією між користувачами, можна виділити наступні основні способи взаємодії абонентів:

- передачу повідомлень;
- діалог;
- запит-відповідь;
- передачу великих масивів інформації.

Аналіз вимог, що пред'являються користувачами в цих режимах до системи зв'язку при передачі даних, телеграфної та факсимільної інформації, дозволяє зробити висновок, що вони можуть задовольняти двом основним режимам мережі: «Доставка» і «Повідомлення».

Мережа повинна надавати користувачам ряд послуг:

- зберігання повідомлень;
- перетворення кодів і форматів;
- висновок за запитом копій повідомлень;
- підстановку часу введення і виведення повідомлень.

З точки зору найбільшої відповідності характеристик режимів роботи мережі і користувачів, а також мінімізації використовуваних при цьому ресурсів мережі кращим є застосування режиму «З'єднання» для діалогового обміну інформацією та передачі великих масивів інформації, а режиму «Доставка» – для передачі повідомлень обмеженої довжини і взаємодії користувачів за схемою запит-відповідь.

При розробці логічної структури і реалізації режимів роботи мережі одним з основних завдань є вибір методів комутації. Для реалізації режиму «З'єднання» при передачі повідомлень аналоговими сигналами найбільш пристосованими є мережі з комутацією каналів. Їх недоліки – неповне використання пропускну здатності каналів і можливість взаємодії тільки між однотипними кінцевими пунктами.

Мережі з комутацією повідомлень, здійснюючи повний пере приймання повідомлень в вузлах комутації (КК), дозволяють реалізувати вимоги режим «Доставка» (зберігання повідомлень, перетворення кодів і форматів, узгодження швидкостей передачі та ін.) [16].

Існують різні логічні структури мереж. На плакаті представлені логічні структури транспортного сполучення в мережі з повним пере приймання (комутацією повідомлень), коли транспортний протокол реалізується в абонентському пункті, і в мережі з комутацією пакетів, коли функції транспортного рівня реалізуються в вузлі комутації.

Транспортна станція є базовим компонентом мережі обчислювальних машин, що забезпечує передачу інформації, комутацію пакетів і межкінцеву доставку між абонентами цієї мережі.

Для реалізації покладених на неї завдань транспортна станція виконує функції транспортного, мережевого, каналного і фізичного рівнів, що визначаються базовою моделлю відкритих систем міжнародної організації стандартів.

У мережі з комутацією пакетів блоками даних, переданих по мережевому маршруту від одного кінця до іншого, є пакети. Блоки або кадри даних, що передаються по каналу зв'язку через мережу, складаються з пакетів та керуючої інформації у вигляді заголовків і закінчень, що додаються до пакету безпосередньо перед його відправленням з вузла. Ця керуюча інформація дає можливість приймаючому вузлу на іншому кінці каналу виконати необхідну синхронізацію і виявлення помилок. У кожному приймаючому вузлі керуюча інформація відділяється від іншої частини пакета, а потім знову додається, коли цей вузол в свою чергу передає пакет по каналу в наступний, сусідній вузол. На кожному рівні блок даних приймається від вищого рівня, до даних додається інформація, що управляє і блок передається нижчому рівню.

Таким чином, пакетна передача через мережу від одного користувача до іншого в загальному випадку полягає в передачі корисної інформації та керуючої інформації, що додається на різних рівнях і підлягає видаленню, коли пакет надходить за призначенням і починає відновлюватися на своєму шляху через ці рівні.

У загальному випадку при розрахунку ймовірності своєчасної доставки повідомлення по транспортній інформаційній мережі необхідний облік:

- надмірності, що вноситься мережею при передачі даних, тобто службових даних транспортного, мережевого і канального рівнів, особливостей протоколів цих же рівнів ЕМВВС;
- якості дискретних каналів передачі даних;
- надійності каналів зв'язку і обладнання;
- топології інформаційної мережі;
- вимог до старіння інформації;
- ємностей накопичувачів для зберігання даних в кінцевих і транзитних вузлах комутації;
- продуктивності КК та ін.

Облік всіх факторів, що впливають на ймовірність своєчасної доставки повідомлень, може привести до надзвичайно складним аналітичним моделям або неможливості отримання аналітичних виразів для оцінки ТІХ. Тому при аналітичних оцінках необхідні спрощенні припущення, в яких окремі чинники, несуттєво впливаючі на кінцевий результат, не враховуються. Розрахунок ймовірності своєчасної доставки повідомлень в транспортній мережі будемо проводити при наступних припущеннях:

а) на канальному, мережевому, транспортному рівнях помилки в суміжних фрагментах переданих даних незалежні;

б) на всіх трьох рівнях для виправлення помилок використовується вирішальний зворотній зв'язок (PIS), при цьому перезапиту помилкових фрагментів проводиться за алгоритмами з адресним перепитом при дуплексній передачі і використанні завадостійких циклічних кодів в режимі виявлення помилок;

в) на мережевому рівні використовується фіксована маршрутизація;

г) довжини повідомлень розподілені по зрушеному на одиницю закону Паскаля;

- д) коефіцієнти готовності обладнання та каналів зв'язку дорівнюють одиниці;
- е) дискретні канали зв'язку описуються двопараметричною моделлю;
- є) ємності накопичувачів даних досить великі, щоб знехтувати затримками через їх переповнення;
- ж) затримки пакетів і повідомлень в вузлах комутації істотно менше затримок через очікування в чергах;
- з) вхідні потоки повідомлень і пакетів для передачі в кінцевих і транзитних вузлах комутації найпростіші.

3.2 Розрахунок ймовірності своєчасної доставки повідомлень

Спочатку розглянемо двополюсну транспортну інформаційну мережу, яка може бути описана моделлю Клейнрока [9].

Середня відносна швидкість передачі даних по транспортному сполученню має вигляд:

$$R_T = \frac{L_T}{L_T + S_T} \times \frac{L_C}{L_C + S_C} \times \frac{L_K}{L_K + S_K} \times \frac{1}{M[\zeta_T]} \times \frac{1}{M[\zeta_C]} \times \frac{1}{M[\zeta_K]}, \quad (3.1)$$

де L_T, L_C, L_K – довжини інформаційних частин фрагментів відповідно транспортного, мережевого і каналного рівнів,

S_T, S_C, S_K – числа службових розрядів, що вводяться мережею на транспортному, мережевому і каналному рівнях,

$\zeta_T, \zeta_C, \zeta_K$ – випадкові величини рівні числу суміжних повторень фрагментів відповідно транспортного, мережевого і каналного рівнів через помилки,

$M[\zeta_T], M[\zeta_C], M[\zeta_K]$ – математичні очікування випадкових величин $\zeta_T, \zeta_C, \zeta_K$ відповідно.

Під середньою відносною швидкістю розуміється відношення математичного очікування абсолютної швидкості передачі (середнє число символів інформації в одиницю часу надходять з виходу) до швидкості модуляції на фізичному рівні мережі.

Перші три співмножника в функції R_T висловлюють зниження швидкості через надмірність, що вводиться мережею на 24 рівні ЕМВВС. Другі три сомножителя дають коефіцієнт зниження швидкості через перезапит на відповідних рівнях. В результаті ймовірність повторення фрагмента каналного рівня [18].

$$P_{ng}^{(k)} = P_{oo-1} + P_{oo-2} - P_{oo-1}P_{oo-2} = 1 - P_{nn}, \quad (3.1)$$

де P_{oo-1}, P_{oo-2} – ймовірності прийому фрагмента каналного рівня з виявленими помилки в прямому і зворотному каналах,

P_{nn} – ймовірність правильного прийому блоку в обох каналах (прямому і зворотному).

$$P_{oo-1} = 1 - (1 - P_{ou1})^{(L_k + S_k)^{1-\alpha_1}}, \quad (3.3)$$

$$P_{oo-2} = 1 - (1 - P_{ou2})^{(L_k + S_k)^{1-\alpha_2}}, \quad (3.4)$$

де P_{ou1}, P_{ou2} – ймовірності помилки в одиничних елементах в прямому і зворотному каналах,

α_1, α_2 – показники групування помилок в прямому і зворотному каналах зв'язку [20].

В окремому випадку, коли прямий і зворотний канали ідентичні за якістю

$$P_{ng}^{(k)} = 1 - (1 - P_{ou})^{2n^{1-\alpha}}, \quad (3.5)$$

де $n = L_k + S_k$.

Математичне сподівання випадкової величини ζ_K згідно [19] визначається співвідношенням:

$$M[\zeta_K] = \sum_{i=1}^{\infty} i (P_{ng}^{(k)})^{i-1} (1 - P_{ng}^{(k)}) = \frac{1}{1 - P_{ng}^{(k)}}. \quad (3.6)$$

Ймовірностно-тимчасові характеристики розраховуються в припущенні

$$P_{oo} + P_{ne} \approx 1. \quad (3.7)$$

Можливостями невиявленої помилки, вставок і випадінь нехтуємо, так як вони не суттєво впливають на час доставки: формули значно ускладнюються, а на результат не виявляє ніякого впливу.

Припустимо, що час передачі фрагмента каналного рівня розподілено по показовому закону що є безперервним аналогом дискретного розподілу Паскаля. Показано [20], що параметр цього розподілу μ_k визначається наступним чином:

$$\mu_k = \frac{(1 - P_{ne}^{(k)})BL_k}{L_k + S_k}, \quad (3.8)$$

де B – швидкість модуляції.

Величина $P_{no}^{(k)}$ визначається виразом

$$P_{no}^{(k)} \approx \frac{1}{2^{r_k}} (1 - (1 - P_{ou})^{(2k+S_k)^{1-\alpha}}), \quad (3.9)$$

де $P_{no}^{(k)}$ – величина (ймовірність) невиявленої помилки в фрагменті каналного рівня,

r_k – число перевірочних розрядів в фрагменті каналного рівня.

Припустимо, що пакет МР містить m фрагментів каналного рівня. Тоді час передачі пакета буде розподілено згідно із законом Ерланга m -го порядку як сума незалежних випадкових величин, розподілених по показовому закону [21]. Якщо тепер припустити, що число m також випадкова величина, що має розподіл

$$P\{m = i\} = P_{cc}^{i-1} (1 - P_{cc}), \quad (3.10)$$

де P_{cc} – параметр розподілу, то параметр виражається через середню довжину пакета L_{cc} [19]

$$P_{cc} = 1 - \frac{1}{L_{cc}}. \quad (3.11)$$

Якщо час передачі фрагмента мережевого рівня розглядати як суму випадкового числа незалежних випадкових величин [20], то отримаємо його показове розподіл з параметром μ_c .

$$\mu_c = (1 - P_{cc})\mu_k = \frac{(1 - P_{ng}^{(k)})BL_k}{(L_k + S_k)^2}(1 - P_{cc}). \quad (3.12)$$

Припустимо, що довжина фрагмента транспортного рівня випадкова з розподілом

$$P\{L_T = m\} = P_{CT}^{m-1}(1 - P_{CT}), \quad (3.13)$$

де P_{CT} – параметр, який виражається через середню довжину фрагмента транспортного рівня L_c , тоді

$$P_{CT} = 1 - \frac{1}{L_{CT}}. \quad (3.14)$$

Визначимо ймовірність $P_{ng}^{(c)}$ повторення фрагмента мережевого рівня

$$P_{ng}^{(c)} = P_{oo-1}^{(c)} + P_{kb-2}^{(c)} - P_{oo-1}^{(c)}P_{kb-2}^{(c)}, \quad (3.15)$$

де $P_{oo-1}^{(c)}$ – ймовірність спотворення фрагмента в прямому каналі,

$P_{kb-2}^{(c)}$ – ймовірність спотворення квитанції в зворотному каналі.

З урахуванням того, що число ζ_C розподілено згідно із законом:

$$P\{\zeta_C = i\} = (P_{ng}^{(c)})^{i-1}(1 - P_{ng}^{(c)}). \quad (3.16)$$

Параметр показового розподілу часу передачі фрагмента мережевого рівня дорівнює

$$\mu_c = (1 - P_{cc})(1 - P_{nv}^{(c)})\mu_k, \quad (3.17)$$

$$P_{oo-1}^{(T)} \approx m_c P_{no}^{(k)} k_{oo}^{(c)}, \quad (3.18)$$

де m_c – число фрагментів канального рівня, що становлять фрагмент мережевого рівня,

$k_{oo}^{(c)}$ – коефіцієнт виявлення помилки.

Імовірність невиявленої помилки в фрагменті мережевого рівня $P_{no}^{(k)}$ – обчислюється виходячи з невиявлених помилок, які пропускає канальний рівень і мережевий

$$P_{no}^{(c)} \approx \frac{1}{2^{r_c}} (1 - (1 - P_{no}^{(k)})^{m_c}), \quad (3.19)$$

де r_c – число перевірючих розрядів, використовуваних на мережевому рівні.

Можливість повторення фрагмента транспортного рівня

$$P_{nv}^{(T)} = P_{oo-1}^{(T)} + P_{kv-2}^{(T)} - P_{oo-1}^{(T)} P_{kv-2}^{(T)}, \quad (3.20)$$

де $P_{oo-1}^{(T)}$ – ймовірність прийому фрагмента транспортного рівня з виявленою помилкою,

$P_{kv-2}^{(T)}$ – ймовірність квитанції в зворотному каналі.

Величина $P_{oo-1}^{(T)}$ за аналогією з формулою (3.17) обчислюється таким чином:

$$P_{oo-1}^{(T)} \approx m_T P_{no}^{(c)} k_{oo}^{(T)}, \quad (3.21)$$

де m_T – число фрагментів мережевого рівня, що становлять фрагмент транспортного рівня,

$k_{oo}^{(T)}$ – коефіцієнт виявлення помилки на транспортному рівні.

Параметр показового закону розподілу часу передачі фрагмента транспортного рівня випадкової величини μ_T згідно [20]

$$\mu_T = (1 - P_{CT})(1 - P_{nv}^{(T)})(1 - P_{cc})(1 - P_{nv}^{(c)})\mu_k, \quad (3.22)$$

де P_{CT} – параметр розподілу довжини фрагмента ТР.

В силу малих ймовірностей повторень фрагментів транспортного і мережного рівнів для спрощення розрахунків покладається прийняти

$$(1 - P_{CT})(1 - P_{nv}^{(T)})(1 - P_{nv}^{(c)}) \approx 1, \quad (3.23)$$

$$P\{L_T = i\} = P_{CT}^{i-1}(1 - P_{CT}). \quad (3.24)$$

Таким чином, час передачі фрагмента транспортного рівня (час обслуговування) розподілено за законом

$$P\{t_{nd} \leq t\} = 1 - e^{-\mu_T t}. \quad (3.25)$$

Модель двополюсної мережі зводиться до моделі масового обслуговування М/М/1 [22].

При простому входить потоці повідомлень з інтенсивністю λ_T ймовірність своєчасної доставки має розподіл

$$P\{t_{nd} \leq t\} = 1 - e^{-(\mu_T - \lambda_T) t}. \quad (3.26)$$

параметр μ_i обчислюється

$$\mu_i = \mu_T^{(i)} - \lambda_T^{(i)}, \quad (3.27)$$

де $\mu_T^{(i)}$ – інтенсивність обслуговування в і-му транзит мережі,

$\lambda_T^{(i)}$ – інтенсивність вхідного потоку в і-м транзитній ділянці.

З урахуванням незалежності знаходження повідомлення по транспортному сполученню, що складається з V транзитів [19]

$$\Phi(P) = \prod_{i=1}^V \frac{\mu_i}{P + \mu_i}, \quad (3.28)$$

де V – число транзитних ділянок мережі транспортного сполучення,
 P – параметр перетворення.

Як показано в [23], зворотне перетворення Лапласа функції $\Phi(P)$ дає наступну щільність розподілу часу доставки (при різних μ_i)

$$f(t) = \sum_{i=1}^V B_i e^{-\mu_i t}, \quad (3.29)$$

де B_i – коефіцієнти, які визначаються інтегруючи функцію отримаємо [24] вираз для ймовірності своєчасної доставки повідомлення

$$F_{\zeta_{\partial}}(t) = P\{\zeta_{\partial} \leq t\} = \sum_{i=1}^V B_i \left(\frac{1}{\mu_i} - e^{-\mu_i t} \right). \quad (3.30)$$

Вищеописана модель доставки фрагмента транспортного рівня відображає функціонування мережі з повним переприймання фрагментів транспортного рівня, логічна структура якої показана на плакаті.

Розглянемо інший випадок, коли в транзитних вузлах комутації проводиться переприймання пакетів МР, тобто випадок мережі з комутацією пакетів. Для аналітичної моделі доставки повідомлення по транспортному сполученню такої мережі використовуємо вишеотримані результати.

$$\mu_c^{(i)} = (1 - P_{ng}^{(c)}) \mu_k, \quad (3.31)$$

де $\mu_c^{(i)}$ – інтенсивність передачі пакетів в i -м транзит,

$\lambda_c^{(i)}$ – інтенсивність вхідних потоків в i -м транзит.

Перетворення Лапласа-Стілтєса функції розподілу часу передачі фрагмента МР згідно [19] дорівнюватиме

$$\psi(P) = \prod_{i=1}^v \left(\frac{m_c^{(i)}}{m_c^{(i)} + p} \right)^m, \quad (3.32)$$

де m – число фрагментів каналного рівня, що становлять фрагмент МР,

$m_c^{(i)} = \mu_c^{(i)} - \lambda_c^{(i)}$ – інтенсивність вхідного потоку пакета i -го транзиту.

Перетворення Лапласа-Стілтєса функції розподілу часу передачі фрагмента ТР

$$\varphi(P) = [\psi(P)]^r = \left[\prod_{i=1}^v \left(\frac{m_c^i}{m_c^i + P} \right)^m \right]^r, \quad (3.33)$$

де r – число фрагментів МР, що становлять фрагмент ТР.

Використовуючи формулу Хінч в формі [22] отримуємо перетворення Лапласа-Стиль функції розподілу часу доставки фрагмента ТР фіксованої довжини

$$\varphi(P) = \frac{1 - \rho}{1 - \frac{\lambda_T}{P(1 - \varphi(P))}} \varphi(P), \quad (3.34)$$

де λ_T – інтенсивність надходження фрагментів ТР на вхід вузла джерела.

$$\rho = \lambda_T \sum_{i=1}^v \frac{m}{m_c^{(i)}}. \quad (3.35)$$

Розглянемо випадок, коли довжина фрагмента транспортного рівня r є величиною випадковою з поширенням

$$P\{L_T = i\} = P_{CT}^{i-1} (1 - P_{CT}). \quad (3.36)$$

Тоді перетворення Лапласа-Стілтєса функції розподілу часу передачі фрагмента дорівнюватиме

$$\varphi^*(P) = (1 - P_{CT}) \sum P_{CT}^{i-1} [\psi(P)]^i = \frac{(1 - P_C) \psi(P)}{1 - P_C \psi(P)} = \frac{(1 - P_C) \prod^v \left(\frac{m_c^{(i)}}{m_c^{(i)} + P} \right)^m}{1 - P_C \prod^v \left(\frac{m_c^{(i)}}{m_c^{(i)} + P} \right)^m}. \quad (3.37)$$

З формули (3.37) видно, що: $\varphi^*(P)/P = 0 \equiv 1$. Це свідчить про те, що φ^* є перетворенням Лапласа-Стілтєса функції розподілу випадкової величини.

Для знаходження функції розподілу часу доставки визначається середній час обслуговування [24].

$$\tau_{об} = - \frac{d\varphi^*(P)}{dP} / P = 0 = m \sum \frac{1}{m_i}. \quad (3.38)$$

Тоді, перетворення Лапласа-Стілтєса функції розподілу часу доставки визначається наступним чином:

$$\varphi^*(P) = \frac{1 - \rho}{1 - \lambda_T / P(1 - \varphi^*(P))} \varphi^*(P), \quad (3.39)$$

$$\rho = \lambda_T \tau_{об} = \lambda_T \sum \frac{1}{m_i}. \quad (3.40)$$

Другий початковий момент часу обслуговування буде дорівнює

$$M[\tau_{об}^2] = \frac{d^2 \varphi^*(P)}{dP^2} / P = 0 = m(m+1) \sum \frac{1}{m_i^2}. \quad (3.41)$$

На підставі формули Хинчина в формі [11] визначимо середній час очікування в черзі

$$\tau_{ожс} = \frac{\lambda_T m(m+1) \sum \frac{1}{m_i^2}}{2(1 - \lambda_T m \sum \frac{1}{m_i})}. \quad (3.42)$$

Середній час доставки

$$\hat{\tau}_\partial = \hat{\tau}_{об} + \hat{\tau}_{ожс}. \quad (3.43)$$

Третій початковий момент часу обслуговування відповідно

$$M[\tau_{об}^3] = \frac{d^3 \varphi^*(P)}{dP^3} / P = 0 = m(m+1)(m + 2 \sum \frac{1}{m_i^3}). \quad (3.44)$$

Другий початковий момент часу очікування згідно з [25] дорівнює

$$M[\tau_{ожс}^2] = 2k^2 \frac{M[\tau_{об}^2]^2}{2} + \frac{kM[\tau_{об}^3]}{3}, \quad (3.45)$$

$$k = \lambda_T / 1 - \rho. \quad (3.46)$$

Дисперсія часу очікування

$$D[\tau_{ожс}] = M[\tau_{ожс}^2] - M^2[\tau_{ожс}], \quad (3.47)$$

$$M[\tau_{ожс}] = \hat{\tau}_{ожс} = \frac{\lambda_T m(m+1) \sum 1/m_i^2}{2(1 - \lambda_T m \sum 1/m_i)}, \quad (3.48)$$

$$M^2[\tau_{ожс}] = \frac{\lambda_T m(m+1) \sum 1/m_i^2}{2(1 - \lambda_T m \sum 1/m_i)}. \quad (3.49)$$

Початковий момент часу доставки обчислюється

$$M[\tau_\partial] = M[\tau_{об}] + M[\tau_{ожс}]. \quad (3.50)$$

Дисперсія часу обслуговування

$$D[\tau_{об}] = m \sum \frac{1}{m_i^2}. \quad (3.51)$$

Точне отримання функції розподілу в силу складності перетворення Лапласа-Стілтєса важко і влучний вислів може бути отримано при числі транзитів не більше чотирьох. Тому використовується апроксимуюча функція розподілу часу доставки є розподілом Ерланга. Розглянуто метод моментів, вираз, для ймовірності своєчасної доставки якого має вигляд

$$F_{\zeta\partial}(t) = P\{\zeta\partial \leq t\} = 1 - \sum_{i=1}^{m^*} \frac{\mu^* (\mu^* t)^{i-1}}{(i-1)!} e^{-\mu^* t}, \quad (3.52)$$

де m^*, μ^* – параметри апроксимуючого розподілу

$$\frac{m^*}{\mu^*} = M[\tau_{ожс}] + M[\tau_{об}], \quad (3.53)$$

$$\frac{m^*}{\mu^*} = D[\tau_{ожс}] + D[\tau_{об}]. \quad (3.54)$$

Підставляючи один з параметрів в вирази, знаходимо інший параметр, і після перетворення отримуємо

$$m^* = \frac{(M[\tau_{ожс}] + M[\tau_{об}])^2}{D[\tau_{ожс}] + D[\tau_{об}]}, \quad (3.55)$$

$$\mu^* = \frac{M[\tau_{ожс}] + M[\tau_{об}]}{D[\tau_{ожс}] + D[\tau_{об}]}. \quad (3.56)$$

Обчислення ймовірності своєчасної доставки проводяться за формулою (3.30).

Результати розрахунку наведені на рисунку 3.3.

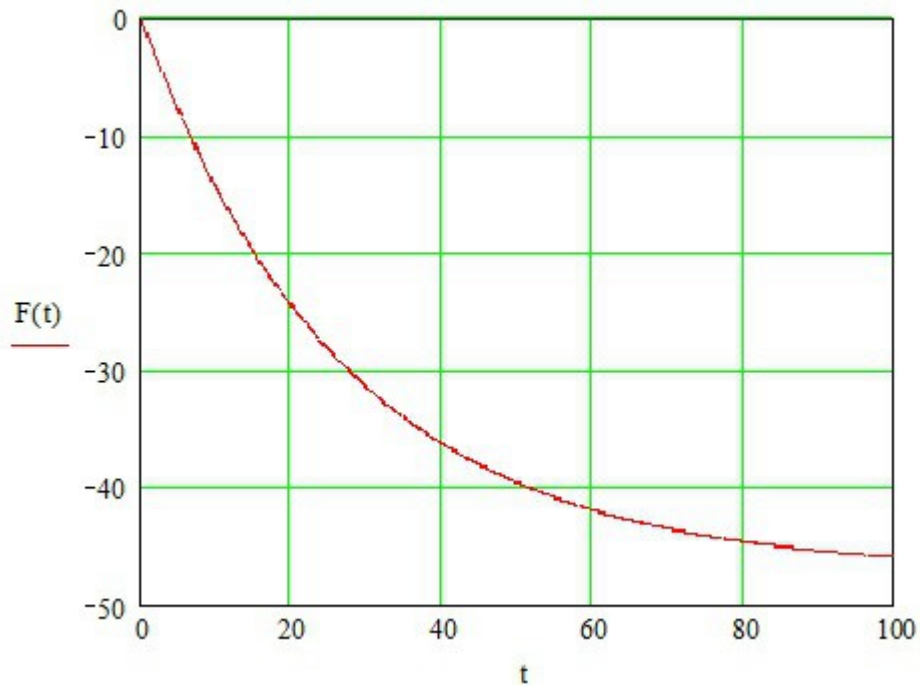


Рисунок 3.3 – Розрахунок ймовірності невиявленої помилки

Припустимо, що час передачі фрагмента каналного рівня розподілено по показовому закону, що є безперервним аналогом дискретного розподілу Паскаля. Показано, що параметр цього розподілу μ_k визначається наступним чином:

$$\mu_k = \frac{(1 - P_{не}^{(k)})BL_k}{(L_k + S_k)}, \quad (3.57)$$

де B – швидкість модуляції.

Величина $P_{но}^{(k)}$ визначається виразом

$$P_{но}^{(k)} \approx \frac{1}{2^{r_k}} (1 - (1 - P_{ош})^{(2k + S_k)^{1-\alpha}}), \quad (3.58)$$

де $P_{но}^{(k)}$ – величина (ймовірність) невиявленої помилки в фрагменті каналного рівня,

r_k – число перевірючих розрядів в фрагменті каналного рівня.

Припустимо, що пакет МР містить m фрагментів каналного рівня. Тоді час передачі пакета буде розподілено згідно із законом Ерланга m -го порядку як сума незалежних випадкових величин, розподілених по показовому закону [21]. Якщо тепер припустити, що число m також випадкова величина, що має розподіл

$$P\{m = i\} = P_{cc}^{i-1} (1 - P_{cc}), \quad (3.59)$$

де P_{cc} – параметр розподілу,

то параметр виражається через середню довжину пакета L_{cc} [19]

$$P_{cc} = 1 - \frac{1}{\hat{L}_{cc}}. \quad (3.60)$$

Якщо час передачі фрагмента мережевого рівня розглядати як суму випадкового числа незалежних випадкових величин [20], то отримаємо його показове розподіл з параметром μ_c

$$\mu_c = (1 - P_{cc})\mu_k = \frac{(1 - P_{ng}^{(k)})BL_k}{(L_k + S_k)^2} (1 - P_{cc}). \quad (3.61)$$

Припустимо, що довжина фрагмента транспортного рівня випадкова з розподілом

$$P\{L_T = m\} = P_{CT}^{m-1} (1 - P_{CT}), \quad (3.62)$$

де P_{CT} – параметр, який виражається через середню довжину фрагмента транспортного рівня L_{CT} , тоді

$$P_{CT} = 1 - \frac{1}{L_{CT}}. \quad (3.63)$$

Визначимо ймовірність $P_{ng}^{(c)}$ повторення фрагмента мережевого рівня

$$P_{ne}^{(c)} = P_{oo-1}^{(c)} + P_{кв-2}^{(c)} - P_{oo-1}^{(c)} P_{кв-2}^{(c)}, \quad (3.64)$$

де $P_{oo-1}^{(c)}$ – ймовірність спотворення фрагмента в прямому каналі,

$P_{кв-2}^{(c)}$ – ймовірність спотворення квитанції в зворотному каналі.

З урахуванням того, що число ζ_c розподілено згідно із законом:

$$P\{\zeta_c = i\} = (P_{ne}^{(c)})^{i-1} (1 - P_{ne}^{(c)}). \quad (3.65)$$

Параметр показового розподілу часу передачі фрагмента мережевого рівня дорівнює

$$\mu_c = (1 - P_{cc})(1 - P_{ne}^{(c)})\mu_k, \quad (3.66)$$

$$P_{oo-1}^{(T)} \approx m_c P_{но}^{(k)} k_{oo}^{(c)}. \quad (3.67)$$

де m_c – число фрагментів канального рівня, що становлять фрагмент мережевого рівня,

$k_{oo}^{(c)}$ – коефіцієнт виявлення помилки.

Ймовірність невиявленої помилки в фрагменті мережевого рівня $P_{но}^{(c)}$ обчислюється виходячи з невиявлених помилок, які пропускає канальний рівень і мережевий

$$P_{но}^{(c)} \approx \frac{1}{2^{r_c}} (1 - (1 - P_{но}^{(k)})^{m_c}). \quad (3.68)$$

Як видно з рисунка 3.2, інформаційні посилки повинні бути мінімальної довжини, оскільки збільшення довжини інформаційної посилки призводить до зростання ймовірності невиявленої помилки.

Результати розрахунків наведені на рисунку 3.4.

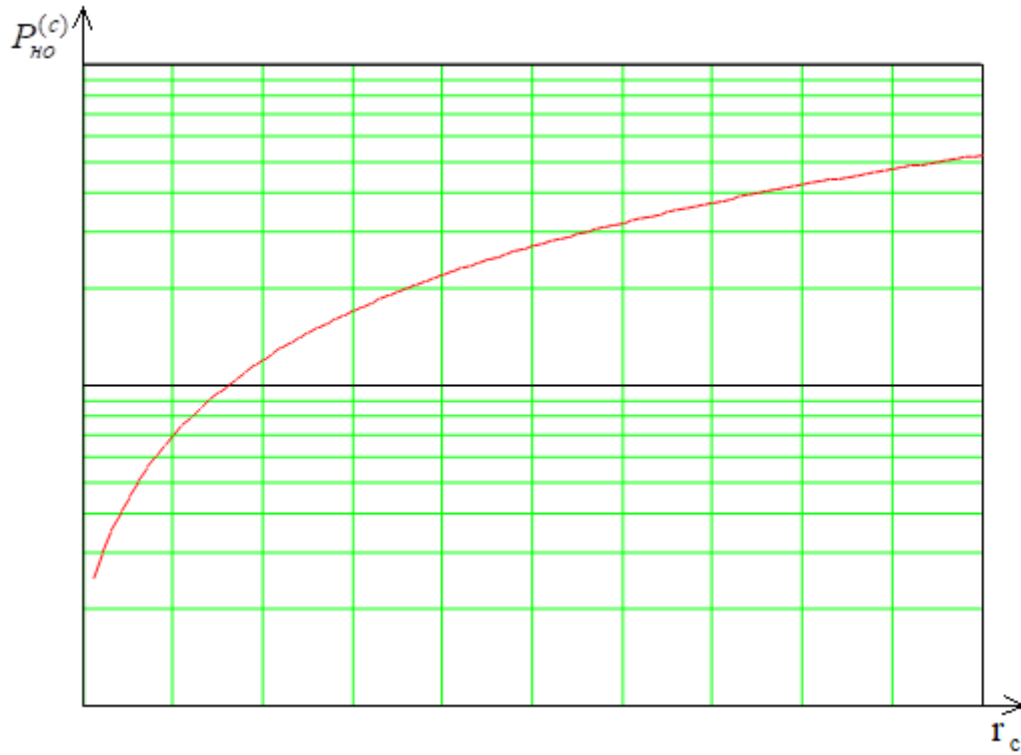


Рисунок 3.4 – Залежність ймовірності невиявленої помилки від довжини інформаційної посліжки

4 РОЗРАХУНОК МАКСИМАЛЬНО ДОСЯЖНОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ДЛЯ МЕРЕЖ З КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВ

Однією з найважливіших характеристик передачі інформації як процесу, що розгортається в часі, є швидкість, тобто кількість інформації, переданої за той чи інший проміжок часу:

$$R = \frac{H}{t}, \quad (4.1)$$

де R – швидкість передачі інформації,

t – час, протягом якого передається інформація.

Максимальна швидкість, з якою той чи інший канал може передавати інформацію, називається його пропускну здатністю. Вона вимірюється в бітах в секунду.

Ефективність роботи систем управління в значній мірі залежить від того, наскільки узгоджені її ланки за показниками пропускну здатності.

Так, система, що складається з послідовно з'єднаних ланок, буде нормально працювати тільки в тому випадку, якщо за принципом мінімуму швидкість переданої інформації не перевищує пропускну здатність її найбільш слабкої ланки. В іншому випадку неминучі втрати і спотворення циркулюючої інформації.

Однією з основних характеристик будь-якої системи передачі інформації є її пропускну здатність.

Пропускну здатність – максимально можлива кількість корисної інформації, що передається в одиницю часу:

$$c = \max\{I_{\max}\} / T_C, \quad (4.2)$$

$$c = [\text{біт} / c].$$

Швидкість передачі інформації зазвичай так не визначають, але іноді кажуть що, вона дорівнює максимальній кількості корисної інформації в одному елементарному сигналі:

$$s = \max\{I_{\max}\} / n, \quad (4.3)$$

$$s = [\text{біт} / \text{елемент}].$$

Після розгляду можна побачити, що характеристики не залежать від джерела, а залежать тільки від каналу зв'язку і його характеристик.

Для розрахунку пропускної здатності каналу без перешкод, існує можливість передавати інформацію ненадлишковим сигналом. Та враховуюче те, що число $n = m$, а ентропія елементарного сигналу

$$H_{C_{\max}} = \log K, \quad (4.4)$$

$$\max\{I_C\} = nH_{C_{\max}} = mH_{C_{\max}}.$$

Тривалість елементарного сигналу $T_C = m\Delta t$, де Δt – тривалість елементарного сигналу.

$$F_C \leq \frac{1}{\Delta t} \Rightarrow T_C = m \times \frac{1}{F_C}, \quad (4.5)$$

де F_C – спектр сигналу.

Пропускна здатність каналу зв'язку без перешкод

$$C = \frac{m \log K}{m} \times F_C = F_C \log K. \quad (4.6)$$

Введемо поняття швидкості генерації елементарного сигналу джерелом інформації:

$$\frac{1}{\Delta t} = B. \quad (4.7)$$

Користуючись новим поняттям, є можливість формулу для передачі швидкості інформації перетворити:

$$c = B \log K . \quad (4.8)$$

Формула, яку ми отримали у дискретному каналі зв'язку без перешкод, визначає максимальну можливу швидкість передачі інформації у ньому. Дана формулювання впливає лише з того, що ентропія сигналу має максимальне значення.

Коли $H_c < H_{c_{\max}}$, тоді $c = BH_c$ та його значення не є максимально можливим.

На рисунку 4.1 можна побачити, як виглядає ситуація у дискретному каналі зв'язку з перешкодами. Тому пропускну здатність дискретного каналу зв'язку з перешкодами можна визначити

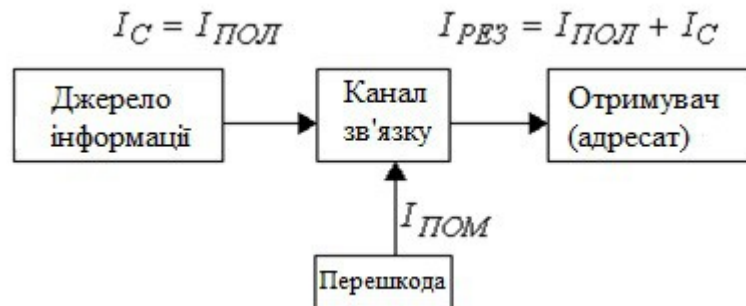


Рисунок – 4.1 Дискретний канал зв'язку з перешкодами

Якщо використовувати формули Шеннона, які визначають кількість інформації, за враховувати властивість адитивності, отримаємо наступні вирази

$$\begin{aligned} I_C &= T_C F_C \log(A_K P_C), \\ I_{ПОМ} &= T_{П} F_{П} \log(A P_{П}). \end{aligned} \quad (4.9)$$

За допомогою результуючої інформації зазвичай неможливо виділити складову перешкоди, тому що для отримувача перешкоди та корисна інформація мають єдину значущість

$$I_{РЕЗ} = T_C F_C \log(A_K (P_{П} + P_C)), \text{ якщо } T_C = T_{П}. \quad (4.10)$$

Приймач може бути вузькосмуговим, у даному випадку перешкода може не впливати на сигнал, але при умові, що буде перебувати в інших частотних інтервалах.

Під час визначення результуючого сигналу, який має найгірший випадок, для нас це коли параметри сигналу і параметри перешкод, схожі один на одного, або й зовсім співпадають

Формула визначення корисної інформації

$$I_{ПОЛ} = I_{РЕЗ} - I_{ПОМ} = T_C F_C \log\left(1 + \frac{P_C}{P_{П}}\right),$$

$$c = \frac{I_{ПОЛ}}{T_C} = F_C \log\left(1 + \frac{P_C}{P_{П}}\right). \quad (4.11)$$

Таку формулу знайшов Шеннон. Тільки у випадку коли сигнал має потужність P_C , а перешкода – потужність $P_{П}$, можна розрахувати швидкість передачі інформації по каналу. Завдяки цій швидкості, всі передані повідомлення будуть передаватись достовірно.

За допомогою цієї формули, неможливо визначити, як досягти такої швидкості на практиці, але можна отримати максимально можливе значення в каналі з перешкодами, завдяки цьому значенню, ми будемо точно знати, що отримана інформація є достовірною.

Якщо розглядат практичне застосування, набагато дешевше буде допустити певну помилку, але завдяки цьому збільшити швидкість передачі.

У даному випадку $P_C \gg P_{П}$. Якщо ввести поняття відносини сигнал/шум

$$\lambda^2 = \frac{P_C}{P_{П}}. \quad (4.12)$$

$P_C \gg P_{П}$, означає, що $\lambda^2 > 10$. Тоді

$$I = T_C F_C \log \frac{P_C}{P_{П}} = T_C F_C H_C = V_C, \quad (4.13)$$

$$c - F_C \log \frac{P_c}{P_{\Pi}} - F_C H_C.$$

На отриманій вище формулі ми бачемо швидкість граничну потужного сигналу в каналі зв'язку

У випадку коли $P_C \ll P_{\Pi}$, то значення прагне до нуля. Таким чином, ми бачемо, що корисний сигнал приймається на фоні перешкод. В одиницю часу у такому каналі отримати сигнал не вдається.

Провести повний фільтр перешкоди можна. У цьому випадку коли приймач отримує корисну інформацію він має у ньому набір помилкових символів. Канал зв'язку для такої ситуації можна представити у вигляді, зображеному на рисунку 4.2, прийнявши джерело інформації за безліч переданих символів $\{X\}$, а приймач – за безліч одержуваних символів $\{Y\}$.

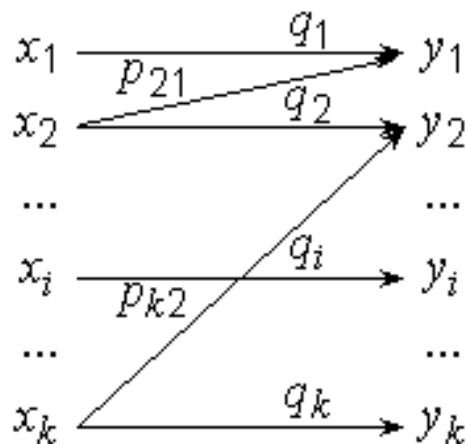


Рисунок 4.2 – Граф перехідних ймовірностей К-ічного каналу зв'язку

Між $x \in X, y \in Y$ існує певна однозначна відповідність.

Якщо перешкод немає, то ймовірність однозначної відповідності дорівнює одиниці, в іншому випадку вона менше одиниці.

Якщо q_i – ймовірність прийняття y_i за x_i , а $p_{ij} = P\{y_i / x_j\}$ – ймовірність помилки, то

$$q_i + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^K p_{ij} = 1. \quad (4.14)$$

Граф перехідних ймовірностей відображає кінцевий результат впливу перешкоди на сигнал. Як правило, він виходить експериментально.

Корисна інформація може бути оцінена як $I_{ПОЛ} = nH(X \times Y)$, де n – кількість елементарних символів в сигналі; $H(X \times Y)$ – взаємна ентропія джерела X та джерела Y .

В даному випадку джерелом X є джерело корисної інформації, а джерелом Y є приймач. Співвідношення, що визначає корисну інформацію, можна отримати виходячи зі змісту взаємної ентропії: заштрихований ділянку діаграми визначає повідомлення, передані джерелом X отримані приймачем Y ; незаштриховані ділянки відображають сигнали джерела X , що не дійшли до приймача і отримані приймачем сторонні сигнали, що не передаються джерелом.

$$I_{ПОЛ} = n \left[H(Y) - H\left(\frac{Y}{X}\right) \right] = n \left[H(X) - H\left(\frac{X}{Y}\right) \right], \quad (4.15)$$

$$c = \frac{\max\{I_{пол}\}}{T_C} = B_{\max} \left[H(Y) - H\left(\frac{X}{Y}\right) \right].$$

де B – швидкість генерації елементарних символів на виході джерела.

Для отримання $\max[H(Y) - H(Y/X)]$ потрібно по можливості збільшити $H(Y)$ і зменшити $H(Y/X)$.

5 РОЗРАХУНОК МАКСИМАЛЬНО ДОСЯЖНОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ДЛЯ КЛІЄНТІВ WIFI МЕРЕЖІ В УМОВАХ ДІЇ МЕХАНІЗМУ КОЛЕКТИВНОГО ДОСТУПУ

5.1 Механізми колективного доступу в мережах 802.11

Зазвичай для того, щоб налаштувати спільне використання середовища передачі даних, використовують не фізичний рівень, а більш високий рівень – рівень доступу до середовища передачі даних, який має назву MAC. Саме цей рівень описує та встановлює правила для спільного використання середовища, для одночасної передачі інформації декількома вузлами бездротової мережі.

Необхідність існування таких правил, які вказують на регламент мережі. Якщо розглядати ситуацію, де кожен вузол бездротової мережі, не дотримуючись жодних правил, передає свою інформацію в ефір. В результаті інтерференції кількох таких сигналів вузли, яким призначалася відправлена інформація, не зможуть не тільки її отримати, але і зрозуміти, що дана інформація адресована їм. Саме тому необхідно існування жорстких регламентуючих правил, які визначають колективний доступ до середовища передачі даних. Саме ці правила колективного доступу необхідно образно порівняти з правилами дорожнього руху, які регулюють спільне використання автодоріг усіма учасниками руху.

Під час розгляду MAC-рівня протоколу 802.11 можна побачити, що він визначає два типи доступу до середовища передачі даних, як званий колективний доступ поділяється на дві функції, одна з яких має назву функцій розподіленої координації, а інша функцій централізованої координації. Нижче розглянемо детальніше їх механізми.

1) Функція розподіленої координації DCF.

Першим варіантом розробки рівноправного доступу до середовища передачі даних є функція розподіленої координації (DCF). Дана функція заснована за допомогою методів колективного доступу з виявленням несучої і механізмом уникнення колізій (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance, CSMA / CA). Завдяки такій розробці кожен вузол, перш ніж почати

передачу, прослуховує середу, намагаючись виявити сигнал, і тільки за умови, що середовище вільне, може почати передачу даних.

Цей випадок, свідчить про те що, має велику ймовірність виникнення колізій: коли два або більше вузлів мережі одночасно (або майже одночасно) вирішать, що середовище вільне, і почнуть передачу даних. Для того щоб знизити ймовірність виникнення подібних ситуацій, використовується механізм уникнення колізій (Collision Avoidance, CA). Суть даного механізму полягає в наступному. Кожен вузол мережі, переконавшись, що середовище вільне, перш ніж почати передачу, вичікує протягом певного проміжку часу. Цей проміжок є випадковим і складається з двох складових: обов'язкового проміжку DIFS (DCF Interframe Space) і обирається випадковим чином проміжку зворотного відліку (Backoff time). В результаті кожен вузол мережі перед початком передачі вичікує протягом випадкового проміжку часу, що значно знижує ймовірність виникнення колізій, оскільки ймовірність того, що два вузли мережі будуть вичікувати протягом одного і того ж проміжку часу, надзвичайно мала.

Для того щоб гарантувати всім вузлам мережі рівноправний доступ до середовища передачі даних, необхідно відповідним чином визначити алгоритм вибору тривалості проміжку зворотного відліку (Backoff time). Проміжок зворотного відліку хоча і є випадковим, але в той же час визначається на підставі безлічі деяких дискретних проміжків часу, тобто дорівнює цілому числу елементарних часових проміжків, званих тайм-слотами (SlotTime). Для того, щоб обрати проміжку зворотного відліку кожен вузол мережі формує вікно конкурентного доступу (Contention Window, CW), що використовується для визначення кількості тайм-слотів, протягом яких станція вичікувала перед передачею. Фактично вікно CW – це діапазон для вибору кількості тайм-слотів, причому мінімальний розмір вікна визначається в 31 тайм-слот, а максимальний розмір – в 1023 тайм-слота. Проміжок зворотного відліку визначається як кількість тайм-слотів, яке визначається виходячи з розміру вікна CW:

$$BackoffTime = Random[CW_{min}, CW_{max}] \times SlotTime. \quad (5.1)$$

Тоді вузол мережі намагається отримати доступ до середовища передачі даних, але тільки після обов'язкового проміжку очікування DIFS запускається

процедура зворотного відліку, що свідчить про включення зворотнього відліку лічильника тайм-слотів починаючи від обраного значення вікна CW. Якщо протягом усього проміжку очікування серед залишалася вільною (лічильник зворотного відліку дорівнює нулю), то вузол починає передачу.

Після успішної передачі вікно CW формується знову. Якщо ж за час очікування передачу почав інший вузол мережі, то значення лічильника зворотного відлік зупиняється і передача даних відкладається. Після того як середовище стане вільною, даний вузол знову починає процедуру зворотного відліку, але вже з меншим розміром вікна CW, що визначається попереднім значенням лічильника зворотного відліку і відповідно з меншим значенням часу очікування.



Рисунок 5.1 – Реалізація рівноправного доступу до середовища передачі даних в методі DCF

Після кожного успішного прийому кадру приймаюча сторона через короткий проміжок SIFS (Short Interframe Space) підтверджує успішний прийом, посилаючи відповідну квитанцію – кадр ACK (ACKnowledgement) (рис. 5.2). Якщо в процесі передачі даних виникла колізія, то передає сторона не отримує кадр ACK, який свідчить про успішне прийомі. У цьому випадку розмір CW-вікна для передавального вузла збільшується майже вдвічі. Так, якщо для першої передачі розмір вікна дорівнює 31 слоту, то для другої спроби передачі він вже становить 63, для третьої – 127, для четвертої – 255, для п'ятої – 511, а для всіх наступних – 1023 слота. Таким чином, для кожної i -й передачі (якщо всі попередні виявилися безуспішними) розмір CW-вікна збільшується за таким правилом:

$$CW_i = CW_{i-1} + 1. \quad (5.2)$$

Отже, збільшення розміру вікна відбувається динамічно, в міру зростання числа колізій, що дозволяє, з одного боку, зменшити тимчасові затримки, а з іншого боку, знизити ймовірність виникнення колізій.

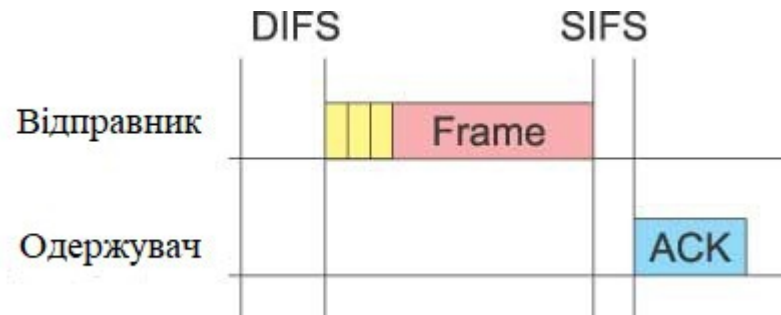


Рисунок 5.2 – Кадри квитанції, що відсилаються в разі успішної передачі даних

Розглянутий механізм регламентування колективного доступу до середовища передачі даних має одне вузьке місце – так звану проблему прихованих вузлів. Через наявність природних перешкод можлива ситуація, коли два вузла мережі не можуть «чути» один одного напряму. Такі вузли називають прихованими.

Для того щоб вирішити проблему прихованих вузлів, функція DCF опціонально передбачає можливість використання алгоритму RTS / CTS.

Відповідно з алгоритмом RTS / CTS кожен вузол мережі, перед тим як послати дані «в ефір», спочатку відправляє спеціальне коротке повідомлення, яке називається RTS (Ready To Send) і означає готовність цього вузла до відправки даних. Таке RTS-повідомлення містить інформацію про тривалість майбутньої передачі і про адресата і доступно всім вузлам в мережі (якщо тільки вони не приховані від відправника). Це дозволяє іншим вузлам затримати передачу на час, рівне оголошеної тривалості повідомлення. Приймальна станція, отримавши сигнал RTS, відповідає посилкою сигналу CTS (Clear To Send), що свідчить про готовність станції до прийому інформації. Після цього передавальна станція надсилає пакет даних, а приймальна станція повинна передати кадр ACK, підтверджує безпомилковий прийом. Послідовність відправки кадрів між двома вузлами мережі показана на рис. 5.3.

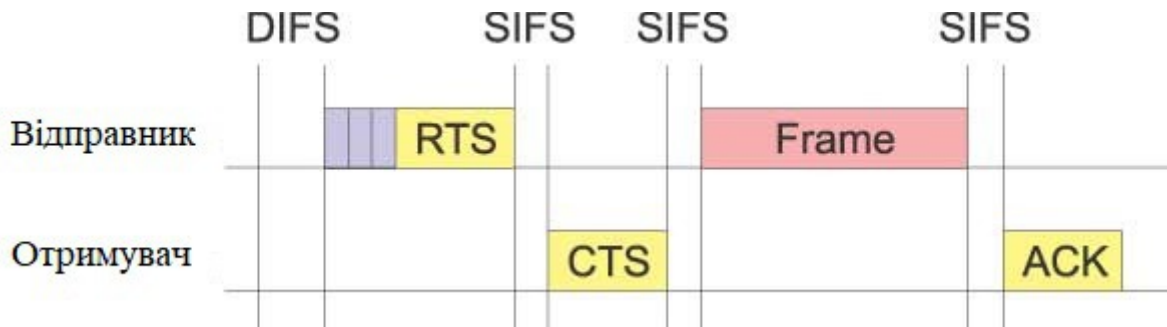


Рисунок 5.3 – Взаємодія між двома вузлами мережі відповідно до алгоритму RTS/CTS

2) Функція централізованої координації PCF.

Розглянутий вище механізм розподіленої координації DCF є базовим для протоколів 802.11 і може використовуватися як в бездротових мережах, що функціонують в режимі Ad-Нос, так і в мережах, що функціонують в режимі Infrastructure, тобто в мережах, інфраструктура яких включає точку доступу (Access Point, AP).

Однак для мереж в режимі Infrastructure більш природним є дещо інший механізм регламентування колективного доступу, відомий як функція централізованої координації (Point Coordination Function, PCF). Відзначимо, що механізм PCF є опціональним і застосовується тільки в мережах з точкою доступу.

У разі задіяння механізму PCF один з вузлів мережі (точка доступу) є центральним і називається центром координації (Point Coordinator, PC). На центр координації покладається завдання управління колективним доступом всіх інших вузлів мережі до середовища передачі даних на основі певного алгоритму опитування або виходячи з пріоритетів вузлів мережі. Таким чином, координації опитує всі вузли мережі, внесені в його список, і на підставі цього опитування організовує передачу даних між усіма вузлами мережі. Важливо відзначити, що такий підхід повністю виключає конкуруючий доступ до середовища (як у випадку механізму DCF) і унеможлиблює виникнення колізій, а для вимезавісімих додатків гарантує пріоритетний доступ до середовища. Таким чином, PCF може використовуватися для організації пріоритетного доступу до середовища передачі даних.

Режими DCF і PCF об'єднуються в так званому суперфрейме, який утворюється з PCF-проміжку безконкурентного доступу до середовища, званого CFP (Contention-Free Period), і наступного за ним DCF-проміжку CP (Contention Period) конкурентного доступу до середовища (рис. 5.4). Тривалість CP-проміжку повинна бути достатньою для того, щоб забезпечити можливість передати хоча б один кадр з використанням DCF-механізму.

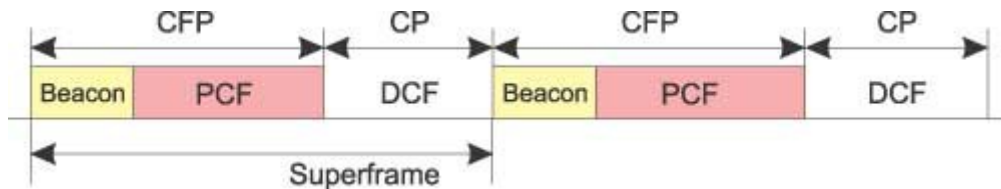


Рисунок 5.4 – Об'єднання режимів PCF і DCF в одному суперфрейме

Під час режиму PCF точка доступу опитує всі вузли мережі про кадрах, які стоять в черзі на передачу, посылаючи їм службові кадри CF_POLL.

Опитувані вузли у відповідь на отримання кадрів CF_POLL посылають підтвердження CF_ACK.

Крім того, щоб мати можливість організувати передачу даних між усіма вузлами мережі, точка доступу може передавати кадр даних (DATA) і поєднувати кадр опитування з передачею даних (кадр DATA + CF_POLL). Аналогічно вузли мережі можуть поєднувати кадри підтвердження з передачею даних DATA + CF_ACK (рис. 5.5).

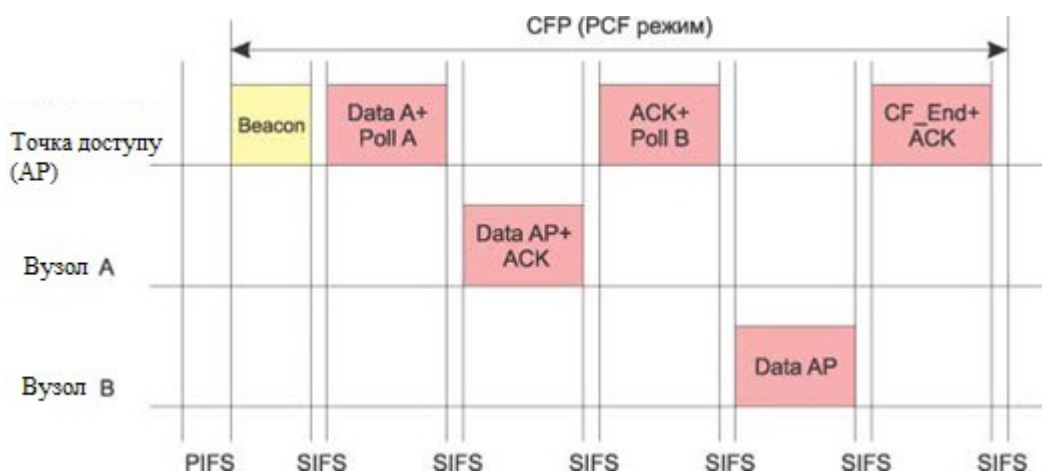


Рисунок 5.5 – Організація передачі даних між вузлами мережі в режимі PCF
Допускаються наступні типи кадрів під час режиму PCF:

- DATA – кадр даних;
- CF_ACK – кадр підтвердження;
- CF_POLL – кадр опитування;
- DATA + CF_ACK – комбінований кадр даних і підтвердження;
- DATA + CF_POLL – комбінований кадр даних і опитування;
- DATA + CF_ACK + CF_POLL – комбінований кадр даних, підтвердження і опитування;
- CF_ACK + CF_POLL – комбінований кадр підтвердження і опитування.

3) Розширена функція розподіленої координації EDCF

Механізм EDCF подібний до механізму DCF, проте для того, щоб гарантувати пріоритетний доступ різного типу додатків до середовища передачі даних, вводяться деякі зміни, що стосуються розміру CW-вікна і проміжку очікування.

У разі реалізації механізму EDCF розглядаються різні категорії трафіку (Traffic Categories, TC), які відрізняються один від одного ступенем пріоритету щодо доступу до середовища передачі даних. При цьому сам механізм доступу до середовища залишається таким же, як і в разі DCF, тобто заснованим на конкуренції.

У разі виникнення колізій, що можливо при збігу проміжків зворотного відліку і AIFS-інтервалів для двох або більше вузлів мережі, здійснюється процедура відкоту і формується нове CW-вікно, але вже більшого розміру. Нагадаємо, що для DCF-механізму розмір нового вікна розраховувався за такою формулою:

$$newCW = 2 \times oldCW - 1. \quad (5.3)$$

Для механізму EDCF розмір нового CW-вікна розраховується за наступним правилом:

$$newCW[TC] = ((oldCW[TC] + 1) \times PF[TC]) - 1, \quad (5.4)$$

де PF – це постійна масштабування вікна, значення якої залежить від категорії трафіку.

У разі DCF можна вважати, що $PF = 2$. Таким чином, пріоритезація трафіка різних категорій задається в методі EDCF за рахунок варіації наступних значень: CW_{\min} , CW_{\max} , $AIFS$, PF .

Принцип реалізації механізму EDCF показаний на рис. 5.6.

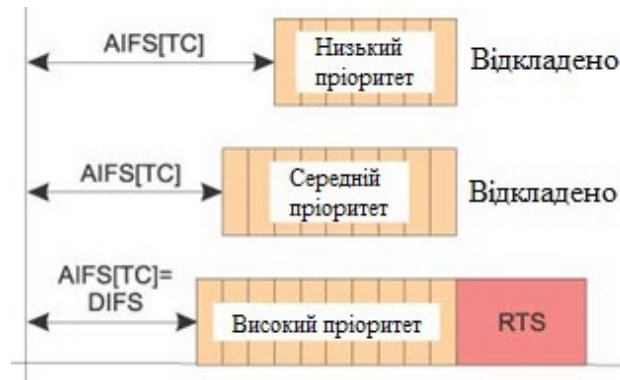


Рисунок 5.6 – Пріоритезація різних категорій трафіку в EDCF

Кожен вузол бездротової мережі може формувати до восьми черг на передачу з різними параметрами пріоритетності (рис. 5.7). Однак при цьому можлива ситуація, коли лічильники зворотного відліку досягають нульового значення в один і той же момент часу для різних черг, тобто для трафіків з різним рівнем пріоритету. Для того щоб уникнути віртуальної колізії, використовується спеціальний планувальник черг, який гарантує трафіку з більш високим пріоритетом право на пріоритетний доступ до середовища.

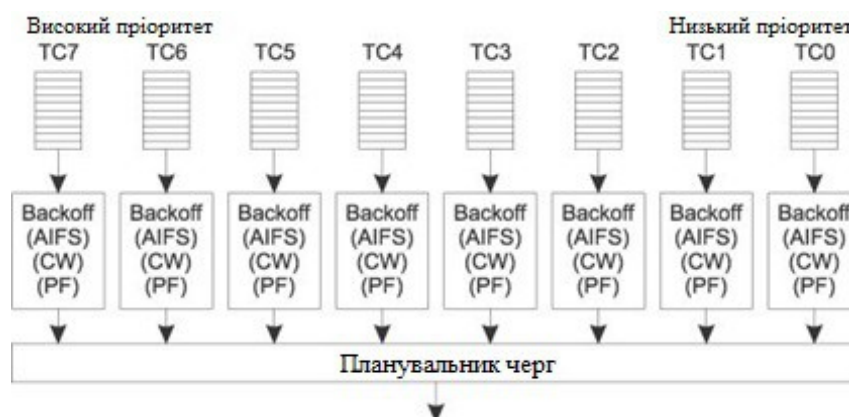


Рисунок 5.7 – Використання планувальника щоб уникнути віртуальних колізій

4) Гібридна функція координації HCF

У разі HCF точка доступу є центром координації (НС) і управляє колективним доступом всіх вузлів мережі до середовища передачі даних, для чого опитує всі вузли мережі, внесені в її список, і на підставі цього опитування організовує передачу даних між усіма вузлами мережі.

У мережах з механізмом HCF протягом певного проміжку часу CFP реалізується механізм безконкурентного доступу, коли доступ до середовища контролюється точкою доступу, потім слід проміжок конкурентного доступу CP з механізмом EDCF. Чергуються режими безконкурентного і конкурентного доступу утворюють суперфрейм.

Для того щоб мати можливість чергувати режими HCF і EDCF, необхідно, щоб точка доступу мала б найвищий пріоритет щодо доступу до середовища передачі даних. Для цього використовується той же прийом, що і в разі PCF: проміжок очікування для точки доступу (PIFS) менше, ніж для всіх інших вузлів мережі ($PIFS < DIFS < AIFS$). Це дозволяє точці доступу агресивно захоплювати середу передачі даних.

На відміну від розглянутого вище методу EDCF, в період конкурентного доступу CP на основі механізму EDCF точка доступу також може отримати позачерговий доступ до середовища, утворюючи так звані CAP (Controlled Access Periods) (рис.5.8)

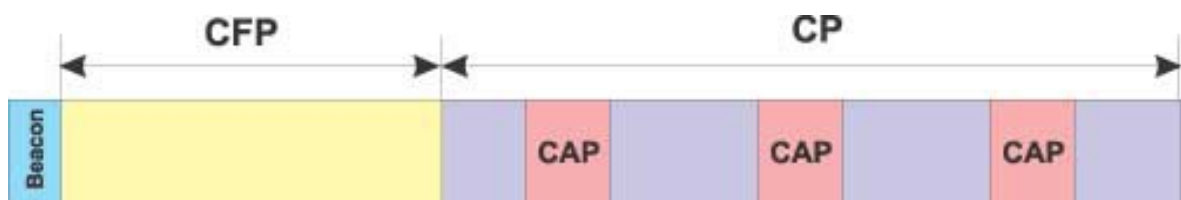


Рисунок 5.8 – Реалізація механізму HCF

Для опитування вузлів мережі використовуються службові кадри QoS CF_POLL, а вузли відповідають на запити кадрами підтвердженнями QoS CF_ACK. Точка доступу може передавати кадри даних (QoS DATA), комбіновані кадри опитування і даних (QoS DATA + CF_POLL), комбіновані кадри опитування і підтвердження (QoS CF_ACK + CF_POLL) і комбіновані кадри опитування, підтвердження і даних (QoS DATA + CF_ACK + CF_POLL).

5.2 Розрахунок максимально досяжної пропускної здатності для клієнтів WiFi

Для розрахунку максимально досяжної пропускної здатності клієнта WiFi розраховуємо за допомогою формули

$$C = \frac{FRAME}{T_s} = \frac{[byte]}{[s]}, \quad (5.5)$$

де T_s – тривалість циклу для одного користувача у секундах (5.6),

$$T = DIFS + BackofTime + RTS + SIFS + CTS + SIFS + FRAME + SIFS + ACK. \quad (5.6)$$

Розглянемо кожен доданок з формули 5.6, для

$DIFS$ розраховується як (5.7),

$BackofTime$ розраховується як (5.1),

$RTS = 46 \mu s$,

$SIFS = 10 \mu s$ (2GHz), $SIFS = 16 \mu s$ (5GHz),

$CTS = 38 \mu s$,

$FRAME$ – розмір фрейма даних користувача у секундах,

$ACK = 38 \mu s$.

$$DIFS = SIFS + 2 \times TimeSlot, \quad (5.7)$$

де $TimeSlot = 9 \mu s$.

Далі робимо розрахунок формули 5.5 та за допомогою програмного забезпечення MathCad будемо графік залежності швидкості від кількості користувачів.

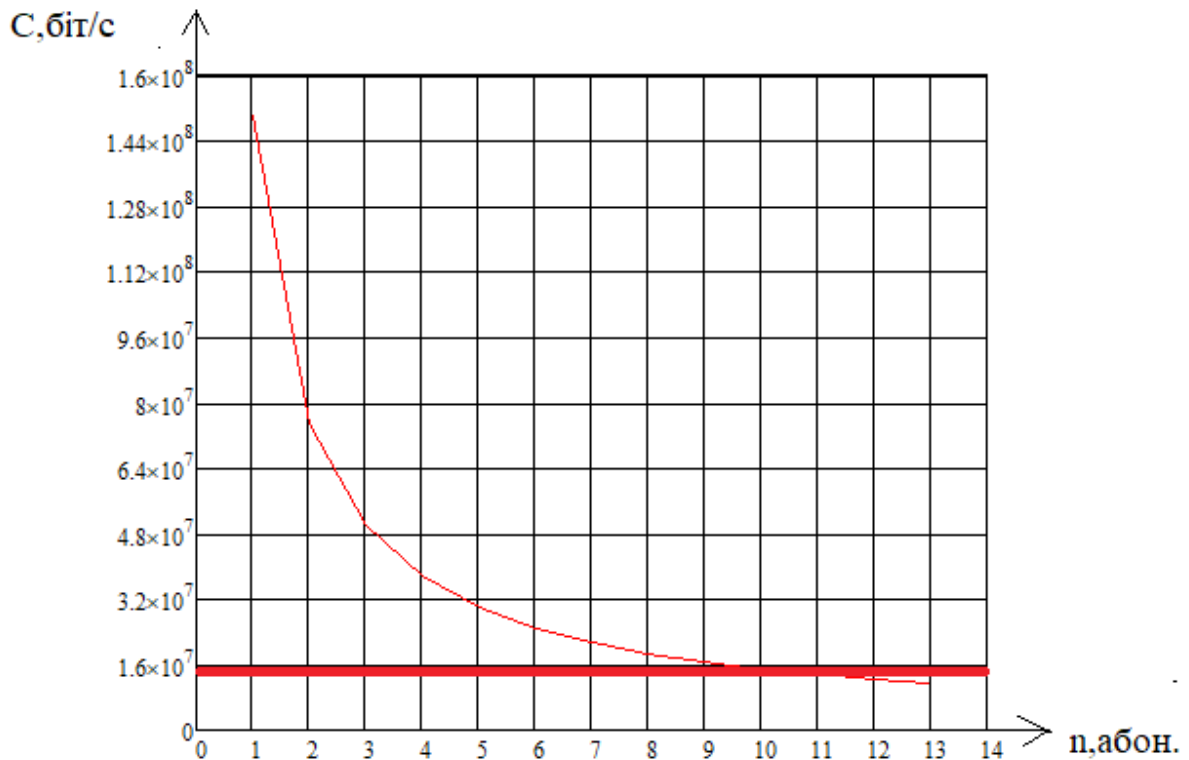


Рисунок 5.9 – Залежність швидкості передачі від кількості абонентів відповідно формули 5.5

5.3 Аналіз розрахованих значень пропускної здатності для клієнтів WiFi мережі в умовах дії механізму колективного доступу

На підставі аналізу рисунків 3.2 та 5.9 можна зробити висновок, що при досягненні кількості абонентів, що використовують один частотний діапазон, більш 10 чоловік, швидкість передачі істотно знизиться, що може привести до проблем і збоїв в процесі передачі різних служб.

Рекомендована ємність мережі абонентів в межах одного частотного діапазону, підключених до однієї і тієї ж точки доступу, становить 10 абонентів.

ВИСНОВОК

В результаті виконання атестаційної роботи розроблено метод підвищення продуктивності існуючої корпоративної локальної мережі підприємства на базі технологій Ethernet.

За основу методу підвищення продуктивності локальної мережі обрано механізми колективного доступу.

У роботі зроблено:

- аналіз території на якій розташовувалась мережа, у результаті чого був розрахований час розгортання мережі;
- аналіз властивостей обладнання, яке буде використане для побудови мережі з наданих умов;
- розрахунок максимально досяжної пропускної здатності для клієнтів WiFi.

На підставі аналізу проведеної роботи запропоновано:

- прокласти кабель «кручена пара» категорії 5е та волоконно-оптичний кабель по всій території підприємства, згідно того плану, який ми отримали на основі аналізу території;
- розмістити мережеве обладнання у кожній з будівель, для з'єднання між собою робочих станцій, робочих груп та в загалом будівель;
- після підключення усієї мережі, налаштувати її, встановити програмне забезпечення на усі робочі станції, та на сервера, для того щоб мережа працювала без конфліктів;
- при досяжності кількості абонентів більше 10, швидкість передачі суттєво зменшується, тому рекомендована кількість абонентів складає 10.

Отримані вирази ймовірності своєчасної доставки повідомлення. На підставі аналізу логічних структур міжкінцевого транспортування даних можуть бути зроблені наступні висновки:

1) міжкінцева доставка повідомлення в мережі з комутацією повідомлень може бути описана багатофазовий моделлю системи масового обслуговування, кожна фаза якої представляється моделлю типу М/М/1. Це уявлення дозволяє отримати функцію розподілу часу доставки повідомлення, що є гіперекспоненціальним розподілом;

2) міжкінцева доставка повідомлення в мережі з комутацією пакетів описується моделлю M/G/1. При цьому закон часу обслуговування знаходиться як час розподілу суми випадкових величин, рівних часу доставки одного пакета мережного рівня. Вхідний потік повідомлень є вхідним потоком на вході транспортного рівня, тобто обслуговуючим приладом СМО M/G/1 є комунікаційна мережа. Точний закон розподілу сумарного часу доставки повідомлення в транспортному сполученні мережі з комутацією пакетів для довільного числа транзитів зробити важко, тому використовується апроксимуюча функція розподілу часу доставки є розподілом Ерланга. Розглянуто метод моментів і отримано вираз для ймовірності своєчасної доставки повідомлення.

Особливості роботи канального рівня враховуються при розрахунку параметрів розподілів. Цей розрахунок заснований на припущенні про експоненційному розподілі часу передачі кадру і геометричному законі розподілу довжини переданих повідомлень.

Отримані результати є складовою частиною САПР для розробки архітектури інформаційних мереж і служать для перевірки задоволення розробленої мережею заданих тимчасово-імовірнісних характеристик.

Це показує нам, що мережа інтернет, набагато спрощує життя людей у сучасному світі не тільки у робочому середовищі, але і у повсякденному житті. Також у зв'язку з тим що наразі увесь світ охопив COVID-19, це дуже підвищує актуальність локальних мереж провідного та безпроводного зв'язку, тому як багато роботи виконується дистанційно, що потребує безперервного з'єднання з інтернетом та доступ до максимальній швидкості.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Оліфер В. Г., Оліфер Н. А. Комп'ютерні мережі: Принципи, технології, протоколи. – СПб .: Пітер. – 2005. – 864 с.
2. Сем Хелебі, Денні Мак-Ферсон. Принципи маршрутизації в Internet. – М: "Вільямс". – 2001. – 448 с.
3. Комп'ютерні мережі [навчальний посібник], А. Г. Микитишин, М. М. Митник, П. Д. Стухляк, В. В. Пасічник. – Львів: «Магнолія 2006», 2013. – 256с.
4. Дімарціо Д. Ф. Маршрутизатор Cisco. Посібник для самостійного вивчення. – Пер. з англ. – СПб: Символ_Плюс, 2003. – 512 с.
5. Буров Є. В. Комп'ютерні мережі [підручник], Євген Вікторович Буров – Львів: «Магнолія 2006», 2010. – 262 с.
6. Педжман Рошан, Джонатан Ліері. Основи побудови бездротових локальних мереж стандарту 802.11. Керівництво Cisco – 802.11 Wireless Local-Area Network Fundamentals. – М .: «Вільямс», 2004., 304 с.
7. Колісниченко Д. Н. FreeBSD. Від новачка до професіонала. – СПб .: «БХВ-Петербург», 2011. – 544 с.
8. Жельников В. Мова повідомлення, Криптографія від папірусу до комп'ютера. – М .: АБФ, 1996. – 335 с.
9. Захаров Г.П. Методи дослідження мереж передачі даних. -М .: Радио и связь, 1982.
10. Пескова С.А., Кузін А.В., Волков О.М. Мережі та телекомунікації (3-є изд.) 2008р., 232 с.
11. Бертсекас Д., Галлагер Р. Мережі передачі даних: Переклад з англійського.-М .: Світ, 1989.
12. Шаньгин В.Ф. Захист інформації в розподілених корпоративних мережах і системах [Текст]: підручник, В.Ф. Шаньгин, А.В. Соколов. – М.: [ДМК Пресс](#), 2002. – 656 с.
13. Комп'ютерні мережі [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www / URL](http://www/URL). – <https://sites.google.com/site/websitecomputernetworks/> – Назва з екрана.
14. Технологія Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www / URL](http://www/URL). – <https://studfiles.net/> – Назва з екрана.

15. Технології Fast Ethernet [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www / URL. – https://deps.ua/](http://www.deps.ua/) – Назва з екрана.
16. Шестипалість А.М., Клепиков В.П., Жевлюк К.С. Центри комутації повідомлень. -М.: Радио и связь, 1982.
17. IEEE 802.11 [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www / URL. – https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11](http://www.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11) – Назва з екрана.
18. Петрович В. І., Логвиненко Н. Ф., Сухоруков Ю. П. Алгоритм з накопиченням і адресним перепитав для обміну даними по каналах погіршеної якості. / Техніка засобів зв'язку. Сер. ТПС, 1984. вип.8, с.28-37. Клейнрок Л. Обчислювальні системи з чергами. -М.: Світ, 1979. Петрович В.І., Логвиненко Н.Ф. Час передачі повідомлень в системах з перепитати. / Техніка засобів зв'язку. Сер. ТПС, 1988. Вип.1, С.41-47.
19. Феллер В. Введення в теорію вірогідності і її застосування. Т.2. -М.: Світ, 1984.
20. Гнеденко Б. В., Коваленко І. Н. Введення в теорію масового обслуговування. -М.: Наука, 1987.
21. Макаров І. М., Менський Б. М. Таблиця зворотних перетворень Лапласа і зворотних Z-перетворень. -М.: Вища школа, 1980.
22. Бронштейн І.М., Семендяев К.А. Довідник з математики. -М.: Наука, 1980.
23. Дж. Ріордан. Імовірнісні системи обслуговування. -М.: Радио и связь, 1985. Кнорринг Г. М. Довідник для проектування електричного освітлення. -Л.: Госенергоіздат, 1980.
24. Шварц М. Мережі зв'язку: протоколи, моделювання та аналіз. У 2-х ч. Ч.1: Переклад з англійської. -М.: Наука, 1972.
25. Елементи теорії передачі дискретної інформації. / За редакцією Пуртова Л.П. -М.: Зв'язок, 1972.
26. Новый стандарт 802.11ax: увеличение производительности WI-FI в 4 раза. 2019. URL: <https://lanmarket.ua/stats/novyuy-standart-802-11ax-uvvelichenieproizvoditelnosti-wi-fi-v-4-raza> (дата звернення: 7.03.2021).
27. WLAN DCF vs PCF-Difference between DCF and PCF medium access types. URL: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/WLAN-DCF-vs-PCF.html>. (дата звернення: 21.02.2021)