

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра „Спеціалізовані комп'ютерні системи”

В.М. Добрянський

**ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ
МЕРЕЖ НА РОЗПОДІЛЕНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

Конспект лекцій

з дисципліни

«МЕРЕЖНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНТЕРНЕТ»

Харків – 2011

Добрянський В.М. Технології локальних комп'ютерних мереж на розподіленому середовищі: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 120 с.

Конспект лекцій підготовлений відповідно до програми навчальної дисципліни «Мережні технології та Інтернет» і є складовою частиною її навчально-методичного комплексу. У конспекті розглянуті особливості найпоширеніших технологій локальних комп'ютерних мереж, що використовують розподілене середовище передачі даних. Принцип розподілу середовища в мережних технологіях є базовим, він споконвічно був єдиним варіантом побудови локальних комп'ютерних мереж. Незважаючи на те, що в цей час комотовані мережі, що будуються на базі комутаторів, які працюють у повнодуплексному режимі, усе більш витісняють мережі на розподіленому середовищі, останні, як і раніше, мають не тільки гносеологічну, але й прагматичну цінність.

Рекомендується для студентів спеціальності «Спеціалізовані комп'ютерні системи» денної форми навчання. Може також бути корисним для студентів заочної форми навчання, які вивчають дисципліну «Мережі комп'ютерних систем» при виконанні курсових та контрольних робіт.

Іл. 41, табл. 3, бібліогр.: 4 назв.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Спеціалізовані комп'ютерні системи» 18 січня 2010 р., протокол № 5/10.

Рецензент

проф. С.В. Лістровий

В.М. Добрянський

ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ НА РОЗПОДІЛЕНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Конспект лекцій
з дисципліни
«МЕРЕЖНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНТЕРНЕТ»

Відповідальний за випуск Добрянський В.М.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 22.03.10 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,75. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

ЗМІСТ

Передмова	5
Лекція 1. Поняття про технологію	7
1.1 Що таке технологія?.....	7
1.2 Високі технології	8
1.3 Інформаційні технології	9
1.4 Поява глобальних мереж	12
1.5 Поява перших локальних мереж	13
1.6 Створення стандартних технологій локальних мереж ...	14
1.7 Сучасні тенденції комп'ютерних технологій.....	16
Питання.....	18
Лекція 2. Технології передачі даних у мережах	19
2.1 Комутація в мережах	19
2.2 Технологія комутації каналів	21
2.3 Технологія комутації пакетів	32
2.4 Комутація повідомлень	37
Питання	38
Лекція 3. Канальний та Фізичний рівні ЛКМ	40
3.1 Стандартна топологія та розподілене середовище.....	41
3.2 Канальний рівень локальних мереж	44
3.3 Фізичний рівень	53
Питання	53
Лекція 4. Технології локальних мереж: Ethernet	55
4.1 Метод доступу до середовища передачі даних	56
4.2 Формати кадрів	62
4.3 MAC-адресація в мережах Ethernet	68
4.4 Кодування даних на фізичному та логічному рівнях.....	68
Питання	70
Лекція 5. Технології локальних мереж: високошвидкісні Ethernet-технології	71
5.1 Технологія Fast Ethernet	71
5.2 Технологія Gigabit Ethernet	79
Питання.....	85
Лекція 6. Технології локальних мереж: Token Ring і FDDI	87
6.1 Технологія Token Ring	87

6.2	Технологія FDDI	95
	Питання	101
	Лекція 7. Безпроводові локальні мережі	103
	7.1 Загальна характеристика безпроводових мереж	103
	7.2 Стеки протоколів безпроводових локальних мереж ...	106
	7.3 Режими роботи безпроводової мережі	109
	7.4 Розподілений режим доступу DCF	111
	7.5 Централізований режим доступу PCF	114
	7.6 Безпека мереж 802.11	116
	7.7 Безпека здоров'я	117
	Питання	118
	Список літератури	120

ПЕРЕДМОВА

Сучасні комп'ютерні інформаційні технології немислимі без об'єднання комп'ютерів в обчислювальну мережу. Необхідність такого об'єднання стає відразу ж очевидною всюди, де у виробничому процесі використовується більше за один комп'ютер. Дійсно, потреба в обміні даними між окремими комп'ютерами, а також потреба у використанні таких пристроїв, як принтери, сканери, плотери, дисководи гнучких і компакт-дисків, дискового простору і ряду інших, виникає періодично на кожному комп'ютері, що бере участь у виробничому процесі. Оснащувати ними кожний комп'ютер дорого, а якщо оснащувати тільки деякі, то виникає проблема надійного і швидкого обміну великими об'ємами даних між окремими комп'ютерами. Ця проблема вирішується сучасними *мережними технологіями*.

Мережні комп'ютерні технології мають більш ніж сорокарічну історію. Першими у другій половині шістдесятих років з'явилися глобальні мережі, але вже на початку сімдесятих, з появою міні- та мікро-ЕОМ, стали розвиватися і локальні комп'ютерні мережі. Їх відмінною рисою було те, що вони були унікальні – кожній комп'ютерній мережі була властива своя власна мережна інформаційна технологія. Недоцільність такого підходу з самого початку була очевидною. Тому дуже швидко з'явилися фірмові стандартні мережні технології, такі як Ethernet, Arc Net, Token Ring і ряд інших, розроблених на початку вісімдесятих років, що лягли в основу міжнародних стандартів. За останні тридцять років деякі з цих стандартів, наприклад Arc Net, припинили своє існування, а деякі, наприклад Ethernet і Token Ring, – продовжують не тільки існувати, але і досить активно розвиватися. За цей же час були розроблені і втілені в життя ряд нових мережних технологій: FDDI, 100VG-AnyLAN і деякі інші.

Все різноманіття мережних технологій, що отримали визнання в цей час, прийнято ділити на два класи: глобальних і локальних. Конспект лекцій, що пропонується читачам, розрахований на студентів, які прослухали курс «Мережі комп'ютерних систем», ознайомилися з мережною термінологією і загальними принципами побудови мереж.

Конспект лекцій підготовлений відповідно до програми навчальної дисципліни “Мережні технології та Інтернет» і є складовою частиною її навчально-методичного комплексу. У конспекті розглянуто особливості найпоширеніших технологій локальних комп'ютерних мереж, що використовують розподілене середовище передачі даних. Принцип розподілу середовища в мережних технологіях є базовим, він споконвічно був єдиним варіантом побудови локальних комп'ютерних мереж. Незважаючи на те, що в цей час комутовані мережі, що будуються на базі комутаторів, які працюють у повнодуплексному режимі, усе більш витісняють мережі на розподіленому середовищі, останні, як і раніше, мають не тільки гносеологічну, але й прагматичну цінність.

ЛЕКЦІЯ 1. ПОНЯТТЯ ПРО ТЕХНОЛОГІЮ

Технологія (з грецьк. *tehne* – мистецтво, майстерність, уміння й грецьк. *logos* – вивчення) – сукупність методів та інструментів для досягнення бажаного результату, метод перетворення даного в необхідне, спосіб виробництва.

1.1 Що таке технологія?

Якщо звернутися до самого визначення терміна технологія, до його споконвічного значення (див. епіграф до лекції), то можна зробити висновок, що мета технології полягає в тім, щоб розкласти на складові елементи процес досягнення якого-небудь результату. Технологія застосовна всюди, де є прагнення досягти результат, але усвідомлене застосування технологічного підходу було справжньою революцією. До появи технології панувало мистецтво – людина робила щось, але це щось виходило тільки в неї, це як дарунок: або є, або нема. За допомогою же технології все те, що доступно тільки обраним, обдарованим (мистецтвом), стає доступним всім.

Момент переходу від мистецтва до технології фактично створив сучасну людську цивілізацію, уможливив її подальший розвиток і вдосконалювання.

Наприкінці XVIII ст. у загальному масиві знань про техніку стали розрізняти традиційний описовий розділ і новий, що народжувався, котрий одержав назву «технологія». Йоганн Бекман (1739—1811) увів у наукове вживання термін «технологія», яким він назвав наукову дисципліну, що читалася ним у німецькому університеті в Геттингені з 1772 р. У 1777 р. він опублікував роботу «Введення в технологію», де писав: «Огляд винаходів, їхнього розвитку й успіхів у мистецтвах і ремеслах може називатися історією технічних мистецтв; технологія, що пояснює в цілому, методично й виразно всі види праці їхніми наслідками й причинами, являє собою набагато більше». Пізніше в п'ятитомній праці «Нариси з історії винаходів» (1780—1805 pp.) він розширив це поняття.

Технологія — у широкому розумінні — обсяг знань, які можна використати для виробництва товарів і послуг з економічних ресурсів. Технологія — у вузькому розумінні — спосіб перетворення речовини, енергії, інформації в процесі виготовлення продукції, обробки й переробки матеріалів, зборки готових виробів, контролю якості, керування. Технологія включає в себе методи, прийоми, режим роботи, послідовність операцій і процедур, вона тісно пов'язана із застосовуваними засобами, устаткуванням, інструментами, використовуваними матеріалами.

Сучасні технології засновані на досягненнях науково-технічного прогресу і орієнтовані на виробництво продукту: матеріальна технологія створює матеріальний продукт, *інформаційна технологія* (ІТ) — інформаційний продукт. Технологія – це також *наукова дисципліна*, що розробляє й удосконалює способи та інструменти виробництва. У побуті технологією прийнято називати опис виробничих процесів, інструкції з їхнього виконання, технологічні вимоги та ін. Технологією або *технологічним процесом* часто називають також самі операції видобутку, транспортування й переробки, які є основою виробничого процесу. Технічний контроль на виробництві теж є частиною технології. Розробленням технологій займаються *технологи, інженери, конструктори, програмісти та інші спеціалісти* у відповідних галузях.

1.2 Високі технології

Найбільш нові й прогресивні технології сучасності відносять до *високих технологій* (з англ. *hightechnology, hi-tech*). Перехід до використання високих технологій і відповідної їм техніки є найважливішою ланкою науково-технічної революції (НТР) на сучасному етапі. До високих технологій звичайно відносять найбільш наукомісткі галузі промисловості: *мікроелектроніку, обчислювальну техніку, робототехніку, атомну енергетику, літакобудування, космічну техніку, мікробіологічну промисловість*.

1.3 Інформаційні технології

Інформаційні технології (ІТ, з англ. *information technology*, *IT*) — широкий клас дисциплін та галузей діяльності, що належать до **технологій** керування, накопичування, обробки й передачі інформації.

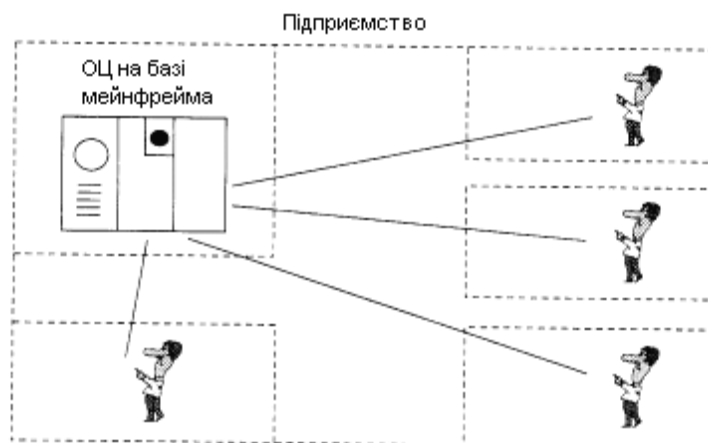
Інформаційна технологія — процес, що використовує сукупність засобів і методів збору, накопичування, обробки й передачі даних (первинної інформації) для одержання інформації нової якості про стан об'єкта, процесу або явища (інформаційного продукту). Цей процес складається із чітко регламентованої послідовності виконання операцій, дій, етапів різного ступеня складності над даними, що зберігаються на комп'ютерах. Основна мета інформаційної технології — у результаті цілеспрямованих дій з переробки первинної інформації одержати необхідну для користувача нову інформацію.

В основному під інформаційними технологіями розуміють *комп'ютерні технології*. Зокрема, ІТ мають справи з використанням комп'ютерів і програмного забезпечення для зберігання, перетворення, захисту, обробки, передачі й одержання інформації. Із цієї причини фахівців з комп'ютерів часто називають ІТ-фахівцями.

Логічним результатом еволюції комп'ютерних технологій стала поява комп'ютерних мереж. Перші комп'ютери 1950-х рр. — більш громіздкі й дорогі — призначалися для дуже невеликого числа вибраних користувачів. Такі комп'ютери не були призначені для інтерактивної роботи користувача, а використовувалися в режимі пакетної обробки.

Системи пакетної обробки, як правило, будувалися на базі мейнфрейма — потужного й надійного комп'ютера універсального призначення. Користувачі підготовляли перфокарти, що містять дані й команди програм, і передавали їх в обчислювальний центр. Оператори вводили ці карти в комп'ютер, а роздруковані результати дня (рисун

означала, я

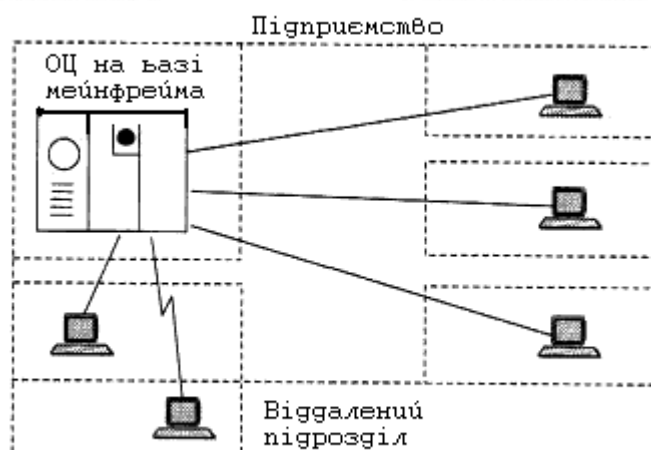


наступного
абита карта

Рисунок 1.1 – Централізована система на базі мейнфрейма

Звичайно, для користувачів інтерактивний режим роботи, при якому можна з терміналу оперативно керувати процесом обробки своїх даних, був би набагато зручнішим. Але інтересами користувачів на перших етапах розвитку обчислювальних систем здебільшого зневажали, оскільки пакетний режим – це найефективніший режим використання обчислювальної потужності, тому що він дозволяє виконати в одиницю часу більше користувальницьких завдань, ніж будь-які інші режими. На перше місце ставилася ефективність роботи найдорожчої будови обчислювальної машини – процесора, на шкоду ефективності роботи його фахівців, які її (машину) використовують.

Зі здешевленням процесорів на початку 1960-х рр. з'явилися нові способи організації обчислювального процесу, які дозволили врахувати інтереси користувачів. Почали розвиватися інтерактивні багатотермінальні системи поділу часу (рисунок 1.2). У таких системах комп'ютер використовувався одночасно кількома користувачами. Кожний користувач одержував у свій час реакції того, що він міг вести обчислювальної користувачеві комп'ютером та спосіб комп'ютер невелику плату



огою якого а порівняно зації.

Рисунок 1.2 – Багатотермінальна система – прообраз комп'ютерної мережі

Термінали, вийшовши за межі обчислювального центру, розосередилися по всьому підприємству. І хоча обчислювальна потужність залишалася повністю централізованою, деякі функції (такі як введення й виведення даних) стали розподіленими. Такі багатотермінальні централізовані системи зовні вже були дуже схожими на локальні обчислювальні мережі. Дійсно, рядовий користувач роботу за терміналом мейнфрейма сприймав приблизно так само, як зараз він сприймає роботу за підключеним до мережі персональним комп'ютером. Користувач міг одержати доступ до загальних файлів і периферійних пристроїв, при цьому в нього підтримувалася повна ілюзія одноособового володіння комп'ютером, тому що він міг запустити потрібну йому програму в будь-який момент і майже відразу ж одержати результат. (Деякі, далекі від обчислювальної техніки, користувачі навіть були впевнені, що всі обчислення виконуються усередині їхнього дисплея.)

Таким чином, багатотермінальні системи, що працюють у режимі розподілу часу, стали першим кроком на шляху створення локальних обчислювальних мереж. Але до появи локальних мереж потрібно було пройти ще великий шлях, тому що багатотермінальні системи, хоча й мали зовнішні риси розподілених систем, усе ще зберігали централізований характер обробки даних. З іншого боку, і потреба підприємств у створенні локальних мереж у цей час ще не дозріла – в одному будинку

просто нема чого було поєднувати в мережу, тому що через високу вартість обчислювальної техніки підприємства не могли собі дозволити розкіш придбання декількох комп'ютерів. У цей період був справедливим так званий «закон Гроша», що емпірично відбивав рівень технології того часу. Відповідно до цього закону продуктивність комп'ютера була пропорційна квадрату його вартості, звідси випливало, що за ті самі кошти було вигідніше купити одну потужну машину, ніж дві менш потужних – їх сумарна потужність була набагато меншою за потужність дорогої машини.

1.4 Поява глобальних мереж

Проте потреба в з'єднанні комп'ютерів, що перебувають на великій відстані один від одного, до цього часу стала нагальною. Почалося все з вирішення більш простого завдання – доступу до комп'ютера з терміналів, віддалених від нього на багато сотень, а то й тисяч кілометрів. Термінали з'єднувалися з комп'ютерами через телефонні мережі за допомогою модемів. Такі мережі дозволяли численним користувачам одержувати віддалений доступ до розподілених ресурсів декількох потужних комп'ютерів класу суперЕОМ. Потім з'явилися системи, у яких поряд з віддаленими з'єднаннями типу термінал-комп'ютер були реалізовані й віддалені зв'язки типу комп'ютер-комп'ютер. Комп'ютери одержали можливість обмінюватися даними в автоматичному режимі, що, власне, і є базовим механізмом будь-якої обчислювальної мережі. Використовуючи цей механізм, у перших мережах були реалізовані служби обміну файлами, синхронізації баз даних, електронної пошти та інші, що стали тепер традиційними.

Таким чином, хронологічно першими з'явилися глобальні обчислювальні мережі. Саме при побудові глобальних мереж були вперше запропоновані й відпрацьовані багато основних ідей і концепції сучасних обчислювальних мереж. Наприклад, багаторівнева побудова комунікаційних протоколів, технологія комутації пакетів, маршрутизація пакетів у складних мережах.

1.5 Поява перших локальних мереж

На початку 1970-х рр. відбувся технологічний прорив у галузі виробництва комп'ютерних компонентів – з'явилися великі інтегральні схеми. Їх порівняно невисока вартість і високі функціональні можливості призвели до створення міні-комп'ютерів, які стали реальними конкурентами мейнфреймів. Закон Гроша перестав відповідати дійсності, тому що десяток міні-комп'ютерів виконували деякі завдання (як правило, добре розпаралельовані) швидше від одного мейнфрейма, а вартість такої міні-комп'ютерної системи була менше.

Навіть невеликі підрозділи підприємств одержали можливість купувати для себе комп'ютери. Міні-комп'ютери виконували завдання керування технологічним устаткуванням та інші завдання рівня підрозділу підприємства. Таким чином, з'явилася концепція розподілу комп'ютерних ресурсів по всьому підприємству. Однак при цьому всі комп'ютери однієї організації, як і раніше, продовжували працювати автономно (рисунок 1.3).

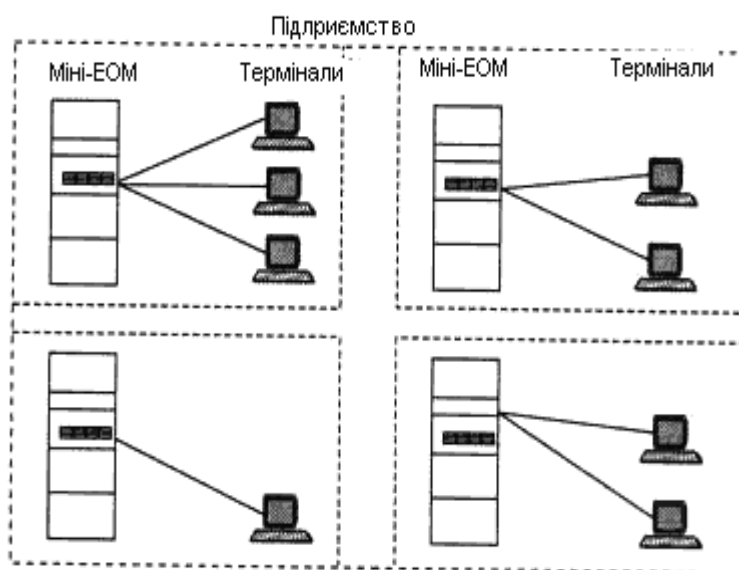


Рисунок 1.3 – Автономне використання декількох міні-комп'ютерів на одному підприємстві

Йшов час, потреби користувачів обчислювальної техніки зростали, їм стало недостатньо власних комп'ютерів, їм вже потрібно було одержати можливість обміну даними з іншими близько розташованими комп'ютерами. У відповідь на цю потребу підприємства й організації стали з'єднувати свої міні-

комп'ютери разом і розробляти програмне забезпечення, необхідне для їхньої взаємодії. У результаті з'явилися перші локальні обчислювальні мережі (рисунок 1.4). Вони ще багато в чому відрізнялися від сучасних локальних мереж, у першу чергу своїми пристроями сполучення. Спочатку для з'єднання комп'ютерів один з одним використовувалися найрізноманітніші нестандартні пристрої зі своїм способом подання даних на лініях зв'язку, своїми типами кабелів і т. п. Ці пристрої могли з'єднувати тільки ті типи комп'ютерів, для яких були розроблені. Таким чином, перші комп'ютерні мережі були втіленням унікальних мережних технологій. Дві будь-які мережі принципово відрізнялися одна від одної.

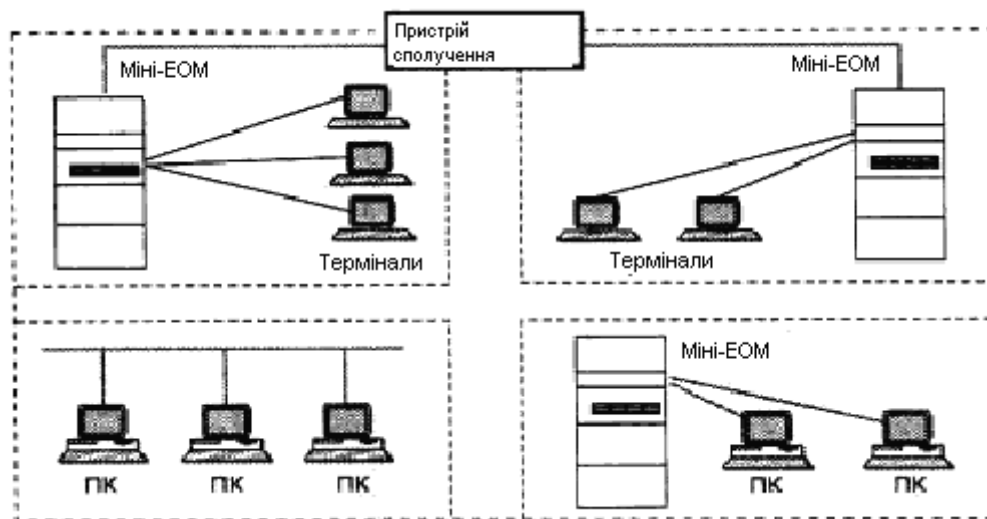


Рисунок 1.4 – Різні типи зв'язків у перших локальних мережах

1.6 Створення стандартних технологій локальних мереж

У середині 1980-х рр. положення справ у локальних мережах стало кардинально змінюватися. Затвердилися стандартні технології об'єднання комп'ютерів у мережу – Ethernet, Arcnet, Token Ring. Потужним стимулом для їхнього розвитку послужили персональні комп'ютери. Ці масові продукти з'явилися ідеальними елементами для побудови мереж: з одного боку, вони були досить потужними для роботи мережного програмного забезпечення, а з іншого – явно мали потребу в

об'єднанні своєї обчислювальної потужності для вирішення складних завдань, а також розподілу дорогих периферійних пристроїв і дискових масивів. Тому персональні комп'ютери стали переважати в локальних мережах, причому не тільки як клієнтські комп'ютери, але і як центри зберігання й обробки даних, тобто мережні сервери, потіснивши із цих звичних ролей міні-комп'ютери й мейнфрейми.

Стандартні мережні технології перетворили процес побудови локальної мережі з мистецтва в рутинну роботу. Для створення мережі досить було придбати мережні адаптери відповідного стандарту, наприклад Ethernet, стандартний кабель, приєднати адаптери до кабелю стандартними рознімачами й установити на комп'ютер одну з популярних мережних операційних систем. Після цього мережа починала працювати й приєднання кожного нового комп'ютера не викликало жодних проблем – за умови, що на ньому був установлений мережний адаптер тієї самої технології.

Локальні мережі порівняно із глобальними мережами внесли багато нового в способи організації роботи користувачів. Доступ до розподілених ресурсів став набагато зручніше – користувач міг просто переглядати списки наявних ресурсів, а не запам'ятовувати їхні ідентифікатори (або імена). Після з'єднання з віддаленим ресурсом можна було працювати з ним за допомогою вже знайомих користувачеві, з роботи з локальними ресурсами, команд. Наслідком і одночасно рушійною силою такого прогресу стала поява величезного числа непрофесійних користувачів, яким зовсім не потрібно було вивчати спеціальні (і досить складні) команди для мережної роботи. А можливість реалізувати всі ці зручності розробники локальних мереж одержали в результаті появи якісних кабельних ліній зв'язку, на яких навіть мережні адаптери першого покоління забезпечували швидкість передачі даних до 10 Мбіт/с.

Звичайно, про такі швидкості розробники глобальних мереж не могли навіть мріяти – їм доводилося користуватися тими каналами зв'язку, які були в наявності, тому що прокладання нових кабельних систем для обчислювальних мереж довжиною в тисячі кілометрів зажадало б колосальних капітальних вкладень. А «під рукою» були тільки телефонні канали зв'язку, погано

пристосовані для високошвидкісної передачі дискретних даних (швидкість в 1200 біт/с була для них гарним досягненням). Тому ощадлива витрата пропускної спроможності каналів зв'язку часто була основним критерієм ефективності методів передачі даних у глобальних мережах. У цих умовах різні процедури прозорого доступу до віддалених ресурсів, стандартні для локальних мереж, для глобальних мереж довго залишалися недозволеною розкішшю.

1.7 Сучасні тенденції комп'ютерних технологій

Сьогодні обчислювальні мережі продовжують розвиватися, причому досить швидко. Розрив між локальними й глобальними мережами постійно скорочується багато в чому через появу високошвидкісних територіальних каналів зв'язку, що не поступаються якістю кабельним системам локальних мереж. У глобальних мережах з'являються служби доступу до ресурсів, такі самі зручні й прозорі, як і служби локальних мереж. Подібні приклади у великій кількості демонструє найбільш популярна глобальна мережа – Internet.

Змінюються й локальні мережі. Замість з'єднуючого комп'ютери пасивного кабелю в них у великій кількості з'явилося різноманітне комунікаційне устаткування: комутатори, маршрутизатори, шлюзи. Завдяки такому устаткуванню з'явилася можливість побудови корпоративних мереж, що нараховують тисячі комп'ютерів і мають складну структуру. Відродився інтерес до великих комп'ютерів – в основному через те, що після спаду ейфорії із приводу легкості роботи з персональними комп'ютерами з'ясувалося, що системи, які складаються із сотень серверів, обслуговувати складніше, ніж кілька великих комп'ютерів. Тому на новому витку еволюційної спіралі мейнфрейми стали повертатися в корпоративні обчислювальні системи, але вже як повноправні мережні вузли, що підтримують Ethernet або Token Ring, а також стек протоколів TCP/IP, що став завдяки Internet мережним стандартом де-факто.

Виявилася ще одна дуже важлива тенденція, що стосується рівною мірою як локальних, так і глобальних мереж. У них стала

оброблятися невласлива раніше обчислювальним мережам інформація – голос, відеозображення, малюнки. Це викликало необхідність внесення змін у роботу протоколів, мережних операційних систем і комунікаційного устаткування. Складність передачі такої мультимедійної інформації з мережі пов'язана з її чутливістю до затримок при передачі пакетів даних – затримки звичайно призводять до спотворення такої інформації в кінцевих вузлах мережі. Оскільки традиційні служби обчислювальних мереж (такі як передача файлів або електронна пошта) створюють малочутливий до затримок трафік і всі елементи мереж розроблялися розраховуючи на нього, то поява трафіка реального часу призвела до великих проблем.

Сьогодні ці проблеми вирішуються різними способами. Однак, незважаючи на заходи, вживані в цьому напрямку, до допустимого вирішення проблеми поки далеко, і в цій галузі має бути ще багато зроблено, щоб досягти заповітної мети – злиття технологій не тільки локальних і глобальних мереж, але й технологій будь-яких інформаційних мереж: обчислювальних, телефонних, телевізійних і т. п. Хоча сьогодні ця ідея багатьом здається утопією, серйозні фахівці вважають, що передумови для такого синтезу вже існують, і їхні думки розходяться тільки в оцінці приблизних строків такого об'єднання – називаються строки від 10 до 25 років. Причому вважається, що основою для об'єднання послужить технологія комутації пакетів, яка застосована сьогодні в обчислювальних мережах, а не технологія комутації каналів, яка використовується в телефонії, що, напевно, повинне підвищити інтерес до мереж цього типу.

Таким чином, незважаючи на тенденції зближення різних інформаційних технологій, розходжень між ними поки що набагато більше, ніж загальностей. Навіть якщо не брати до уваги розходження між технологіями глобальних і локальних мереж, усередині кожної з них є приватні технологічні особливості. Саме одній з них – технології локальних мереж на *розподілюваному середовищі* – й будуть присвячені наступні лекції.

Питання

- 1 Що таке технологія?
- 2 Дайте визначення поняттю «інформаційні технології».
- 3 У чому зміст пакетної обробки даних?
- 4 Що таке багатотермінальна система?
- 5 Які концепції були відпрацьовані при побудові глобальних мереж?
- 6 Що таке мережа на розподілюваному середовищі?
- 7 Визначте умови появи глобальних мереж.
- 8 Визначте умови появи локальних мереж.
- 9 Які мережі хронологічно були першими?
- 10 Що було ознакою перших локальних мереж?
- 11 Які недоліки мають глобальні мережі?
- 12 Які недоліки мають локальні мережі?
- 13 Які переваги мають глобальні мережі?
- 14 Які переваги мають локальні мережі?
- 15 Визначте сучасні тенденції мережних технологій.

ЛЕКЦІЯ 2. ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У МЕРЕЖАХ

Комутація – процес з'єднання абонентів комунікаційної мережі через транзитні вузли.

Абонент (з франц. *abonner* – підписуватися) – фізична або юридична особа, що уклала договір з оператором на надання послуг зв'язку з виділенням йому унікального засобу доступу до послуг зв'язку.

2.1 Комутація в мережах

У цій лекції під мережею будемо розуміти будь-яку комунікаційну мережу, здатну забезпечити інформаційний зв'язок між будь-якими її абонентами. У ролі абонентів можуть виступати як пристрої, наприклад комп'ютери, локальні мережі, факс-апарати, так і просто співрозмовники, що спілкуються за допомогою телефонних апаратів. У загальному випадку така мережа має складну структуру, що включає в себе велику кількість різних пристроїв. Практично неможливо надати кожній парі взаємодіючих абонентів свою власну фізичну лінію зв'язку, якою вони могли б монополювати «володіти» протягом тривалого часу. Тому в будь-якій мережі завжди застосовується який-небудь спосіб комутації абонентів, який забезпечує доступність фізичних каналів одночасно для декількох сеансів зв'язку між абонентами мережі.

На рисунку 2.1 показана типова структура мережі з комутацією абонентів.

Зображена на рисунку мережа складається з абонентів (позначені цифрами 1, 2, ..., 8) і транзитних вузлів – комутаторів (позначені буквами А, В, С, D, E, F, G.)

Абоненти з'єднуються з комутаторами індивідуальними лініями зв'язку, кожна з яких використовується в будь-який момент часу тільки в однієї лінії зв'язку абонентом. Між комутаторами лінії зв'язку розділяються декількома сегментами, тобто використовуються спільно.

Будь-які мережі зв'язку підтримують деякий спосіб комутації своїх абонентів між собою.

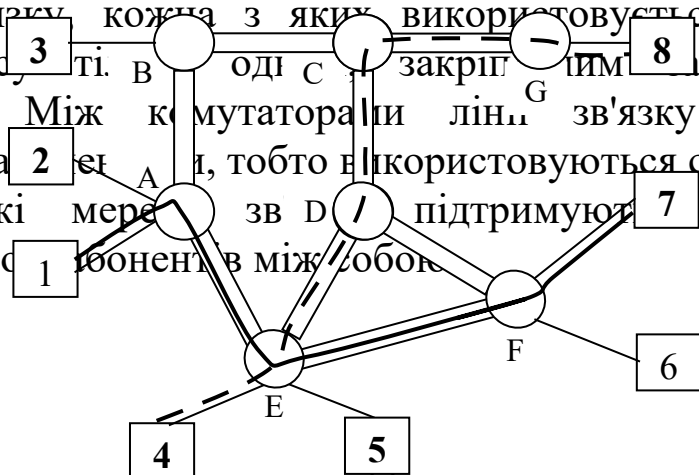


Рисунок 2.1 – Загальна структура мережі з комутацією абонентів

Існують три принципово різні схеми комутації абонентів у мережах: *комутація каналів (circuit switching)*, *комутація пакетів (packet switching)* і *комутація повідомлень (message switching)*. Зовні всі ці схеми відповідають наведеній на рисунку 2.1 структурі мережі, однак можливості і властивості їх різні. Мережі з комутацією каналів мають більш багату історію, вони ведуть своє походження від перших телефонних мереж. Мережі з комутацією пакетів порівняно молоді, вони з'явилися в кінці 1960-х рр. як результат експериментів з першими глобальними комп'ютерними мережами. Мережі з комутацією повідомлень послужили прототипом сучасних мереж з комутацією пакетів і сьогодні вони в чистому вигляді практично не існують.

Кожна з цих схем має свої переваги і недоліки, але за довгостроковими прогнозами багатьох фахівців майбутнє належить технології комутації пакетів, як більш гнучкій і універсальній.

Як мережі з комутацією пакетів, так і мережі з комутацією каналів можна розділити на два класи за іншою ознакою: на мережі з *динамічною комутацією* і мережі з *постійною комутацією*.

У першому випадку мережа дозволяє встановлювати з'єднання з ініціативи користувача мережі. Комутація виконується на час сеансу зв'язку, а потім (знову ж з ініціативи одного з взаємодіючих користувачів) зв'язок розривається. У загальному випадку будь-який користувач мережі може сполучитися з будь-яким іншим користувачем мережі. Звичайно

період з'єднання між парою користувачів при динамічній комутації складає від декількох секунд до декількох годин і завершується при виконанні певної роботи – передачі файла, перегляду сторінки тексту або зображення і т. п.

У другому випадку мережа не надає користувачеві можливість виконати динамічну комутацію з іншим довільним користувачем мережі. Замість цього мережа дозволяє парі користувачів замовити з'єднання на тривалий період часу. З'єднання встановлюється не користувачами, а персоналом, обслуговуючим мережу. Час, на який встановлюється постійна комутація, вимірюється звичайно декількома місяцями (а то й роками). Режим постійної комутації в мережах з комутацією каналів часто називається сервісом *виділених (dedicated) каналів або каналів, що ореннуються (leased)*.

Прикладами мереж, підтримуючих режим динамічної комутації, є телефонні мережі загального користування, локальні мережі, будь-які мережі, що використовують стек протоколів TCP/IP.

Найбільш популярними мережами, працюючими в режимі постійної комутації, сьогодні є мережі технології SDN (Services Digital Network – цифрова мережа зв'язку з комплексними послугами), на основі яких будуються виділені канали зв'язку з пропускною спроможністю в декілька гігабіт у секунду.

Деякі типи мереж підтримують обидва режими роботи. Наприклад, мережі X.25 і АТМ можуть надавати користувачеві можливість динамічно зв'язатися з будь-яким іншим користувачем мережі і в той же час відправляти дані по постійному з'єднанню одному цілком певному абоненту.

2.2 Технологія комутації каналів

Історично комутація каналів з'явилася набагато раніше за технологію комутації пакетів і веде своє походження від перших телефонних мереж.

Комутація каналів має на увазі утворення безперервного складового фізичного каналу з послідовно з'єднаних окремих каналних ділянок для прямої передачі даних між вузлами.

Окремі канали з'єднуються між собою спеціальною апаратурою – комутаторами, які можуть встановлювати зв'язки між будь-якими кінцевими вузлами мережі. У мережі з комутацією каналів перед передачею даних завжди необхідно виконати процедуру встановлення з'єднання, у процесі якої і створюється складовий канал.

Розглянемо таку структуру (рисунок 2.2), яка являє собою комунікаційну мережу, що складається з термінального обладнання (DTE – Data Terminal Equipment) – кінцевих вузлів мережі, абонентів, та комунікаційного обладнання (DCE – Data Communication Equipment) – комутаторів; ліній зв'язку.

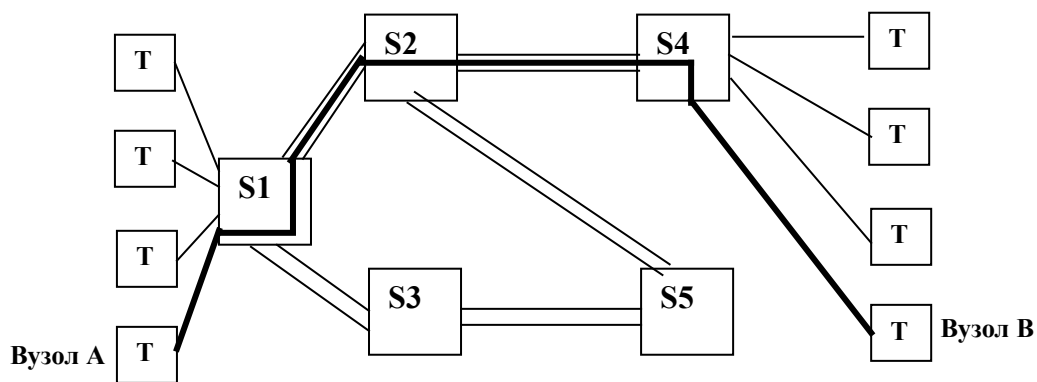


Рисунок 2.2 – Комутація каналів

Термінальні пристрої (Т) посилають дані в мережу з однією і тією самою швидкістю. При цьому ця швидкість дорівнює пропускній спроможності лінії зв'язку. Якщо в якийсь момент часу запропоноване абонентом навантаження виявляється менше від пропускної спроможності лінії, то термінальне обладнання продовжує заповнювати лінію постійним (незначущим) потоком даних (рисунок 2.3).

Таким чином, *комутація каналів* має на увазі утворення безперервного складового фізичного каналу з послідовно сполучених окремих каналних ділянок для прямої передачі даних між вузлами.



Рисунок 2.3 – Доповнення потоку до пропускної спроможності каналу

Окремі канали з'єднуються між собою спеціальною апаратурою – комутаторами, які можуть встановлювати зв'язки між будь-якими кінцевими вузлами мережі. У мережі з комутацією каналів перед передачею даних завжди необхідно виконати процедуру встановлення з'єднання, у процесі якої і створюється складовий канал.

2.2.1 Встановлення з'єднання

Обмін даними починається з попереднього *встановлення з'єднання*. Нехай два абоненти А і В (рисунок 2.2) збираються передати один одному деякі дані. Раніше, ніж передати (відправити) дані в мережу, абонент А посилає запит у комунікаційну мережу, в якому вказується адреса (наприклад, телефонний номер) абонента В. Мета посилання – встановити з'єднання абонентів А і В інформаційним каналом, властивості якого подібні до властивостей безперервної лінії зв'язку: по всій своїй довжині він передає дані з однією і тією самою швидкістю. Це означає, що в комутаторах (DCE) (транзитному, комунікаційному обладнанні) немає необхідності буферизувати дані користувача.

Для створення такого з'єднання запит повинен пройти через послідовність комутаторів, які зустрінуться йому на шляху між абонентами А і В, та упевнитися, що всі необхідні відрізки шляху вільні, а також, що абонент А не задіяний в іншому з'єднанні. У кожному комутаторі виконується внутрішнє з'єднання інтерфейсів, відповідних маршруту проходження даних.

Важливою особливістю технології комутації каналів є можливість *відмови у встановленні з'єднання*. При відмові у

встановленні з'єднання мережа інформує абонента, який викликає (наприклад, телефонна мережа в цьому випадку видає короткі гудки – "зайнято").

Після встановлення з'єднання абонентів А і В в їх (і тільки в їх) розпорядженні є канал, що має фіксовану пропускну спроможність. Це означає, що протягом всього часу з'єднання вони повинні посилати в мережу дані з такою самою швидкістю, з якою працює і канал зв'язку. Мережа гарантовано буде доставляти ці дані абоненту, що викликається, без втрат і з тією самою швидкістю незалежно від того, чи існують у той же час у мережі інші з'єднання чи ні.

Навантаження в мережі може впливати тільки на ймовірність відмови у встановленні з'єднання. Цінною обставиною є те, що мережа буде доставляти дані з низьким і постійним рівнем затримки, що дозволяє якісно передавати дані, чутливі до затримок (так званий *трафік реального часу*) – голос, відео.

Істотним недоліком технології комутації каналів є обставина, пов'язана з характером трафіка. Оскільки фіксована пропускну спроможність мережі з комутацією каналів виділяється на весь час з'єднання, а трафік протягом цього часу не постійний (так званий *пульсуючий трафік*), то при пульсуючому трафіку мережа працює неефективно.

2.2.2 Мультиплексування абонентських каналів

Комутатори, а також з'єднуючі їх канали повинні забезпечувати одночасну передачу даних декількох абонентських каналів. Для цього вони повинні бути високошвидкісними й підтримувати яку-небудь техніку мультиплексування абонентських каналів.

У цей час для мультиплексування абонентських каналів використовуються дві техніки:

- техніка частотного мультиплексування (Frequency Division Multiplexing, FDM);
- техніка мультиплексування з розділенням часу (Time Division Multiplexing, TDM).

2.2.2.1 Комутація каналів на основі частотного мультиплексування

Техніка частотного мультиплексування каналів (FDM) була розроблена для телефонних мереж, але застосовується вона і для інших видів мереж, наприклад мереж кабельного телебачення.

Розглянемо особливості цього виду мультиплексування на прикладі телефонної мережі.

Мовні сигнали мають спектр шириною приблизно в 10 000 Гц, однак основні гармоніки укладаються в діапазон від 300 до 3400 Гц. Тому для якісної передачі промови досить утворити між двома співрозмовниками канал зі смугою пропускання в 3100 Гц, який і використовується в телефонних мережах для з'єднання двох абонентів. У той же час смуга пропускання кабельних систем з проміжними підсилювачами, що з'єднують телефонні комутатори між собою, звичайно складає сотні кілогерц, а іноді і сотні мегагерц. Однак безпосередньо передавати сигнали декількох абонентських каналів по широкосмуговому каналу неможливо, оскільки всі вони працюють в одному і тому самому діапазоні частот і сигнали різних абонентів змішуються між собою так, що розділити їх неможливо.

Для розділення абонентських каналів характерна техніка модуляції високочастотного несучого синусоїдального сигналу низькочастотним мовним сигналом (рисунок 2.4). Ця техніка подібна до техніки аналогової модуляції при передачі дискретних сигналів модемами, тільки замість дискретного початкового сигналу використовуються безперервні сигнали, що породжуються звуковими коливаннями. У результаті спектр модульованого сигналу переноситься в інший діапазон, який симетричний відносно частоти несучого сигналу і має ширину, що дорівнює ширині спектра мовного сигналу.

шир
сигн

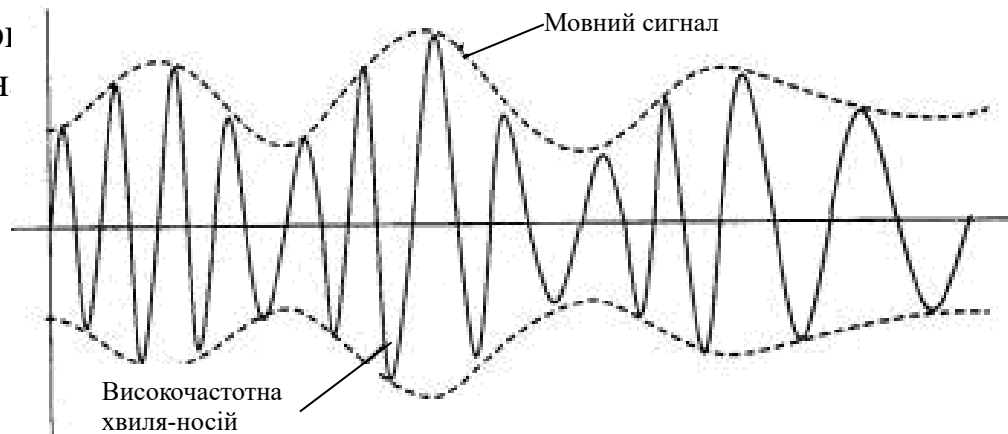


Рисунок 2.4 – Модуляція мовним сигналом

Якщо сигнали кожного абонентського каналу перенести у свій власний діапазон частот, то в одному широкосмуговому каналі можна одночасно передавати сигнали декількох абонентських каналів.

На входи FDM-комутатора поступають початкові сигнали від абонентів телефонної мережі. Комутатор виконує перенесення частоти кожного каналу у свій діапазон частот. Звичайно високочастотний діапазон поділяється на смуги, які відводяться для передачі даних абонентських каналів (рисунок 2.5).

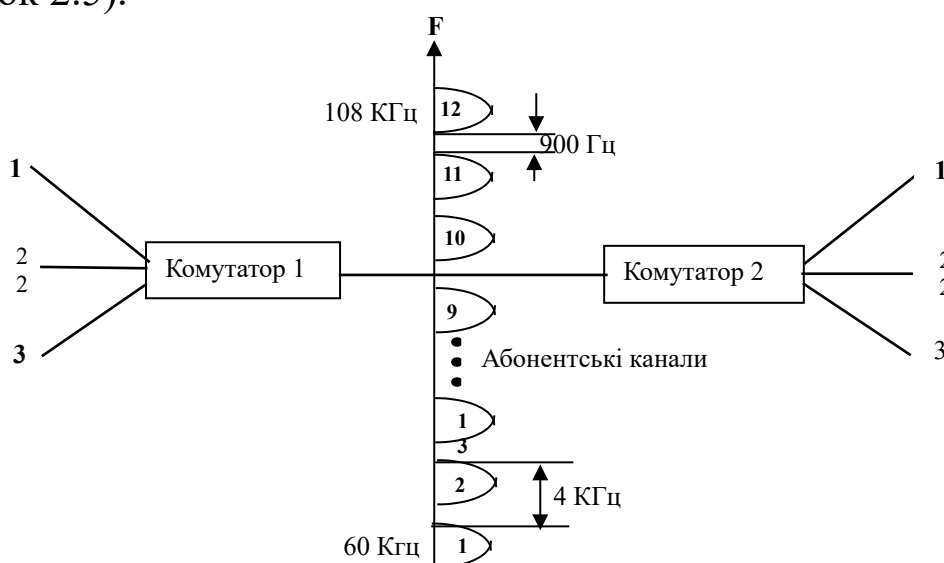


Рисунок 2.5 – Комутація на основі частотного ущільнення

Щоб низькочастотні складові сигналів різних каналів не змішувалися між собою, смуги роблять шириною в 4 кГц, а не в 3,1 кГц, залишаючи між ними страховий проміжок у 900 Гц. У

каналі між двома FDM-комутаторами одночасно передаються сигнали всіх абонентських каналів, але кожний з них займає свою смугу частот. Такий канал називають *ущільненим*.

Вихідний FDM-комутатор виділяє модульовані сигнали кожної несучої частоти і передає їх на відповідний вихідний канал, до якого безпосередньо підключений абонентський телефон.

У мережах на основі FDM-комутації прийнято декілька рівнів ієрархії ущільнених каналів. Перший рівень ущільнення утворюють 12 абонентських каналів, які складають *базову групу* каналів, що займає смугу частот шириною в 48 кГц з межами від 60 до 108 кГц. Другий рівень ущільнення утворюють 5 базових груп, які складають *супергрупу*, зі смугою частот шириною в 240 кГц і межами від 312 до 552 кГц. Супергрупа передає дані 60 абонентських каналів тональної частоти. Десять супергруп утворюють *головну групу*, яка використовується для зв'язку між комутаторами на великих відстанях. Головна група передає дані 600 абонентів одночасно і вимагає від каналу зв'язку смугу пропускання шириною не менше за 2520 кГц з межами від 564 до 3084 кГц.

Комутатори FDM можуть виконувати як динамічну, так і постійну комутацію. При динамічній комутації один абонент ініціює з'єднання з іншим абонентом, посилаючи в мережу номер абонента, що викликається. Комутатор динамічно виділяє даному абоненту одну з вільних смуг свого ущільненого каналу. При постійній комутації за абонентом смуга в 4 кГц закріплюється на тривалий термін шляхом настроювання комутатора по окремому входу, недоступному користувачам.

Принцип комутації на основі розділення частот залишається незмінним і в мережах іншого вигляду, змінюються тільки межі смуг, що виділяються окремому абонентському каналу, а також кількість низькошвидкісних каналів в ущільненому високошвидкісному.

2.2.2.2 Комутація каналів на основі розділення часу

Комутація на основі техніки розділення частот розроблялася з розрахунку на передачу безперервних сигналів, що являють собою голос. При переході до цифрової форми подання голосу була розроблена нова техніка мультиплексування, що орієнтується на дискретний характер даних, що передаються.

Ця техніка носить назву *мультиплексування з розділенням часу (Time Division Multiplexing, TDM)*. Рідше використовується і інша її назва – *техніка синхронного режиму передачі (Synchronous Transfer Mode, STM)*. Рисунок 2.6 пояснює принцип комутації каналів на основі техніки TDM.

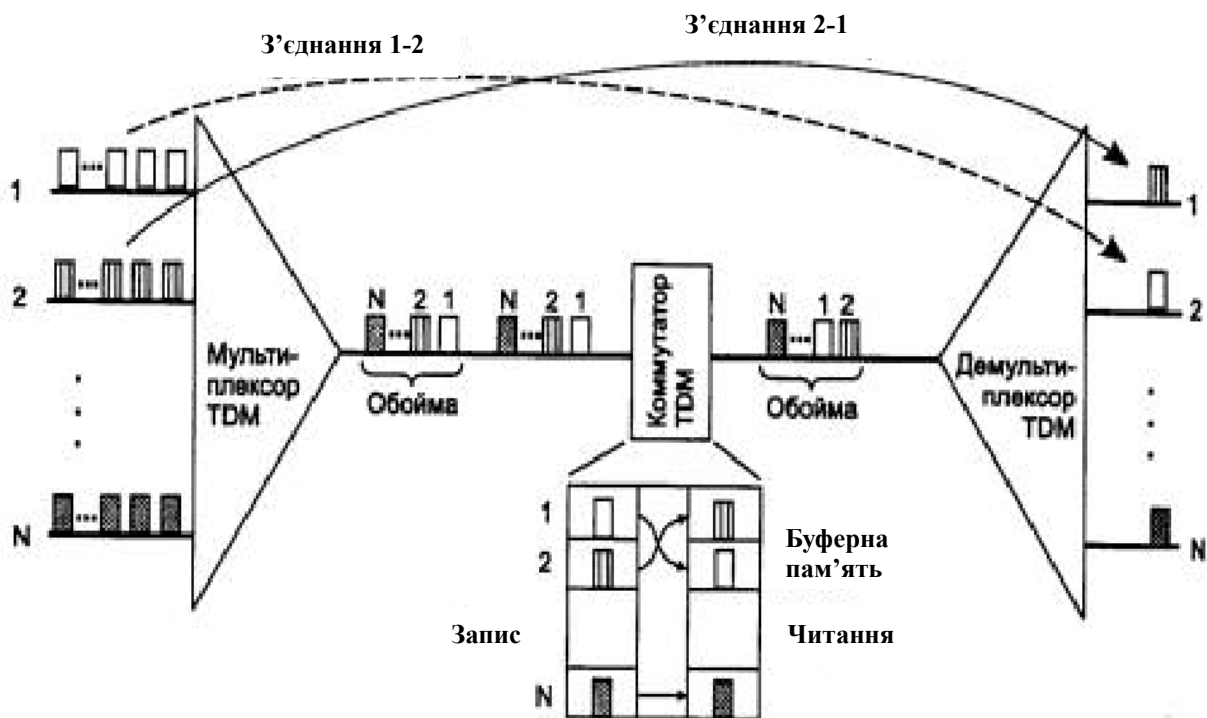


Рисунок 2.6 – Комутація на основі розділення каналу в часі

Апаратура TDM-мереж – мультиплексори, комутатори, демультимплексори – працює в режимі розділення часу, по чергово обслуговуючи протягом циклу своєї роботи всі абонентські канали. Цикл роботи обладнання TDM дорівнює 125 мкс, що відповідає періоду проходження вимірювань голосу в цифровому абонентському каналі. Це означає, що мультиплексор або комутатор встигає вчасно обслужити будь-який абонентський канал і передати його черговий вимір далі по мережі. Кожному з'єднанню виділяється один квант часу циклу роботи апаратури,

званий також тайм-слотом. Тривалість тайм-слоту залежить від кількості абонентських каналів, що обслуговуються мультиплексором TDM або комутатором.

Мультиплексор приймає інформацію по N вхідних каналах від кінцевих абонентів, кожний з яких передає дані по абонентському каналу зі швидкістю $64 \text{ кбіт/с} - 1 \text{ байт кожні } 125 \text{ мкс}$. У кожному циклі мультиплексор виконує такі дії:

- приймання від кожного каналу чергового байта даних;
- складання з прийнятих байтів ущільненого кадру, званого також обіймою;
- передача ущільненого кадру на вихідний канал з бітовою швидкістю, яка дорівнює $N \cdot 64 \text{ кбіт/с}$.

Порядок байта в обіймі відповідає номеру вхідного каналу, від якого цей байт отриманий. Кількість абонентських каналів, що обслуговуються мультиплексором, залежить від його швидкодії. Наприклад, мультиплексор T1, що являє собою перший промисловий мультиплексор, який працював за технологією TDM, підтримує 24 вхідних абонентських канали, створюючи на виході обійми стандарту T1, що передаються з бітовою швидкістю $1,544 \text{ Мбіт/с}$.

Демультиплексор виконує зворотню задачу – він розбирає байти ущільненого кадру і розподіляє їх по своїх декількох вихідних каналах, при цьому він вважає, що порядковий номер байта в обіймі відповідає номеру вихідного каналу.

Комутатор приймає ущільнений кадр по швидкісному каналу від мультиплексора і записує кожний байт з нього в окремий елемент своєї буферної пам'яті, причому в тому порядку, в якому ці байти були упаковані в ущільнений кадр. Для виконання операції комутації байти витягуються з буферної пам'яті не в порядку надходження, а в такому порядку, який відповідає з'єднанням абонентів, що підтримуються в мережі. Так, наприклад, якщо перший абонент лівої частини мережі (рисунок 2.6) повинен з'єднатися з другим абонентом в правій частині мережі, то байт, записаний у перший елемент буферної пам'яті, буде витягуватися з неї другим. «Перемішуючи» потрібним чином байти в обіймі, комутатор забезпечує з'єднання кінцевих абонентів у мережі.

Одного разу виділений номер тайм-слоту залишається в розпорядженні з'єднання «вхідний канал-вихідний слот» протягом всього часу існування цього з'єднання, навіть якщо трафік, що передається, є пульсуючим і не завжди вимагає захопленої кількості тайм-слотів. Це означає, що з'єднання в мережі TDM завжди володіє відомою і фіксованою пропускнуною спроможністю, кратною 64 кбіт/с.

Робота обладнання TDM нагадує роботу мереж з комутацією пакетів, оскільки кожний байт даних можна вважати деяким елементарним пакетом. Однак, на відміну від пакета комп'ютерної мережі, «пакет» мережі TDM не має індивідуальної адреси. Його адресою є порядковий номер в обіймі або номер виділеного тайм-слоту в мультиплексорі або комутаторі. Мережі, що використовують техніку TDM, вимагають синхронної роботи всього обладнання, що і визначило другу назву цієї техніки – синхронний режим передач (STM). Порушення синхронності руйнує необхідну комутацію абонентів, оскільки при цьому втрачається адресна інформація. Тому перерозподіл тайм-слотів між різними каналами в обладнанні TDM неможливий, навіть якщо в якомусь циклі роботи мультиплексора тайм-слот одного з каналів виявляється надмірним, оскільки на вході цього каналу в цей момент немає даних для передачі (наприклад, абонент телефонної мережі мовчить).

Існує модифікація техніки TDM, що називається *статистичним розділенням каналу у часі (Statistical TDM, STDM)*. Ця техніка розроблена спеціально для того, щоб за допомогою тимчасово вільних тайм-слотів одного каналу можна було збільшити пропускну спроможність інших. Для вирішення цього завдання кожний байт даних доповнюється полем адреси невеликої довжини, наприклад у 4 або 5 бітів, що дозволяє мультиплексувати 16 або 32 канали. Однак техніка STDM не знайшла широкого застосування і використовується в основному в нестандартному обладнанні підключення терміналів до мейнфреймів. Розвитком ідей статистичного мультиплексування стала технологія асинхронного режиму передачі – ATM, яка вібрала в себе кращі ознаки техніки комутації каналів і пакетів.

Мережі TDM можуть підтримувати або режим динамічної комутації, або режим постійної комутації, а іноді і обидва ці

режими. Так, наприклад, основним режимом цифрових телефонних мереж, працюючих на основі технології TDM, є динамічна комутація, але вони підтримують також і постійну комутацію, надаючи своїм абонентам службу виділених каналів.

Існує апаратура, яка підтримує тільки режим постійної комутації. До неї належить обладнання типу T1/E1, а також високошвидкісне обладнання SDN. Таке обладнання використовується для побудови первинних мереж, основною функцією яких є створення виділених каналів між комутаторами, підтримуючими динамічну комутацію.

Сьогодні практично всі дані: голос, зображення, комп'ютерні дані – передаються в цифровій формі. Тому виділені канали TDM-технології, які забезпечують нижній рівень для передачі цифрових даних, є універсальними каналами для побудови мереж будь-якого типу: телефонних, телевізійних і комп'ютерних.

2.2.3 Загальні властивості мереж з комутацією каналів

Мережі з комутацією каналів мають декілька важливих загальних властивостей незалежно від того, який тип мультиплексування в них використовується.

Мережі з динамічною комутацією вимагають попередньої процедури встановлення з'єднання між абонентами. Для цього в мережу передається адреса абонента, що викликається, яка проходить через комутатори і настраює їх на подальшу передачу даних. Запит на встановлення з'єднання маршрутизується від одного комутатора до іншого і зрештою досягає абонента, що викликається. Мережа може відмовити у встановленні з'єднання, якщо місткість необхідного вихідного каналу вже вичерпана. Для FDM-комутатора місткість вихідного каналу дорівнює кількості частотних смуг цього каналу, а для TDM-комутатора – кількості тайм-слотів, на які поділяється цикл роботи каналу. Мережа відмовляє в з'єднанні також у тому випадку, якщо абонент, що запитується, вже встановив з'єднання з ким-небудь іншим. У першому випадку кажуть, що зайнятий комутатор, а у другому –

абонент. Можливість відмови в з'єднанні є недоліком методу комутації каналів.

Якщо з'єднання може бути встановлене, то йому виділяється фіксована смуга частот в FDM-мережах або ж фіксована пропускна спроможність у TDM-мережах. Ці величини залишаються незмінними протягом всього періоду з'єднання. Гарантована пропускна спроможність мережі після встановлення з'єднання є важливою властивістю, необхідною для таких додатків, як передача голосу, зображення або управління об'єктами в реальному масштабі часу. Однак динамічно змінювати пропускну спроможність каналу на вимогу абонента мережі з комутацією каналів не можуть, що робить їх неефективними в умовах пульсуючого трафіка.

Недоліком мереж з комутацією каналів є неможливість застосування призначеної для користувача апаратури, працюючої з різною швидкістю. Окремі частини складового каналу працюють з однаковою швидкістю, оскільки мережі з комутацією каналів не буферизують дані користувачів.

Мережі з комутацією каналів добре пристосовані для комутації потоків даних постійної швидкості, коли одиницею комутації є не окремий байт або пакет даних, а довготривалий синхронний потік даних між двома абонентами. Для таких потоків мережі з комутацією каналів додають мінімум службової інформації для маршрутизації даних через мережу, використовуючи тимчасову позицію кожного біта потоку як його адресу призначення в комутаторах мережі.

2.3 Технологія комутації пакетів

2.3.1 Комутація пакетів

Комутація пакетів – це техніка комутації абонентів, яка була спеціально розроблена для ефективного керування трафіком комп'ютерних мереж. Експерименти зі створення перших комп'ютерних мереж на основі техніки комутації каналів показали, що цей вид комутації не дозволяє досягнути високої загальної пропускної спроможності мережі. Суть проблеми

полягає в пульсуючому характері трафіка, який генерують типові мережні програми. Наприклад, при зверненні до віддаленого файлового сервера користувач спочатку переглядає зміст каталогу цього сервера, що породжує передачу невеликого об'єму даних. Потім він відкриває необхідний файл у текстовому редакторі, і ця операція може створити досить інтенсивний обмін даними, особливо якщо файл містить об'ємні графічні включення. Після відображення декількох сторінок файла користувач деякий час працює з ними локально, що взагалі не вимагає передачі даних по мережі, а потім повертає модифіковані копії сторінок на сервер – і це знов породжує інтенсивну передачу даних по мережі.

Коефіцієнт пульсації трафіка окремого користувача мережі, що дорівнює відношенню середньої інтенсивності обміну даними до максимально можливої, може становити 1:50 або 1:100. Якщо для описаної сесії організувати комутацію каналу між комп'ютером користувача і сервером, то більшу частину часу канал буде простоювати. У той же час комутаційні можливості мережі будуть використовуватися – частина тайм-слотів або частотних смуг комутаторів буде зайнята і недоступна іншим користувачам мережі.

При комутації пакетів всі повідомлення, що передаються користувачем мережі, розбиваються в початковому вузлі на порівняно невеликі частини, які називають пакетами. Нагадаємо, що повідомленням називається логічно завершена порція даних – запит на передачу файла, відповідь на цей запит, що містить весь файл, і т. п. Повідомлення можуть мати довільну довжину від декількох байтів до багатьох мегабайтів. Навпаки, пакети звичайно також можуть мати змінну довжину, але у вузьких межах.

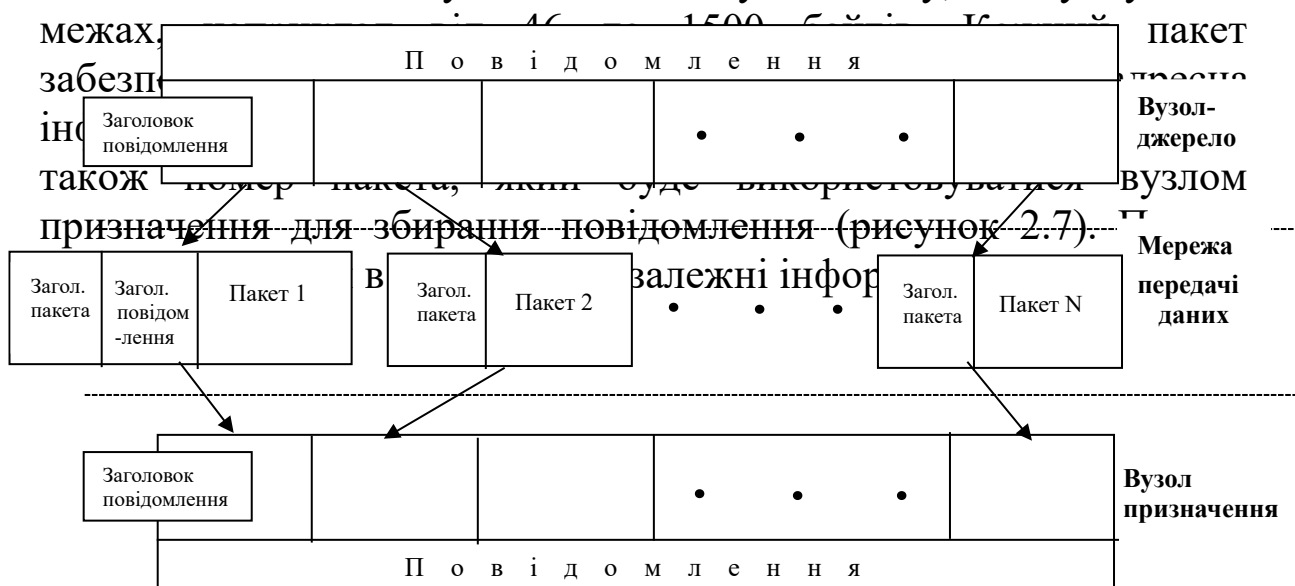


Рисунок 2.7 – Розподіл повідомлення на пакети

При комутації пакетів всі дані, що передаються користувачем мережі, розбиваються в початковому вузлі на порівняно невеликі частини, звані пакетами, кадрами, осередками. Кожний пакет забезпечується *заголовком*, у якому вказується адреса вузла призначення. Наявність адреси в кожному пакеті є одним з найважливіших факторів технології комутації пакетів, оскільки кожний пакет може бути оброблений комутатором незалежно від інших пакетів інформаційного потоку (примітка: у технології віртуальних каналів цілковита незалежність обробки пакетів не забезпечується). Крім заголовка, у пакета є ще одне додаткове поле, яке звичайно розташовується в кінці пакета і тому називається *кінцевиком*. Кінцевик вміщує контрольну послідовність, яка дозволяє перевірити, чи була спотворена інформація в процесі передачі по мережі чи ні.

Пакети поступають у мережу без попереднього резервування лінії зв'язку і не з фіксованою, наперед заданою швидкістю, як це робиться в мережах з комутацією каналів, а в тому темпі, у якому їх генерує джерело.

Передбачається, що мережа з комутацією пакетів, на відміну від мережі з комутацією каналів, завжди готова прийняти пакет від кінцевого вузла.

Мережа з комутацією пакетів, також як і мережа з комутацією каналів, складається з комутаторів, пов'язаних

фіксованими лініями зв'язку. Однак комутатори в цих мережах працюють по-різному. Головна відмінність полягає в тому, що пакетні комутатори мають *внутрішню буферну пам'ять* для тимчасового зберігання пакетів. Буферизація необхідна для *узгодження швидкості надходження пакетів зі швидкістю комутації*.

Якщо комутуючий блок не встигає обробляти пакети, то на інтерфейсах (портах) комутатора виникають вхідні *черги*. Для зберігання вхідної черги об'єм буфера повинен перевищувати розмір одного пакета.

Якщо швидкість надходження пакетів з одного каналу протягом деякого часу перевищує пропускну спроможність того каналу, в який ці пакети повинні бути направлені, то, щоб уникнути втрат пакетів на вихідному інтерфейсі необхідно організувати *вихідну чергу*.

2.3.2 Методи просування пакетів

У технології комутації пакетів використовуються три методи просування пакетів: дейтаграмний, зі встановленням логічного з'єднання, зі встановленням віртуальних каналів (рисунок 2.8).

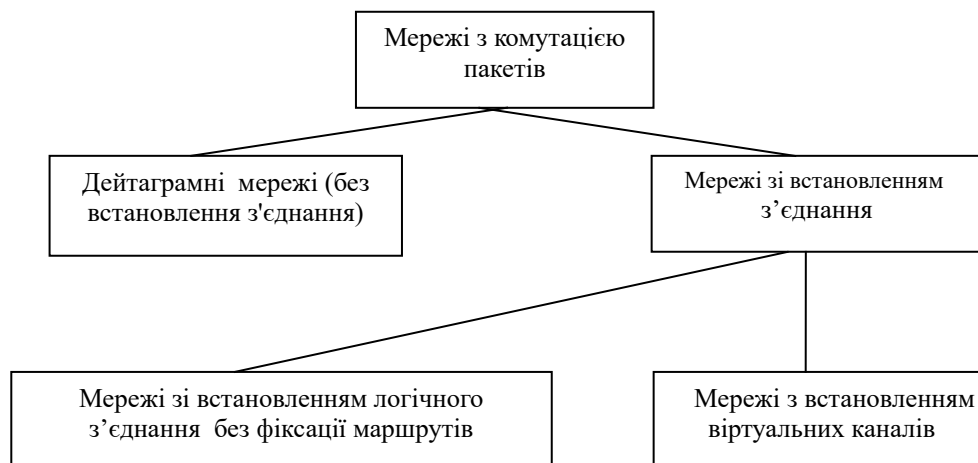


Рисунок 2.8 – Методи просування пакетів

При *дейтаграмній передачі з'єднання* не встановлюється і всі пакети, що передаються, просуваються (передаються від

одного вузла до іншого) незалежно один від одного на основі одних і тих самих правил: кожний пакет розглядається як абсолютно незалежна одиниця передачі – дейтаграма. При цьому ніяка інформація про вже передані пакети мережею не зберігається.

Передача зі встановленням логічного з'єднання розпадається на так звані сеанси – логічні з'єднання. Процедура визначається не для одного пакета, а для безлічі пакетів, що передаються в одному з'єднанні. Для того щоб реалізувати такий режим передачі, мережа повинна, по-перше, привласнити кожному з'єднанню *ідентифікатор*, по-друге, запам'ятати *параметри з'єднання* – інформацію про стан з'єднання. Фіксований маршрут не є обов'язковим параметром з'єднання. Пакети, що належать одному і тому самому з'єднанню, навіть маючи одні і ті самі адреси відправника і призначення, можуть передаватися по різних, незалежних маршрутах.

Якщо в перелік параметрів входить маршрут, то всі пакети, що передаються по цьому з'єднанню, повинні пройти по вказаному шляху (маршрутизація *від джерела*). Такий єдиний заделегідь прокладений маршрут, що з'єднує вузли в мережі з комутацією пакетів, називається віртуальним *каналом*. В одній і тій самій мережній технології можуть бути задіяні різні способи обміну даними. Так, дейтаграмний протокол IP використовується для передачі даних між окремими мережами, що складають Internet. У той же час забезпечення надійної доставки даних між кінцевими вузлами цієї мережі забезпечується протоколом TCP, який встановлює логічне з'єднання без фіксації маршруту. І, нарешті, Internet є прикладом мережі, що використовує технологію віртуальних каналів, оскільки до складу Internet входить немало мереж ATM і Frame Relay, підтримуючих віртуальні канали. Віртуальні канали є базовою *концепцією технологій X.25, Frame Relay і ATM*. Для того щоб виділити потік даних, відповідних певному віртуальному каналу, із загального трафіка, кожний пакет цього потоку позначається міткою. Так само як і в мережах зі встановленням логічного з'єднання прокладення віртуального каналу починається з відправлення з вузла-джерела запиту, що називається також пакетом *встановлення з'єднання*. У запиті вказується адреса

призначення і позначка потоку, для якого прокладається цей віртуальний канал. Запит, проходячи по мережі, формує новий запис у кожному з комутаторів, розташованих на шляху від відправника до одержувача. Запис говорить про те, яким чином комутатор повинен обслужити пакет, що має задану позначку. Віртуальний канал, що розглядається, ідентифікується тією самою позначкою.

2.4 Комутація повідомлень

Під *комутацією повідомлень* розуміється передача єдиного блока даних між транзитними комп'ютерами мережі з тимчасовою буферизацією цього блока на диску кожного комп'ютера (рисунок 2.9). Повідомлення, на відміну від пакета, має довільну довжину, яка визначається не технологічними особливостями, а змістом інформації, що складає повідомлення. Наприклад, повідомленням може бути текстовий документ, файл з кодом програми, електронний лист.



Рисунок 2.9 – Комутація повідомлень

Транзитні комп'ютери можуть сполучатися між собою як мережею з комутацією пакетів, так і мережею з комутацією каналів. Повідомлення зберігається в транзитному комп'ютері на диску, причому час зберігання може бути досить великим, якщо комп'ютер завантажений іншими роботами або мережа тимчасово переобтяжена.

За такою схемою звичайно передаються повідомлення, що не вимагають негайної відповіді, частіше за все – повідомлення електронної пошти. Режим передачі з проміжним зберіганням на

диску називається режимом «зберігання-та-передача» (*store-and-forward*).

Режим комутації повідомлень розвантажує мережу та забезпечує трафік для таких служб, як, наприклад, служби WWW або файлова служба, які вимагають швидкої відповіді на запити.

Кількість транзитних комп'ютерів намагаються по можливості зменшити. Якщо комп'ютери підключені до мережі з комутацією пакетів, то кількість проміжних комп'ютерів звичайно зменшується до двох. Наприклад, користувач передає поштове повідомлення своєму серверу вихідної пошти, а той відразу намагається передати повідомлення серверу вхідної пошти адресата. Але якщо комп'ютери пов'язані між собою телефонною мережею, то часто використовується декілька проміжних серверів, оскільки прямий доступ до кінцевого сервера може бути неможливий у даний момент через перевантаження телефонної мережі (абонент зайнятий) або економічно не вигідний через високі тарифи на телефонну телекомунікацію.

Техніка комутації повідомлень з'явилася в комп'ютерних мережах раніше за техніку комутації пакетів, але потім була витіснена останньою, як більш ефективна за критерієм пропускної спроможності мережі. Запис повідомлення на диск займає досить багато часу, крім того, наявність дисків передбачає такі спеціалізовані комп'ютери, як комутатори, що здорожує мережу.

Сьогодні комутація повідомлень працює тільки для деяких неоперативних служб, причому частіше за все поверх мережі з комутацією пакетів, як служба прикладного рівня.

Питання

- 1 Що таке комутація?
- 2 Назвіть існуючі в комунікаційних мережах схеми комутації.
- 3 Що таке мережа з динамічною комутацією?
- 4 Що таке мережа з постійною комутацією?
- 5 Що таке DTE?
- 6 Що таке DCE?

- 7 Опишіть процес встановлення з'єднання в мережах з комутацією каналів.
- 8 Що таке відмова у встановленні з'єднання?
- 9 На що впливає навантаження в мережі з комутацією каналів?
- 10 Назвіть основний недолік технології комутації пакетів.
- 11 Назвіть техніки мультиплексування абонентських каналів.
- 12 У чому суть технології комутації пакетів?
- 13 Назвіть принципові відмінності між технологіями комутації каналів і комутації пакетів.
- 14 Навіщо потрібні вхідні і вихідні черги на інтерфейсах комутатора в технології комутації пакетів?
- 15 Назвіть методи просування пакетів.
- 16 Визначте суть дейтаграмної передачі.
- 17 У чому суть передачі пакетів зі встановленням логічного з'єднання без фіксації маршруту?
- 18 У чому суть передачі зі встановленням віртуального каналу?
- 19 Що означає термін «повідомлення» в комунікаційних мережах?
- 20 Опишіть процес комутації повідомлень.

ЛЕКЦІЯ 3. КАНАЛЬНИЙ ТА ФІЗИЧНИЙ РІВНІ ЛКМ

Технології локальних комп'ютерних мереж охоплюють два нижніх рівні мережної

моделі OSI – Канальний та Фізичний. Якби треба було організувати взаємодію комп'ютерів у межах тільки однієї локальної мережі, то прикладні протоколи могли б працювати безпосередньо над Канальним рівнем.

Локальні комп'ютерні мережі (ЛКМ) (Local Area Networks, LAN) – це об'єднання комп'ютерів, зосереджених на невеликій території звичайно в радіусі декількох кілометрів, а в окремих випадках і декілька десятків кілометрів. У загальному випадку локальна мережа являє собою комунікаційну систему, що належить одній організації.

Локальні мережі є невід'ємною частиною будь-якої сучасної комп'ютерної мережі. Якщо розглянути структуру будь-якої глобальної мережі (наприклад, Internet_a або великої корпоративної мережі), то виявимо, що практично всі інформаційні ресурси цієї мережі зосереджені в локальних мережах, а глобальна мережа є транспортом, який з'єднує численні локальні мережі.

Мережна технологія – це узгоджений набір програмних і апаратних засобів (наприклад, драйверів, протоколів, мережних адаптерів, кабелів і рознімачів) і механізмів передачі даних по лінії зв'язку, достатній для побудови обчислювальної мережі.

При зародженні перших локальних мереж для з'єднання комп'ютерів один з одним використовувалися нестандартні мережні технології, в яких як програмні, так і апаратні засоби були унікальними в кожній мережі.

Починаючи з 1980-х рр. ситуація радикально змінилася: при побудові локальних мереж затвердилися *стандартні мережні технології* об'єднання комп'ютерів у мережу, такі як Ethernet, ArcNet, Token Ring, 100 VG-AnyLAN, трохи пізніше – FDDI та IEEE 802.11.

За час існування локальних мереж їх технології пройшли великий шлях: якщо у всіх технологіях 1980-х рр. використовувалося виключно середовище передачі даних, що розділяється, то з середини 1990-х рр. у локальних мережах стали застосовуватися також *комутовані* версії мережних технологій. У комутованих мережах застосовуються ті самі протоколи, що і в

локальних мережах на розподілених середовищах, але тільки в дуплексному режимі. Незважаючи на все зростаючу популярність комутованих локальних мереж, мережі на розподіленому середовищі, як і раніше, широко використовуються в традиційних і нових технологіях. Вони ефективні в невеликих сегментах проводових локальних мереж, а також у безпроводових, де середовище є таким, що розподіляється за своєю природою.

3.1 Стандартна топологія та розподілене середовище

Історично склалося так, що першими в 1960-х рр. з'явилися глобальні мережі, що об'єднували один з одним великі і дорогі комп'ютери окремих організацій (промислових підприємств, університетів, державних керуючих структур). Всередині організацій всі інформаційні послуги надавалися одним (як правило) комп'ютером, який і був уособленням всієї обчислювальної та інформаційної потужності організації. Обчислювальні машини були настільки дорогими, що не всі організації могли собі дозволити розкіш придбання другого комп'ютера. З появою в середині 1970-х рр. недорогих (вартістю 10-20 тис. дол.) міні-комп'ютерів зробило доступним багатьом організаціям порівняно велику (порядку декількох десятків) кількість комп'ютерів і розподіл їх по різних відділах і підрозділах всередині організації. Відбулася децентралізація обчислювальних потужностей та інформаційних послуг і разом з нею виникла проблема об'єднання всіх комп'ютерів організації в обчислювальну (і, природно, локальну) мережу.

Основна мета, яку ставили перед собою розробники локальних мереж, полягала в пошуку простого і недорогого рішення для об'єднання в локальну мережу декількох десятків комп'ютерів, розташованих на обмеженій території (в одному приміщенні або декількох сусідніх будівлях).

Межа в декілька десятків комп'ютерів була для практично будь-якої організації в ті часи більш, ніж достатньою і задача об'єднання їх у глобальну мережу не була першочерговою, тому всі технології локальних мереж її ігнорували. Для спрощення (а,

отже, здешевлення) апаратних і програмних засобів розробники перших локальних мереж зупинилися на спільному використанні (розподіленні) загального середовища передачі даних. Вперше цей підхід був реалізований на початку 1970-х рр. при створенні локальної мережі Гавайського університету (радіомережа ALOHA). Радіоканал з несучою частотою 100 МГц і смугою пропускання 10 кГц забезпечував передачу даних зі швидкістю 9600 біт/с. Мережа працювала за методом випадкового доступу, коли кожний мережний вузол міг почати передачу кадру в будь-який момент часу. Якщо після цього вузол-відправник протягом певного тайму-ауту не отримував підтвердження приймання від вузла-одержувача, він повторював передачу кадру знов.

Трохи пізніше Роберт Меткалф (R. Metcalfe) повторив ідею розподілення середовища для проводового варіанта технології локальних мереж. Безперервний сегмент коаксіального кабелю став аналогом загального радіосередовища. Всі комп'ютери приєднувалися до цього сегмента і при передачі сигналів одним з вузлів всі інші отримували один і той самий сигнал, як і при використанні радіохвиль (рисунок 3.1).

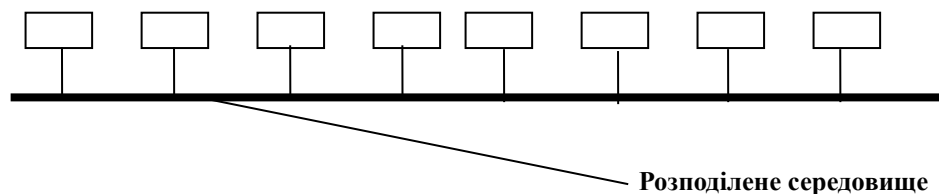


Рисунок 3.1 – Розподілене середовище на коаксіальному кабелі

Такий варіант розподілення середовища набув поширення в технології Ethernet.

Розподілення середовища в технологіях Token Ring і FDDI не так очевидне. Топологія цих мереж – кільце, і кожний вузол з'єднаний двома сусідніми відрізками кабелю. Разом з тим кожний відрізок також є розділюваним, оскільки в кожний момент часу тільки один комп'ютер має право використати кільце для передачі своїх даних (рисунок 3.2).

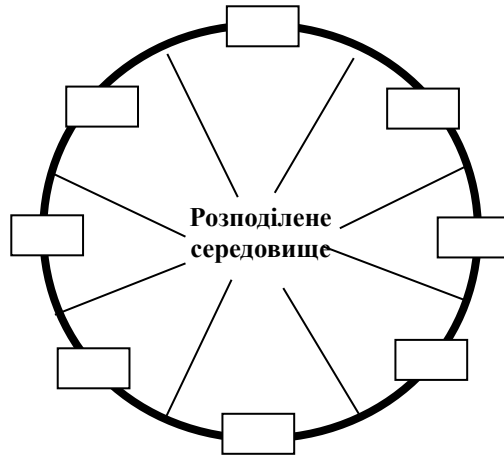


Рисунок 3.2 – Розподілене середовище у кільцевій топології

Використання розподіленого середовища має як свої переваги, так і свої недоліки.

До переваг належать спрощення логіки роботи вузлів, оскільки в кожний момент часу виконується тільки одна передача, відпадає необхідність у буферизації кадрів у транзитних вузлах. Транзитних вузлів також немає. Відповідно відпадає необхідність у складних процедурах управління потоком і боротьби з перевантаженнями.

Основний недолік розподілюваного середовища – погана *масштабованість* (під масштабованістю розуміється здатність мережі працювати якісно при значному збільшенні кількості користувачів за умови збереження без змін технології, що застосовується в цій мережі). Цей недолік принциповий, оскільки незалежно від методу доступу до середовища його пропускна спроможність поділяється між всіма вузлами мережі. Як тільки коефіцієнт використання мережі перевищує деякий поріг, черга починає зростати нелінійно, і мережа стає практично непрацездатною. Значення порога залежить від методу доступу. Так, у мережі ALOHA це значення – 18 %, мережах Ethernet – 30 %, у мережах Token Ring і FDDI – 60-70 %.

3.2 Канальний рівень локальних мереж

Відомо, що технології локальних мереж охоплюють два нижніх рівні мережної моделі OSI – Канальний і Фізичний.

Однак це не означає, що комп'ютери локальної мережі не підтримують рівнів, вище від Канального. Якби треба було організувати взаємодію комп'ютерів у межах тільки однієї локальної мережі, то прикладні протоколи могли б працювати безпосередньо над Канальним рівнем. Але дуже часто комп'ютери однієї локальної мережі взаємодіють з комп'ютерами інших локальних мереж, іноді навіть через глобальні мережі, а для такої взаємодії потрібні вже Мережний і Транспортний рівні. З цієї причини кожний комп'ютер локальної мережі підтримує повний стек протоколів.

Канальний рівень є першим (після Фізичного) рівнем, який підтримує режим комутації пакетів. На рівні PDU звичайно носить назву "кадр" (frame). Функції Канального рівня визначаються по-різному в локальних і глобальних мережах. У локальних мережах Канальний рівень повинен забезпечити доставку кадру між будь-якими вузлами мережі, а в глобальних мережах повинен забезпечити доставку кадру тільки між сусідніми вузлами, з'єднаними індивідуальною лінією зв'язку.

Канальний рівень локальних мереж у моделі Project IEEE 802 був поділений на підрівні (їх також часто називають рівнями):

- підрівень управління логічним зв'язком (Logical Link Control, LLC-підрівень);
- підрівень доступу до середовища (Media Access Control, MAC-підрівень).

3.2.1 LLC- підрівень Канального рівня

Підрівень LLC виконує дві функції:

- організує інтерфейс з прилеглим до нього Мережним рівнем;
- забезпечує доставку кадрів із заданою мірою надійності.

3.2.1.1 Організація інтерфейсу LLC-підрівня

Інтерфейсні функції LLC-підрівня полягають у передачі призначених для користувача і інтерфейсних даних між MAC-підрівнем і Мережним рівнем.

LLC-підрівень за необхідності також вирішує завдання *мультиплексування*, передаючи дані від декількох протоколів мережного рівня єдиному протоколу MAC-підрівня.

При передачі даних знизу-вгору LLC-підрівень приймає від підрівня MAC пакет Мережного рівня, що прийшов з мережі. Тепер йому треба вирішити ще одну інтерфейсну функцію – *демультиплексування*, тобто вирішити, якому з мережних протоколів передати отримані від MAC-підрівня дані (рисунок 3.3).

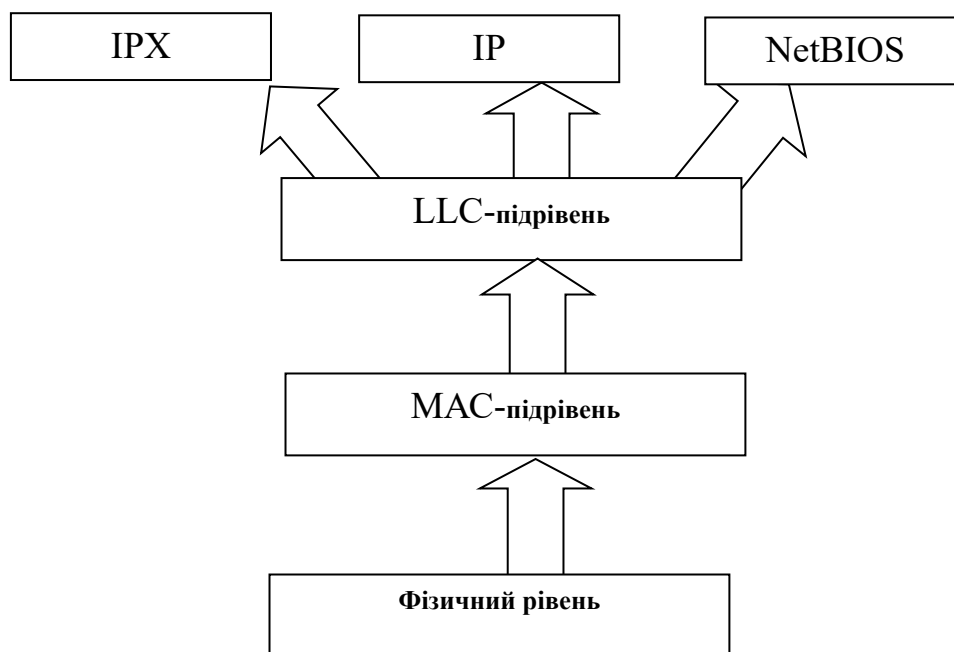


Рисунок 3.3 – Демультимплексування кадрів протоколом LLC

Для демультимплексування даних LLC-підрівень використовує у своєму заголовку спеціальні поля (рисунок 3.4) – поле DSAP (Destination Service Access Point – точка входу служби приймача), що використовується для зберігання коду протоколу, якому адресований вміст поля даних; поле SSAP (Source Service Access Point – точка входу служби джерела), що використовується для зазначення коду протоколу, від якого надсилаються дані.

Адреса точки входу служби приймача (DSAP)	Адреса точки входу служби джерела (DSAP)	Керуюче поле (Control)	Дані
---	--	------------------------	------

Рисунок 3.4 – Формат LLC-кадра

Використання двох полів для цілей мультиплексування є нетиповим, звичайно протоколи використовують одне поле, наприклад, протокол IP завжди відсилає свої пакети протоколу IP, а протокол IPX – протоколу IPX. Два поля корисні в тих випадках, коли протокол, який розташований вище, підтримує декілька режимів роботи, так що протокол у вузлі-відправникові може використати різні значення DSAP і SSAP для повідомлення вузла-одержувача про перехід у новий режим роботи. Такий режим типовий для протоколу NetBEUI.

Керуюче поле (поле Control) може використовувати один або два байти в кадрі LLC і призначене для передачі керуючого слова або послідовного номера кадру. Керуюче слово кадру LLC може використати один з таких форматів:

- I (information) формат;
- S (supervisory) формат;
- U (unnumbered) формат.

Тип формату, що використовується, визначається значеннями двох старших розрядів першого байта поля Control.

Структура поля Control в кадрі I-типу

У першому біті першого байта міститься ознака кадру I-типу – 0. В інших бітах першого байта розміщується послідовний номер по **mod 127** кадру, що передається. У другому байті поля Control в кадрі I-типу розміщується послідовний номер по **mod 127** останнього прийнятого кадру.

Структура поля Control в кадрі S-типу

У кадрі S-типу поле Control використовує 2 байти. У двох перших бітах першого байта міститься ознака кадру S-типу – комбінація «10». Два наступних біти використовуються для визначення типу керуючого сигналу:

Код	Сигнал	Значення
0 0	RR	Receive Ready (готовий до приймання)
0 1	RNR	Receive Not Ready (не готовий до приймання)
1 0	REJ	Reject (забракувати, відкинути)

Кадри типу Control використовуються для управління процесом інформаційного обміну.

Структура поля Control в кадрі U-типу

У кадрі U типу поле Control використовується 1 байт. Кадри цього типу використовуються для управління станом логічного з'єднання створенням з'єднання, обслуговуванням з'єднання, розриванням з'єднання. П'ять молодших розрядів цього поля (3, 4, 6, 7, 8) визначають тип керуючої команди (Command) або відповіді про результати її виконання (Response):

P=0	P=1	Type	3/R	Frame designation (позначення кадру)
03	13	UI	3/R	Unnumbered Information (ненумерована інформація)
0F	1F	DM	R	Disconnected Mode (підтвердження розриву з'єднання)
43	53	DISC	3	Disconnect (розрив з'єднання)
63	73	UA	R	Unnumbered Acknowledgement (ненумероване підтвердження)
6F	7F	SABME	3	Set Asynch. Balanced Mode

				Extended
87	97	FRMR	R	Frame Reject (спотворений кадр)
AF	BF	XID	3/R	Exchange Identification (ідентифікатор обміну)
E3	F3	TEST	3/R	Test (тестування)

3.2.1.2 Транспортна функція LLC-підрівня

Друга основна функція LLC-підрівня – забезпечення доставки кадрів із заданою мірою надійності. Протокол LLC підтримує три режими транспортних послуг:

- послуга LLC1 – режим без встановлення з'єднання і без підтвердження отриманих даних. LLC дає користувачеві засоби для передачі даних з мінімумом витрат. У цьому випадку LLC-підрівень працює в дейтаграмному режимі роботи, як і MAC-підрівень, і, отже, вся технологія локальної мережі реалізується в дейтаграмному режимі. Звичайно ця процедура використовується в тих випадках, коли такі функції, як відновлення даних, після помилок виконується протоколами рівнів, які розташовані вище, оскільки немає потреби в дублюванні;

- послуга LLC2 – можливість встановлення з'єднання перед початком передачі будь-якого блока даних і, якщо це потрібно, виконання процедури відновлення після помилок і упорядкування потоку блоків у рамках встановленого з'єднання. Для надійної передачі даних алгоритм LLC2 використовує алгоритм ковзного вікна;

- послуга LLC3 – режим без встановлення з'єднання, але з підтвердженням отримання даних. У деяких випадках (наприклад, при використанні мереж у системах реального часу, керуючих промисловими об'єктами), з одного боку, втрати часу на встановлення з'єднання недопустимі, а, з іншого боку, підтвердження про коректність приймання необхідне, оскільки недопустимі спотворення даних і, тим більше, їх втрата. Для

подібних випадків і вигадана послуга LLC3, яка є компромісною між послугами LLC1 та LLC2.

Вибір режиму в кожному конкретному випадку залежить від рівнів, які розташовані вище, і інформація про необхідну від LLC-підрівня транспортну послугу передається через міжрівневий інтерфейс разом з апаратними адресами і призначеними для користувача даними. Наприклад, коли поверх LLC-підрівня працює протокол IP, то завжди запитується режим LLC1, оскільки встановлення з'єднання і відновлення спотворених і втрачених кадрів виконується протоколом TCP. При використанні ж стека NetBEUI/SMB над LLC-підрівнем працює протокол NetBIOS, який може працювати як у режимі з відновленням, так і в дейтаграмному режимі. Якщо протокол NetBIOS працює в режимі з відновленням спотворених і втрачених кадрів, то він замовляє LLC-підрівню транспортну послугу LLC2, якщо ж він працює в дейтаграмному режимі, то замовляється послуга LLC1. У цей час це практично єдиний випадок використання послуги LLC2.

3.2.2 MAC-підрівень Канального рівня

Основними функціями MAC-підрівня є:

- забезпечення доступу до розподіленого середовища;
- передача кадрів між кінцевими вузлами з використанням функцій і пристроїв Фізичного рівня.

3.2.2.1 Забезпечення доступу до середовища, яке розподіляється

Доступ до середовища, яке розподіляється, реалізується алгоритмами, що отримали назву "методи доступу", які поділяють на два типи:

- метод випадкового доступу;
- детермінований доступ.

Метод випадкового доступу є *децентралізованим*, тобто він не вимагає наявності в мережі спеціального вузла, який

відігравав би роль арбітра, регулюючого доступ до середовища. Відсутність такого арбітра призвела до того, що виникнення з високою імовірністю колізій у мережі перетворилося в нормальне явище. Під час колізії відбувається накладення сигналів від декількох передавачів і дані спотворюються (сигнали, як носії двійкових нулів і одиниць, перестають такими бути). Оскільки в локальних мережах застосовуються порівняно прості методи кодування, то вони не дозволяють виділити потрібний сигнал з сумарного. Алгоритми випадкового доступу не гарантують вузлу, що він отримає доступ до середовища протягом гарантованого інтервалу часу. Який би великий час очікування не був би вибраний, завжди існує ненульова ймовірність того, що реальний час очікування перевищить цю межу. Найбільш типовим носієм випадкового методу доступу є технологія Ethernet.

Алгоритми детермінованого доступу мають два різновиди: передачу маркера (token) і опитування.

Передача маркера звичайно організується децентралізовано – кожний комп'ютер, той, що отримав маркер, має право на використання середовища передачі протягом фіксованого інтервалу часу, званого *часом утримання маркера*. Протягом часу утримання маркера комп'ютер передає свої кадри і після закінчення його комп'ютер передає маркер іншому комп'ютеру. Таким чином, якщо відома кількість комп'ютерів у мережі, то максимальний час очікування доступу до середовища легко розрахувати за такою залежністю:

$$T_{\text{ожид_max}} = n * t_{\text{удерж}} + t_{\text{ring}},$$

де $T_{\text{ожид_max}}$ – максимальний час очікування доступу до середовища;

n – кількість комп'ютерів у мережі;

$t_{\text{удерж}}$ – час утримання маркера;

t_{ring} – час проходження даних по середовищу передачі.

Час очікування може бути і менше, оскільки не всі комп'ютери, отримавши маркер, втримують його: якщо комп'ютеру не потрібне середовище (немає підготовлених до

передачі кадрів), то він відразу ж передає маркер іншому комп'ютеру.

Послідовність передачі маркера від комп'ютера до комп'ютера може здійснюватися різними способами. Так, наприклад, у мережах Token Ring і FDDI вона визначається кільцевою топологією зв'язків: комп'ютер отримує маркер від попереднього сусіда в кільці і передає його наступному. Разом з тим це не єдиний спосіб передачі маркера. У мережній технології ArcNet (Token Bus Network), що мала топологію "шина" (середовище передачі – коаксіальний кабель), а використовуваний метод доступу – теж маркерний. При цьому маркер передавався від комп'ютера до комп'ютера адресно в певній послідовності незалежно від місця їх підключення до кабелю.

Алгоритми опитування частіше за все засновані на централізованому принципі. У мережі існує виділений вузол, який відіграє роль арбітра в спорі вузлів за володіння середовищем передачі даних, яке розподіляється. Арбітр періодично опитує вузли мережі, намагаючись встановити надходження від них заявок на передачу даних. Зібравши заявки, арбітр встановлює порядок використання середовища, яке розподіляється. Потім арбітр повідомляє своє рішення вибраному для передачі даних вузлу і той починає передачу кадру (захоплює середовище передачі), після завершення якої фаза опитування повторюється.

Алгоритми опитування можуть бути і *децентралізованими*, коли всі вузли заздалегідь повідомляють один одному (за допомогою середовища, яке розподіляється) свої запити на передачу кадрів. Потім на основі аналізу зібраних повідомлень відповідно до певного критерію кожний вузол сам незалежно від інших вузлів визначає свою чергу в послідовності передач.

Алгоритми *детермінованого* доступу вигідно відрізняються від алгоритмів *випадкового* доступу тим, що вони більш ефективно працюють при великому завантаженні мережі, коли коефіцієнт використання наближається до одиниці. У той же час при невеликому завантаженні мережі більш ефективні алгоритми випадкового доступу, оскільки вони передають кадр негайно, не

затрачуючи час на процедуру визначення права доступу до середовища.

Також до переваг детермінованих методів потрібно віднести те, що вони дозволяють вводити пріоритети при управлінні трафіком, а отже, підтримувати вимоги QoS.

3.2.2.2 Передача кадрів між вузлами

Транспортування кадрів між вузлами здійснюється MAC-підрівнем у декілька етапів, які в загальному випадку не залежать від методу доступу:

1 *Формування кадру*. На цьому етапі проводиться заповнення полів кадру на основі інформації, отриманої від протоколу верхнього рівня: адреси вузла призначення і вузла джерела, даних користувача, ознаки протоколу верхнього рівня, що відсилає ці дані. Після формування кадру MAC-підрівень обчислює контрольну послідовність і заповнює нею відповідне поле кадру.

2 *Передача кадру через середовище*. Після формування кадру й отримання доступу до середовища MAC-підрівень передає кадр на Фізичний рівень, який побітно передає всі поля кадру в середовище. Функції Фізичного рівня виконує передавач мережного адаптера, який перетворює кадр у послідовність бітів і кодує їх відповідними електричними або оптичними сигналами. Після проходження сигналів по середовищу вони надходять у приймачі мережних адаптерів, підключених до середовища, що розподіляється, які виконують зворотне перетворення сигналів у відповідні їм біти кадру.

3 *Приймання кадру*. MAC-підрівень кожного вузла мережі, підключеного до середовища, яке розподіляється, перевіряє адресу призначення кадру, що надійшов.

Протоколи каналного рівня реалізуються комп'ютерами, мостами, комутаторами і маршрутизаторами. У комп'ютерах функції каналного рівня реалізуються спільними зусиллями мережних адаптерів та їх драйверів.

3.3 Фізичний рівень

Фізичний рівень має справу з передачею потоку бітів по фізичних каналах зв'язку, таких як коаксіальний кабель, кручена пара, оптоволоконний кабель або цифровий територіальний канал.

Фізичний рівень не вникає в значення інформації, яку він передає. Для нього ця інформація є однорідним потоком бітів, які треба доставити без спотворень. Кадр даних передається засобами Фізичного рівня в мережу, проходить по каналу зв'язку і поступає у вигляді послідовності бітів у розпорядження Фізичного рівня вузла призначення, який, у свою чергу, передає прийняті біти каналному рівню свого вузла.

Функції Фізичного рівня реалізуються на всіх пристроях, підключених до мережі. З боку комп'ютера функції Фізичного рівня виконуються в локальних мережах мережним адаптером, а при підключенні комп'ютера до глобальної мережі – послідовним портом.

Питання

- 1 На які складові прийнято поділяти Канальний рівень?
- 2 Назвіть основні функції LLC-підрівня.
- 3 Назвіть поля формату LLC-кадру, визначте їх призначення.
- 4 Назвіть типи LLC-кадрів, визначте їх функції.
- 5 Опишіть формат керуючого поля LLC-кадру, яке належить до I-типу.
- 6 Опишіть формат керуючого поля LLC-кадру, яке належить до S-типу.
- 7 Опишіть функції, що задаються керуючим полем U-типу в LLC-кадрі.
- 8 Назвіть типи транспортних послуг, що надаються LLC-підрівнем.
- 9 Опишіть зміст послуги LLC1.
- 10 Опишіть зміст послуги LLC2.
- 11 Опишіть зміст послуги LLC3.
- 12 Назвіть основні функції MAC-підрівня.

13 Дайте класифікацію методів доступу.

14 Які методи доступу можна віднести до типу детермінованих.

15 Назвіть різновиди детермінованого доступу.

16 Назвіть мережну технологію, що використовує випадковий метод доступу.

17 Назвіть основні етапи передачі кадрів, що реалізуються МАС-підрівнем.

18 Назвіть відмінності між функціями Канального рівня в локальних і глобальних мережах.

19 Яким чином реалізуються функції Канального рівня в комп'ютері?

20 Яким чином реалізуються функції Фізичного рівня в комп'ютері?

ЛЕКЦІЯ 4. ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ: ETHERNET

Ethernet – найпоширеніший у цей час стандарт локальних мереж. Загальна кількість мереж, працюючих за протоколом Ethernet, оцінюється в декілька мільйонів.

У широкому значенні під терміном Ethernet розуміється сімейство близькородинних технологій: власне Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet і 10Gigabit. Їх об'єднує єдність таких (основних) ознак мережних технологій, як формат кадру, апаратна адресація вузлів (MAC-адресація) та метод доступу до середовища передачі даних. Основна принципова відмінність між технологіями сімейства – швидкість передачі даних.

У більш вузькому значенні Ethernet – це мережна технологія передачі даних зі швидкістю 10 Мбіт/с, яка була розроблена як стандарт трьох організацій – Digital, Intel і Xerox, а в 1980 р. став міжнародним стандартом після того, як був стандартизований робочою групою IEEE 802.3. Технологія Ethernet стала першою технологією, що запропонувала середовище, що розподіляється, для обміну даними між вузлами мережі.

Локальні мережі, будучи пакетними мережами, використовують принцип часового мультиплексування, тобто розділяють середовище передачі даних у часі. Алгоритм управління доступом до середовища (метод доступу), з перерахованих вище основних відмітних ознак будь-якої мережної технології, є найбільш важливою характеристикою, яка значно більше визначає її “обличчя”, ніж, наприклад, формат кадру або метод кодування даних на Фізичному рівні. У технології Ethernet як алгоритм розподілення середовища застосовується метод випадкового доступу. Хоч його важко назвати бездоганним – при зростанні навантаження на мережу корисна пропускна спроможність мережі різко падає, він завдяки своїй простоті послужив основною причиною успіху технології Ethernet.

Популярність технології Ethernet стала причиною її бурхливого розвитку – у 1995 р. був розроблений стандарт Fast Ethernet, у 1998 – Gigabit Ethernet, а у 2002 р. – 10G Ethernet. Кожний з подальших стандартів перевищував швидкість свого попередника в 10 раз.

Надалі під Ethernet будемо розуміти його класичний (10 Мбіт/с) варіант, зберігши за іншими варіантами їх повні назви.

4.1 Метод доступу до середовища передачі даних

Серед безлічі особливостей (таких як топологія, середовище передачі даних, метод *доступу до середовища*, швидкість передачі, обмеження на довжину сегментів, обмеження на кількість вузлів, *формат кадру і обмеження на його розміри*, MAC-адресація, кодування даних на логічному та Фізичному рівнях, а також *всі часові характеристики*), що характеризують мережну технологію, тільки частина з них (вище по тексту виділені курсивом) принципові настільки, що їх у сукупності можна визнати як “обличчя” технології. Як вже зазначалося вище, всі локальні мережні технології сімейства Ethernet тому і належать до одного сімейства, що в них використовуються одні й ті самі метод доступу, формат кадру і MAC-адресація. Розглянемо їх по порядку, починаючи з методу доступу.

В Ethernet використовується множинний доступ з прослуховуванням несучою і попередженням колізій (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD). Метод належить до типу випадкових і, як всі випадкові методи, є децентралізованим.

Цей метод використовується виключно в мережах із загальною шиною (до яких належать і радіомережі, що породили цей метод). Всі комп'ютери такої мережі мають безпосередній доступ до загальної шини, тому вона може бути використана для передачі даних між будь-якими двома вузлами мережі. Простота схеми підключення – це один з чинників, що визначили успіх стандарту Ethernet. Кажуть, що кабель, до якого підключені всі станції, працює в режимі колективного *доступу (multiply-access, MA)*. Алгоритм передачі кадру, який виконується методом

доступу CSMA/CD, у вигляді блок-схеми наведений на рисунку 4.1.

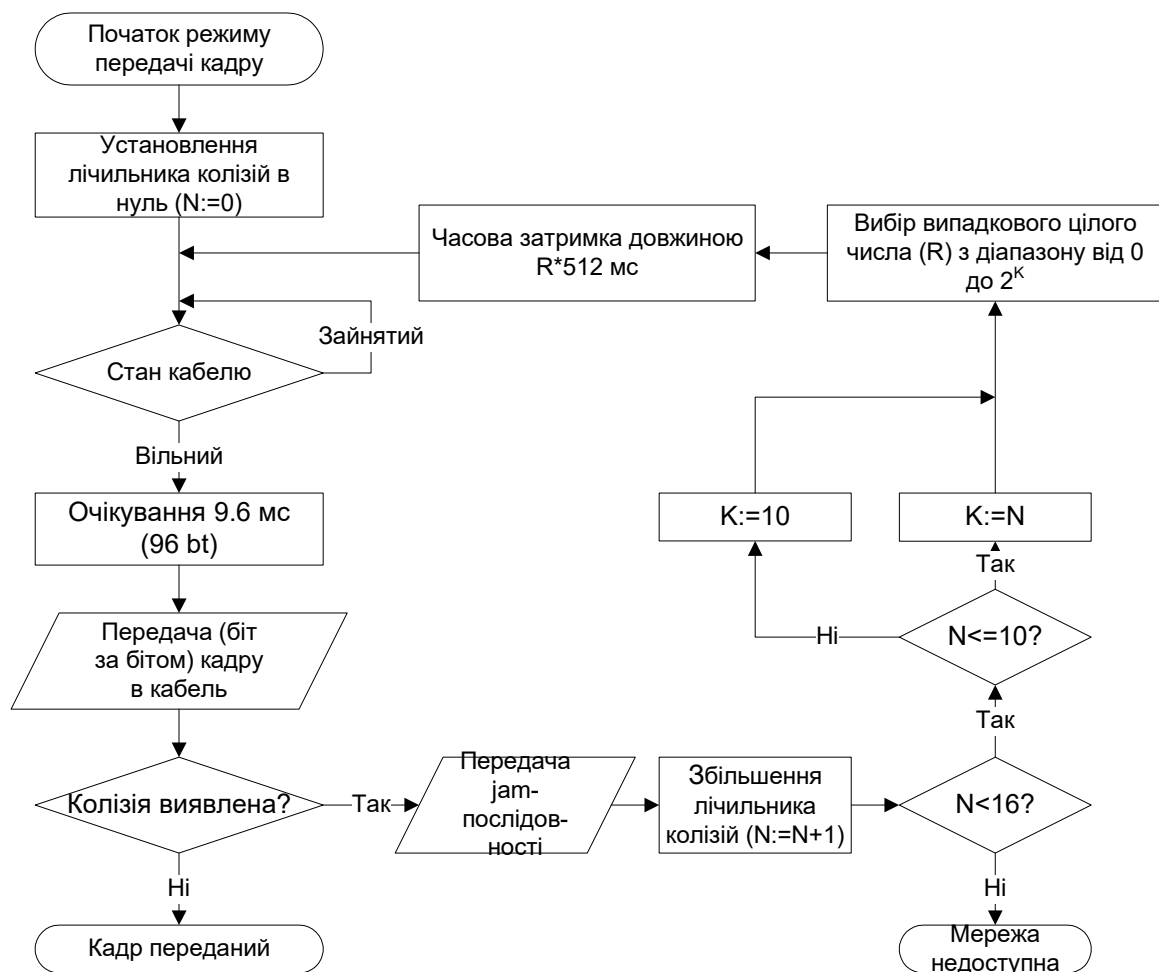


Рисунок 4.1 – Алгоритм передачі кадру, який виконується методом доступу CSMA/CD

Всі дані, що передаються по мережі, вміщуються в кадри певної структури і забезпечуються унікальною адресою станції призначення. Потім кадр передається по кабелю. Всі станції, підключені до кабелю, можуть розпізнати факт передачі кадру, і та станція, яка розпізнає власну адресу в заголовках кадру, записує його вміст у свій внутрішній буфер, обробляє отримані дані і посилає по кабелю кадр-відповідь. Адреса станції-джерела також вбудована в початковий кадр, тому станція-одержувач знає, кому треба надіслати відповідь.

При описаному підході можлива ситуація, коли дві станції одночасно намагаються передати кадр даних по загальному кабелю. Для зменшення імовірності цієї ситуації безпосередньо перед відправленням кадру передавальна станція слухає кабель

(тобто приймає і аналізує виникаючі на ньому електричні сигнали), щоб виявити, чи не передається вже по кабелю кадр даних від іншої станції. Якщо розпізнається *несуча (carrier-sense, CS)*, то станція відкладає передачу свого кадру до закінчення чужої передачі, і тільки потім намагається знову його передати. Але навіть при такому алгоритмі дві станції одночасно можуть вирішити, що по шині в даний момент часу немає передачі, і почати одночасно передавати свої кадри. Кажуть, що при цьому відбувається колізія, *оскільки* вміст обох кадрів стикається на загальному кабелі, що призводить до спотворення інформації.

Щоб коректно обробити колізію, всі станції одночасно спостерігають за виникаючими на кабелі сигналами. Якщо ті сигнали, що спостерігаються, і ті, що передаються, відрізняються, то фіксується *виявлення колізії (collision detection, CD)*. Для збільшення імовірності негайного виявлення колізії всіма станціями мережі ситуація колізії посилюється посиленням у мережу станціями, що почали передачу своїх кадрів, спеціальної послідовності бітів, що називається jam-послідовністю.

Після виявлення колізії передавальна станція зобов'язана припинити передачу і чекати протягом короткого випадкового інтервалу часу, а потім може знов зробити спробу передачі кадру.

З опису методу доступу видно, що він носить імовірнісний характер, і імовірність успішного отримання в своє розпорядження загального середовища залежить від завантаженості мережі, тобто від інтенсивності виникнення в станціях потреби передачі кадрів. При розробленні цього методу передбачалося, що швидкість передачі даних в 10 Мбіт/с дуже висока порівняно з потребами комп'ютерів у взаємному обміні даними, тому завантаження мережі буде завжди невеликим. Це припущення залишається часто справедливим і до цього дня, однак вже з'явилися додатки, працюючі в реальному часі з мультимедійною інформацією, для яких потрібні набагато більш високі швидкості передачі даних. Тому поряд з класичним Ethernet росте потреба і в нових високошвидкісних технологіях.

Метод CSMA/CD визначає основні часові і логічні співвідношення, що гарантують коректну роботу всіх станцій у мережі:

- між двома послідовними кадрами інформації, що передаються по загальній шині, повинна витримуватися пауза в 9,6 мкс; ця пауза потрібна для приведення в початковий стан мережних адаптерів вузлів, а також для запобігання монопольному захопленню середовища передачі даних однією станцією;

- при виявленні колізії (умови її виявлення залежать від фізичного середовища, що застосовується) станція видає в середовище спеціальну 32-бітну послідовність (jam-послідовність), що посилює явище колізії для більш надійного розпізнавання її всіма вузлами мережі;

- після виявлення колізії кожний вузол, який передавав кадр і зіткнувся з колізією, після деякої затримки намагається повторно передати свій кадр. Вузол робить максимально 16 спроб передачі цього кадру інформації, після чого відмовляється від його передачі. Величина затримки вибирається як рівномірно розподілене випадкове число з інтервалу, довжина якого експонентно збільшується з кожною спробою. Такий алгоритм вибору величини затримки знижує імовірність колізій і зменшує інтенсивність видачі кадрів у мережу при її високому завантаженні.

Чітке розпізнавання колізій всіма станціями мережі є необхідною умовою коректної роботи мережі Ethernet. Якщо яка-небудь передавальна станція не розпізнає колізію і вирішить, що кадр даних нею переданий правильно, то цей кадр даних буде загублений, оскільки інформація кадру спотвориться через накладення сигналів при колізії, він буде відкинутим приймальною станцією (швидше за все через неспівпадання контрольної суми). Звичайно, швидше за все спотворена інформація буде повторно передана яким-небудь протоколом верхнього рівня, наприклад транспортним або прикладним, працюючим зі встановленням з'єднання і нумерацією своїх повідомлень. Але повторна передача повідомлення протоколами верхніх рівнів станеться через набагато більш тривалий інтервал часу (десятки секунд) порівняно з мікросекундними інтервалами, якими оперує протокол Ethernet. Тому якщо колізії не будуть надійно розпізнаватися вузлами мережі Ethernet, то це призведе

до помітного зниження корисної пропускної спроможності даної мережі.

Всі параметри протоколу Ethernet підібрані таким чином, щоб при нормальній роботі вузлів мережі колізії завжди чітко розпізнавалися. Саме для цього мінімальна довжина поля даних кадру повинна бути не менше за 46 байтів (що разом зі службовими полями дає мінімальну довжину кадру в 72 байти або 576 бітів). Довжина кабельної системи вибирається таким чином, щоб за час передачі кадру мінімальної довжини сигнал колізії встиг би розповсюдитися до найдалшого вузла мережі. Тому для швидкості передачі даних 10 Мбіт/с, що використовується в стандартах Ethernet, максимальна відстань між двома будь-якими вузлами мережі не повинна перевищувати 2500 м.

Зі збільшенням швидкості передачі кадрів, що має місце в нових стандартах, які базуються на тому самому методі доступу CSMA/CD, наприклад Fast Ethernet, максимальна довжина мережі меншає пропорційно збільшенню швидкості передачі. У стандарті Fast Ethernet вона становить 210 м, а в гігабітному Ethernet обмежена 25 м.

Незалежно від реалізації фізичного середовища всі мережі Ethernet повинні задовольняти два обмеження, пов'язані з методом доступу:

- максимальна відстань між двома будь-якими вузлами не повинна перевищувати 2500 м;
- у мережі не повинно бути більше за 1024 вузли.

Крім того, кожний варіант фізичного середовища додає до цих обмежень свої обмеження, які також повинні виконуватися.

Уточнимо основні параметри операцій передачі і приймання кадрів Ethernet, стисло описані вище.

Станція, яка хоче передати кадр, повинна спочатку за допомогою MAC-вузла упакувати дані в кадр відповідного формату. Потім для запобігання змішуванню сигналів з сигналами іншої передавальної станції MAC-вузол повинен прослуховувати електричні сигнали на кабелі і в разі виявлення несучої частоти 10 МГц відкласти передачу свого кадру. Після закінчення передачі по кабелю станція повинна витримати невелику додаткову паузу, що називається *міжкадровим*

інтервалом (interframe gap), який дозволяє вузлу призначення прийняти й обробити кадр, що передається, і після цього почати передачу свого кадру.

Одночасно з передачею бітів кадру приймально-передавальний пристрій вузла стежить за бітами, що приймаються по загальному кабелю, щоб вчасно виявити колізію. Якщо колізія не виявлена, то передається весь кадр, після чого MAC-рівень вузла готовий прийняти кадр з мережі або від LLC-рівня.

Якщо ж фіксується колізія, то MAC-вузол припиняє передачу кадру і посилає jam-послідовність, що посилює стан колізії. Після посилання в мережу jam-послідовності MAC-вузол робить випадкову паузу і повторно намагається передати свій кадр.

У разі повторних колізій існує максимально можливе *число спроб повторної передачі кадру (attempt limit)*, яке дорівнює 16. При досягненні цієї межі фіксується помилка передачі кадру, повідомлення про яку передається протоколу верхнього рівня.

Для того, щоб зменшити інтенсивність колізій, кожний MAC-вузол з кожною новою спробою випадково збільшує тривалість паузи між спробами. Тимчасовий розклад тривалості паузи визначається на підставі *усіченого двійкового експонентного алгоритму відстрочки (truncated binary exponential backoff)*. Пауза завжди складає ціле число так званих інтервалів відстрочки.

Інтервал відстрочки (slot time) – це час, протягом якого станція гарантовано може дізнатися, що в мережі немає колізії. Цей час тісно пов'язаний з іншим важливим часовим параметром мережі – *вікном колізій (collision window)*. Вікно колізій дорівнює часу двократного проходження сигналу між найвіддаленішими вузлами мережі – найгіршому випадку затримки, при якій станція ще може виявити, що сталася колізія. Вікно колізій вибирається таким, що дорівнює інтервалу відстрочки плюс деяка додаткова величина затримки для гарантії:

вікно колізій = інтервал відстрочки + додаткова затримка.

У стандартах 802.3 більшість часових характеристик вимірюється в бітових інтервалах, величина яких для бітової

швидкості 10 Мбіт/с становить 0,1 мкс і дорівнює часу передачі одного біта (одиниці або нуля).

Величина інтервалу відстрочки в стандарті 802.3 визначена такою, що дорівнює 512 бітовим інтервалам, і ця величина розрахована для максимальної довжини коаксіального кабелю в 2,5 км. Величина 512 визначає і мінімальну довжину кадру в 64 байти, оскільки при кадрах меншої довжини станція може передати кадр і не встигнути помітити факт виникнення колізії через те, що спотворені колізією сигнали дійдуть до станції в найгіршому випадку після завершення передачі. Такий кадр буде просто втрачений.

Час паузи після N-ї колізії належить рівним L інтервалам відстрочки, де L – випадкове ціле число, рівномірно розподілене в діапазоні $[0, 2^N]$. Величина діапазону зростає тільки до 10-ї спроби (нагадаємо, що їх не може бути більше 16), а далі діапазон залишається $[0, 2^{10}]$, тобто – $[0, 1024]$.

4.2 Формати кадрів

Розроблений фірмами Digital, Intel і Xerox стандарт був не першим варіантом технології Ethernet. Йому передувала перша версія, що працювала зі швидкістю 2,94 Мбіт/с, яка була створена в Дослідницькому центрі фірми Xerox. Тому версія фірмового альянсу отримала назву Ethernet версії II (Ethernet II). Крім назви Ethernet II, цей стандарт часто називають Ethernet DIX (DIX - Intel, Digital, Xerox). Специфікації Ethernet DIX описують ті самі функції, що і Канальний, і Фізичний рівні моделі OSI і на основі цих специфікацій і був розроблений стандарт IEEE 802.3.

Стандарт IEEE 802.3 багато в чому співпадає зі своїм попередником, але деякі відмінності все ж таки є: в стандарті IEEE 802.3 Канальний рівень розбитий на два підрівні (LLC-підрівень і MAC-підрівень), а в Ethernet DIX обидва підрівня об'єднані в єдиному канальному рівні. В Ethernet DIX визначається протокол тестування конфігурації (Ethernet Configuration Test Protocol), який відсутній в IEEE 802.3. Дещо відрізняються і формати кадрів, хоч мінімальні максимальні розміри кадрів у цих стандартах співпадають. (Часто, щоб

відрізнити Ethernet, визначений стандартом IEEE 802, від фірмового Ethernet DIX, перший називають технологією 802.3, а за фірмовим залишають назву Ethernet без додаткових позначень).

Стандарт IEEE 802.3 дає єдиний опис формату кадру MAC-підрівня. Оскільки в кадр MAC-підрівня повинен вкладатися кадр LLC-підрівня, описаний у документі IEEE 802.2, то за стандартами IEEE в мережі Ethernet може використовуватися тільки єдиний варіант кадру Канального рівня, заголовок якого є комбінацією заголовків LLC- і MAC-підрівней.

На практиці в мережах Ethernet на Канальному рівні використовуються чотири формати кадрів, кожний з яких може мати декілька назв:

- кадр *Ethernet DIX* або *Ethernet II* був представлений альянсом DIX комітету IEEE 802.3 як проект міжнародного стандарту;
- кадр *802.3/LLC* або *802.3/802.2*, або *Novell 802.2* виник внаслідок прийняття комітетом IEEE 802 стандарту, відмінного від пропозицій DIX;
- кадр *RAW 802.3* або *Novell 802.3* з'явився внаслідок зусиль фірми Novell з просування свого стеку протоколів IPX/SPX в мережах Ethernet;
- кадр *Ethernet SNAP* став результатом діяльності 802.2 з приведення попередніх форматів кадрів до деякого загального стандарту і придання кадру необхідної гнучкості при додаванні в майбутньому полів або зміни їх призначення.

Нижче наведено формати всіх чотирьох типів (рисунок 4.2).

У цей час всі апаратні (мережні адаптери, мости/комутатори, маршрутизатори) і програмні (драйвери мережних адаптерів) засоби розробляються так, що уміють працювати з кадрами будь-яких форматів, які використовуються на практиці. При цьому розпізнавання кадру виконується автоматично.

На рисунку 4.1 не показана преамбула, її довжина для всіх форматів одна і та сама – вісім байтів, а структура у різних форматів – різна. Так, у кадрі Ethernet DIX всі байти преамбули мають однакове значення, що дорівнює 01010101_2 , що на Фізичному рівні утворює послідовність імпульсів з частотою 5

МГц. Для всіх інших типів кадру в перших семи синхронізуючих байтах записується той самий код, що і в Ethernet DIX, а восьмий байт має значення 10101011_2 і відіграє роль *початкового обмежувача кадру* (Start-of-Frame-Delimiter, SFD).

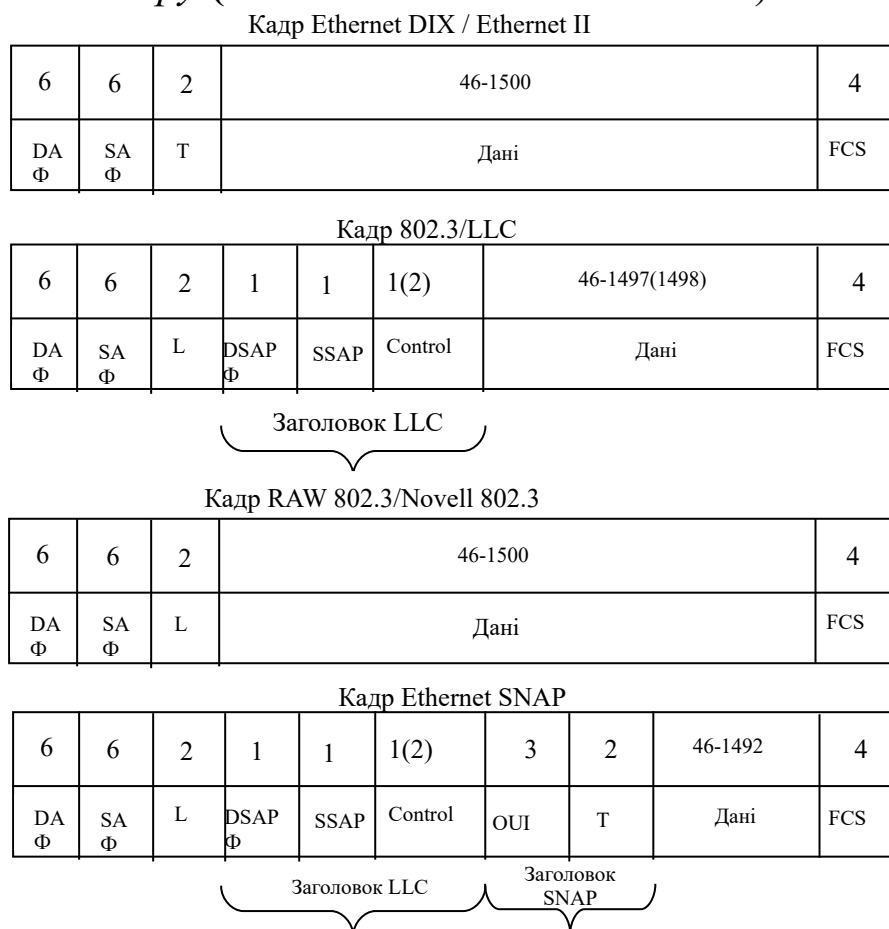


Рисунок 4.2 – Формати кадрів Ethernet

4.2.1 Кадр Ethernet DIX / Ethernet II

Без преамбули кадр Ethernet DIX містить п'ять полів (див. рисунок 4.2) з таким призначенням:

- *адреса призначення* (Destination Address, DA). Може бути 2 або 6 байтів. На практиці завжди використовуються MAC-адреси з 6 байтів;
- *адреса джерела* (Source Address, SA) – 2- або 6-байтне поле, що містить MAC-адресу вузла відправника кадру. Перший біт адреси завжди має значення 0;

- *поле типу протоколу* (Type, T) – використовується для зазначення типу протоколу верхнього рівня, який інкапсулював (вклав) свій пакет у полі даних цього кадру (виконує, по суті, ті самі функції, що і поля DSAP і SSAP в кадрі 802.3). Числове значення цього поля завжди більше 1500 і цей поріг, крім основного навантаження, дає можливість ідентифікувати кадр як кадр Ethernet DIX (якщо значення поля менше 1550, то це буде означати, що воно вказує на довжину поля даних, а не на тип протоколу і, відповідно, кадр буде належать до одного з трьох інших типів);

- *поле даних* може містити від 46 до 1500 байтів. Якщо довжина поля менше 46 байтів, то використовується наступне поле – поле заповнювача, доповнюючого поле даних до мінімального значення в 46 байтів;

- *поле заповнювача* складається з такої кількості байтів, яка доповнює поле даних до 46 байтів. Якщо поле даних дорівнює або більше 46 байтів, то довжина поля заповнювача дорівнює нулю.

- *поле контрольної послідовності кадру* (Frame Check Sequence, FCS). Складається з 4 байтів контрольної суми, яка обчислюється за алгоритмом CRC-32.

4.2.2 Кадр 802.3 / LLC

Основна відмінність кадру 802.3/LLC (рисунки 3.1) від кадру Ethernet DIX складається в заголовку кадру. При цьому такі поля заголовка, як адреса призначення (DA), адреса джерела (SA), мають те саме значення і формат, що і у форматі Ethernet DIX. Поле типу (T) формату Ethernet DIX замінено на полі довжини (*Length, L*) – двобайтне поле, яке визначає довжину поля даних у кадрі. Додано заголовок LLC (див. лекцію 3) і при цьому на довжину заголовка LLC скорочений розмір поля даних кадру.

4.2.3 Кадр Raw / Novell 802.3

Кадр Raw 802.3, що називається також кадром *Novell 802.3*, поданий також на рисунку 4.1. З рисунка видно, що це кадр підрівня MAC стандарту 802.3, але без вкладеного кадру підрівня LLC. Компанія Novell довгий час не використовувала службові поля кадру LLC у своїй операційній системі NetWare через відсутність необхідності ідентифікувати тип інформації, вкладеної в полі даних, – там завжди знаходився пакет протоколу IPX, який довгий час був єдиним протоколом Мережного рівня в ОС NetWare.

Тепер, коли виникла необхідність ідентифікації протоколу верхнього рівня, компанія Novell стала використовувати можливість інкапсуляції в кадр підрівня MAC кадру LLC, тобто використовувати стандартні кадри 802.3/LLC (звідси ще одна назва цього формату – Novell 802.2). Такий кадр компанія зазначає тепер у своїх операційних системах як кадр 802.2, хоч він є комбінацією заголовків 802.3 і 802.2.

4.2.4 Кадр Ethernet SNAP

З попередніх описів можна зробити висновок, що передісторія розвитку технології Ethernet призвела до різноманітності в кодуванні типів протоколів, повідомлення яких вкладаються в полі даних кадрів. Для усунення цього недоліку підкомітетом 802.2 була зроблена спроба подальшої стандартизації кадрів Ethernet (документ 802.2n). Внаслідок зроблених зусиль з'явився кадр Ethernet SNAP (SubNetwork Eccess Protocol – протокол доступу до підмереж) (див. рисунок 4.1). Кадр утворився за рахунок розширення кадру Ethernet/LLC полем заголовка SNAP, який складається з двох полів: поля OUI (Organization Unique Identifier) і поля типу (T). Поле OUI визначає так званий організаційний унікальний ідентифікатор, тобто ідентифікатор організації, яка контролює коди протоколів у полі типу. Поле типу (T) містить два байти і повторює за форматом і призначенням поле типу кадру Ethernet DIX (у ньому (полі) використовуються ті самі значення кодів протоколів). За допомогою заголовка SNAP досягнута сумісність з кодами протоколів у кадрах Ethernet DIX, а також створена універсальна

схема кодування протоколів. Коди протоколів для технологій 802 контролюються організацією IEEE, ідентифікатор OUI якої дорівнює 00000000₁₆. Якщо в майбутньому потрібні будуть коди протоколів для якої-небудь нової технології, то досить буде указати інший ідентифікатор організації, що призначає ці коди, а старі коди залишаться в силі (в поєднанні з іншим ідентифікатором OUI). Оскільки SNAP являє собою протокол, вкладений у протокол LLC, то в полях DSAP і SSAP записується код AA₁₆, що кодує протокол SNAP.

4.2.5 Як мережні адаптери Ethernet "розбираються" в типах кадрів

В умовах існування чотирьох типів кадрів Ethernet на Мережному рівні виникає проблема – яким типом кадру скористатися. Протоколи мережного рівня різних стеків можуть використати різні формати кадрів. Так, наприклад, протокол IP стеку TCP/IP може використати або кадр Ethernet DIX, або більш складний, але і більш універсальний формат Ethernet SNAP.

Сучасні мережні адаптери здатні автоматично визначати тип кадру Ethernet, використовуючи значення полів кадру.

Протокол IP розпізнає тип кадру за значенням поля L/T (довжина/тип). Якщо в цьому полі записане значення, що перевищує 1500, то це буде кадр Ethernet DIX, оскільки значення кодів будь-яких типів протоколів вибрано більше 1500. В іншому випадку (значення поля менше або дорівнює 1500) кадр сприймається як кадр Ethernet SNAP.

Протокол IPX стеку IPX/SPX може працювати з усіма чотирма типами кадрів. Кадр Ethernet DIX розпізнається так само, як і в попередньому випадку. Якщо кадр розпізнаний як такий, що належить одному з трьох типів, що залишилися, то потім розпізнається поле LLC. У кадрі Raw 802.3 поле LLC відсутнє. Розпізнавання ведеться за двома байтами, наступними за полем L/T. Якщо обидва байти заповнені одиницями (FFFF₁₆ – ознака того, що за полем довжини йде пакет IPX), то кадр розпізнається як кадр Ethernet Raw, оскільки поля DSAP і SSAP такі значення мати не можуть. Подальший аналіз виготовляється залежно від

значень полів DSAP і SSAP. Якщо вони одночасно дорівнюють AA₁₆, то кадр сприймається як кадр Ethernet SNAP, якщо ж поля DSAP і SSAP відрізняються від значень AA₁₆, то це кадр 802.3/LLC.

4.3 MAC-адресація в мережах Ethernet

Фізичні (апаратні) адреси (як адреса призначення, так і адреса джерела) у всіх кадрах мають завжди одну і ту саму довжину (частіше за все – 6 байтів) і формат. Разом з тим поле адреси призначення містить адресу одного з трьох типів:

- унікальна MAC-адреса єдиного одержувача (unique address);
- ширококомовна адреса (broadcast address), яка вказує на те, що даний кадр адресований всім його абонентам мережі, які його побачили;
- групова адреса (multicast address), яка є ознакою, за якою вузли можуть обробляти ширококомовні кадри.

Тип адреси задається його першим байтом:

00h – унікальна адреса, інші байти задають адресу конкретного мережного адаптера. Унікальність адрес адаптерів забезпечується спеціальною угодою, за якою кожному виробнику адаптерів виділяється своє значення (одне або декілька) коду (Manufactured ID) – байти 2 і 3 (іноді до коду виробника відносять і перший байт, що має нульове значення). Байти 4-6 заповнюються виробником – на ньому лежить відповідальність за унікальність (цю інформацію можна розглядати як серійний номер мережної карти);

02h – ряд моделей адаптерів (у комплекті з драйверами) дозволяють задавати MAC-адреси довільно. У цьому випадку відповідальність за унікальність несе адміністратор мережі.

Заповнення всіх бітів адреси одиницями (FFFFFFFFFFFFh) є ознака

Таблиця 4.1 – Формати MAC-адрес призначення¹⁾.

1 байт	2 байт	3 байт	4 байт	5 байт	6 байт
00h	xx	xx	xx	xx	xx
	Ідентифікатор виробника		Серійний номер		
02h	xx	xx	xx	xx	xx
	Д о в і л ь н а а д р е с а				
FFh	FFh	FFh	FFh	FFh	FFh
01h	xx	xx	xx	xx	xx
	І д е н т и ф і к а т о р г р у п и				

4.4 Кодування даних на Фізичному та логічному рівнях

При кодуванні даних на Фізичному рівні в локальних мережах використовуються два різновиди кодів: імпульсні й потенційні. В Ethernet використовується *манчестерський код*, який належить до типу імпульсних.

У манчестерському коді для кодування нулів і одиниць використовується перепад потенціалу в середині кожного такту (рисунок 4.3). У стандарті Ethernet кожний такт прийнято називати *бітовим інтервалом (bt, bit time)*. Оскільки протягом бітового інтервалу передається один біт даних (тому він і називається "бітовим"), то швидкість 10 Мбіт/с, з якою Ethernet передає дані по кабелі, забезпечується при тривалості бітового інтервалу, що дорівнює 10^{-7} с.

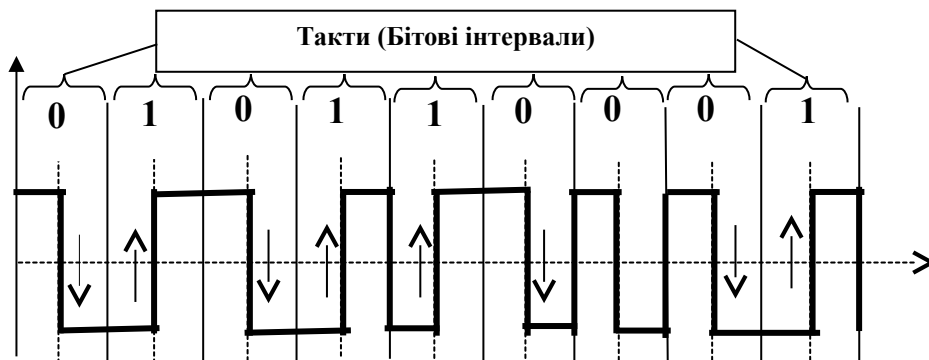


Рисунок 4.3 – Манчестерське кодування

При використанні потенційних методів кодування довгі послідовності нулів та/або одиниць призводять до появи постійного потенціалу в кабелі. Такі методи належать до розряду несамосінхронізуючих (або погано самосінхронізуючих), що може призводити до спотворення переданих даних за рахунок несинхронної роботи передавача й приймача. Оскільки такі недоліки мають потенційні коди типу AMI, NRZI або 2Q1B, то для їхнього поліпшення додатково використовується логічне

кодування. Для логічного кодування характерні два методи: надлишкові коди й скремблювання. Імпульсні коди добре самосінхронізуються, тому при їхньому застосуванні логічне кодування необов'язкове.

Оскільки манчестерський код, який використовується у технології Ethernet, є кодом імпульсним, то необхідність у логічному кодуванні відпадає.

Питання

1 Опишіть алгоритм визначення типу кадру в технології Ethernet.

2 Опишіть механізм апаратної адресації в технології Ethernet.

3 Дайте визначення поняттю "масштабованість мережі".

4 Нарисуйте формат кадру Ethernet SNAP з зазначенням розмірів полів і їх функціональним призначенням.

5 Нарисуйте формат кадру Ethernet DIX з зазначенням розмірів полів і їх функціональним призначенням.

6 Визначте відмінності у форматах кадрів Raw і Ethernet 802.3/LLC.

7 Дайте повну назву методу доступу до середовища передачі даних, що використовується в технології Ethernet.

8 Визначте, до яких типів методів доступу належить метод доступу, що використовується в технології Ethernet.

9 Назвіть основні чинники, що визначають "обличчя" мережної технології.

10 Визначте дії, що виконуються мережним адаптером після виявлення колізії.

11 Як поводить ся карта мережного адаптера вузла, що передає кадр, після виявлення колізії?

12 Скільки спроб передачі кадру виконує карта мережного адаптера після виявлення колізії?

13 Назвіть максимальну кількість вузлів у мережі Ethernet.

14 Дайте визначення поняттю "домен колізій".

15 Чим викликані обмеження на максимальний діаметр мережі Ethernet?

16 Дайте визначення поняттю "вікно колізій".

17 Опишіть алгоритм ідентифікації типу кадру у технології Ethernet.

18 Назвіть типи фізичних адрес в технології Ethernet.

19 Яким чином ідентифікується тип фізичної адреси вузла призначення в технології Ethernet?

20 Визначте відмінності в адресації на фізичному рівні вузла-джерела і вузла призначення.

ЛЕКЦІЯ 5. ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ: ВИСОКОШВИДКІСНІ ETHERNET-ТЕХНОЛОГІЇ

Якою б високою не здавалася швидкість передачі даних по мережі, настає час, коли її виявляється недостатньо.

5.1 Технологія Fast Ethernet

На початку 1990-х рр. стала відчуватися недостатня пропускна спроможність класичного 10-мегабітного Ethernet. Швидкість обміну з мережею (10 Мбіт/с) стала значно меншою від швидкості внутрішньої шини комп'ютера, яка забезпечувала обмін зі швидкістю, що перевищує 100 Мбіт/с (шина PCI підтримувала передачу даних зі швидкістю 133 Мбайт/с). Це призводило до сповільнення роботи не тільки серверів, але і робочих станцій, які також стали використовувати шину PCI. У результаті в 1995 р. і виникла (стала стандартом IEEE) технологія Fast Ethernet, що зберегла більшість властивостей класичного Ethernet, у тому числі і метод доступу CSMA/CD. Комітет IEEE 802.3 прийняв специфікацію Fast Ethernet як стандарт 802.3u, який не є самостійним стандартом, а став доповненням до стандарту 802.3.

Оскільки всі основні особливості класичного Ethernet успадковані технологією Fast Ethernet, то відмінності між цими технологіями, що забезпечують передачу даних зі швидкістю 100 Мбіт/с, зосереджені на Фізичному рівні. Підрівні MAC і LLC Канального рівня залишилися тими самими, тому при вивченні технології Fast Ethernet досить розглянути декілька варіантів її реалізації на Фізичному рівні.

5.1.1 Фізичний рівень технології Fast Ethernet

На Фізичному рівні технологія допускає декілька варіантів реалізації з різними середовищами. Для всіх середовищ справедливі такі твердження:

- формати кадрів технології Fast Ethernet не відрізняються від форматів кадрів класичного 10-мегабітного Ethernet;
- міжкадровий інтервал дорівнює 0,96 мкс, а бітовий інтервал - 0,01 мкс (10 нс). Всі часові параметри (міжкадровий інтервал, інтервал відстрочки, час передачі кадру мінімальної довжини і т. п.), виміряні в бітових інтервалах (bt), залишилися без змін;
- ознакою вільного стану мережі є передача по ній символа простою джерела – відповідного надмірного коду, а не відсутність сигналу, як у стандарті Ethernet.

Фізичний рівень включає три елементи (рисунок 5.1):

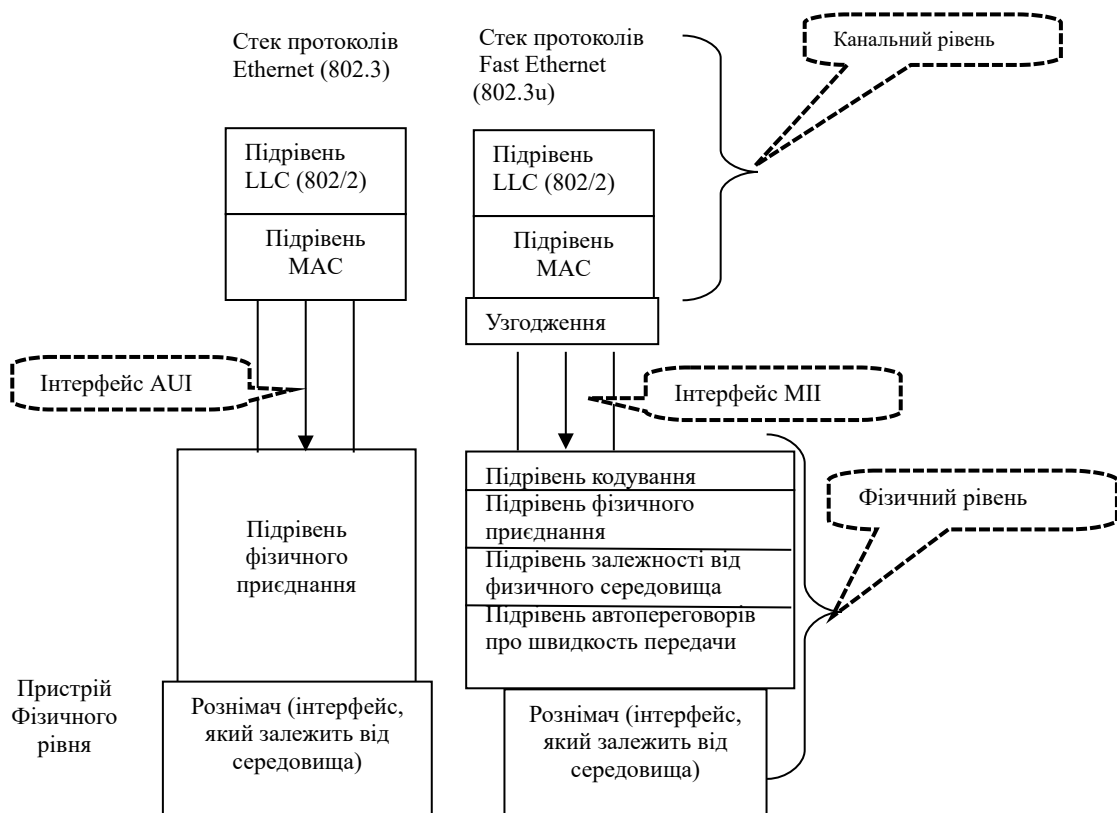


Рисунок 5.1 – Відмінності технологій Ethernet та Fast Ethernet

- незалежний від середовища інтерфейс (*Media Independed Interface, MII*);
- рівень узгодження, який потрібен для того, щоб MAC-підрівень Канального рівня, розрахований на AUI-інтерфейс, міг працювати з Фізичним рівнем через інтерфейс MII;
- пристрій фізичного рівня (*Physical Layer Device, PHY*), що складається в свою чергу з декількох підрівней;
 - підрівень логічного кодування даних, що перетворює байти, що надходять від MAC-підрівня, в символи коду 4В/5В або 8В/6Т (обидва коди використовуються в технології Fast Ethernet);
 - підрівень фізичного з'єднання і залежності від фізичного середовища (PMD), які забезпечують формування сигналів відповідно до методів фізичного кодування, наприклад NRZ1 або MLT-3;
 - підрівень автопереговорів, який дозволяє двом взаємодіючим портам автоматично вибрати найбільш ефективний режим роботи, наприклад півдуплексний або дуплексний.

Інтерфейс MII підтримує незалежний від середовища спосіб обміну даними між підрівнями MAC і PHY (рисунок 5.2).

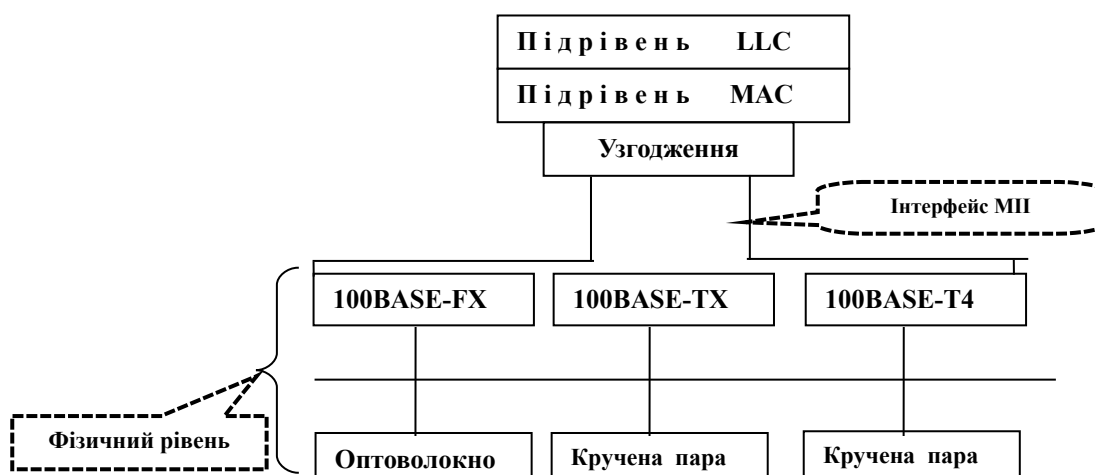


Рисунок 5.2. – Структура фізичного рівня Fast Ethernet

Цей інтерфейс аналогічний за призначенням інтерфейсу АUI класичної технології Ethernet. Виключення полягають у тому, що інтерфейс АUI розташовується між підрівнем фізичного кодування сигналу (для будь-яких варіантів кабелю використовується однаковий код фізичного кодування) і підрівнем фізичного приєднання до середовища, а інтерфейс МП розташовується між підрівнем MAC і підрівнем кодування сигналу, яких у Fast Ethernete три – FX, TX і T4.

Офіційний стандарт 802.3 встановив три різних специфікації для Фізичного рівня Fast Ethernet і дав їм такі назви:

- *100BASE-TX* для двопарного кабелю на неекранованій крученій парі (UTP) категорії 5 або екранованій крученій парі (STP) типу 1;
- *100BASE-T4* для чотирипарного кабелю на неекранованій крученій парі UTP категорій 3, 4 або 5;
- *100BASE-FX* для багатомодового оптоволоконного кабелю з двома волокнами.

Між специфікаціями 100BASE-FX, 100BASE-TX і 100BASE-T4 багато спільного, тому часто при описі особливостей різних специфікацій однакові для них властивості даються під узагальненою назвою, наприклад 100BASE-FX/TX або 100BASE-TX/T4.

5.1.2 Специфікація 100BASE-FX

Визначає роботу протоколу Fast Ethernet по багатомодовому оптоволоконному кабелю в півдуплексному та дуплексному режимах. На відміну від Ethernet, для подання даних на Фізичному рівні визначений метод кодування 4В/5В, що перетворює 4-бітові порції кодів MAC-підрівня (що називаються символами) в 5-бітові порції Фізичного рівня. Цей метод кодування був з успіхом використаний у технології FDDI, а потім без змін перенесений у специфікації 100BASE-FX/TX. Після перетворення 5-бітові порції подаються у вигляді оптичних або електричних сигналів у кабелі. У специфікації 100BASE-FX для цього використовується метод NRZI, а для специфікації 100BASE-TX – MLT-3.

Метод кодування 4В/5В породжує заборонені комбінації символів, що підвищує стійкість роботи мереж 100BASE-FX/ТХ за рахунок відкидання помилкових символів. Так, у Fast Ethernet ознакою вільного стану середовища є не відсутність несучої, а передача одного із заборонених для кодування призначених для користувача даних. Цей символ прийнято називати ознакою простою джерела Idle (11111). Такий спосіб дозволяє приймачу завжди знаходитися в синхронізмі з передавачем.

Для відділення кадру від потоку символів простою джерела використовується комбінація символів J(11000) і K(10001) коду 4В/5В як початковий обмежувач кадру, а після завершення кадру перед першим символом простою джерела вставляється символ Т (рисунок 5.3)

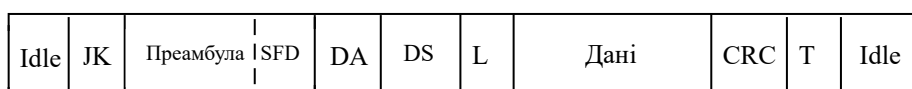


Рисунок 5.3 – Потік даних специфікацій 100BASE-FX/ТХ

5.1.3 Специфікація 100BASE-TX

Середовищем передачі даних у специфікації 100BASE-TX є або неекранована кручена пара 5-ї категорії, або екранована кручена пара типу 1 (за класифікацією ІВМ). Основні відмінності від специфікації 100BASE-FX (разом з уже згадуваним методом кодування MLT-3) – наявність режиму автопереговорів для вибору режиму роботи порту. Режим автопереговорів дозволяє двом фізично з'єднаним пристроям, що підтримують декілька стандартів Фізичного рівня, які мають різні швидкості передачі і різні кількості кручених пар, погодити найбільш вигідний режим роботи. Частіше за все процедура автопереговорів використовується, коли мережний адаптер, підтримуючий швидкості передачі 10 Мбіт/с і 100 Мбіт/с, приєднується до концентратора або комутатора.

У цей час визначено п'ять режимів, які підтримуються пристроями 100BASE-TX/Т4 на кручених парах:

- 10BASE-T;

- дуплексний режим 10BASE-T;
- 100BASE-TX;
- 100BASE-T4;
- дуплексний режим 100BASE-TX.

Режим 10BASE-T має найнижчий пріоритет при переговорах, а дуплексний режим 100BASE-TX – найвищий. Переговорний процес відбувається при вмиканні живлення, але може бути ініційований у будь-який момент модулем управління пристрою. Пристрій, що розпочинає процес переговорів, посилає своєму партнеру пачку спеціалізованих сигналів FLP (Fast Link Pulse), в яких міститься 8-бітовий код режиму взаємодії, що пропонується, починаючи з найпріоритетнішого, що підтримується цим вузлом. Якщо вузол-партнер не підтримує режим, що пропонується, він вказує у своїй відповіді наступний (по убутанню) за ступенем пріоритетності режим і цей режим вибирається як робочий.

5.1.4 Специфікація 100BASE-T4

Використовується кручена пара 3-ї категорії (4 пари). Специфікація народилася пізніше за дві попередні, основною метою яких був розвиток стандарту 10BASE-T і 10BASE-F на двох лініях передачі даних: двох парах або двох волокнах. При передачі по двох парах для досягнення швидкості 100 Мбіт/с довелося перейти на більш якісний кабель – кручену пару 5-ї категорії.

У цей же час розробники конкуруючої технології 100VG-AnyLAN спочатку зробили ставку на кручену пару третьої категорії, перевага якої була не стільки у вартості, скільки в тому, що вона була прокладена в більшості будівель. Конкуренція і примусила розробників Fast Ethernet розробити свій варіант Фізичного рівня для крученої пари категорії 3, яким і стала специфікація 100BASE-T4.

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

смугу не укладається). Суть кодування 8В/6Т полягає в тому, що 8 бітів даних МАС-підрівня кодуються 6 трійковими цифрами. Кожна трійкова цифра має тривалість 40 нс. Група з 6 трійкових цифр потім передається послідовно на одну з трьох кручених пар. Четверта пара завжди використовується для прослуховування несучою з метою виявлення колізій.

Швидкість передачі по кожній з трьох передавальних пар – 33,3 Мбіт/с, тому сумарна швидкість дорівнюватиме 100 Мбіт/с. У той же час швидкість зміни сигналу (через прийнятий метод кодування) складатиме лише 25 Мбод, що і дозволяє використовувати кручену пару третьої категорії.

5.1.5 Правила побудови Fast Ethernet при використанні повторювачів

Як і всі варіанти Ethernet, технологія Fast Ethernet розрахована на використання повторювачів-концентраторів для утворення зв'язків у мережі. Правила коректної побудови сегментів мереж Fast Ethernet включають:

- обмеження на максимальну довжину сегмента між пристроями-джерелами нових кадрів;
- обмеження на максимальну довжину сегментів, що з'єднують пристрій-джерело нових кадрів з портом повторювача;
- обмеження на максимальний діаметр мережі;
- обмеження на максимальне число повторювачів і максимальну довжину сегмента, що з'єднує повторювачі.

Обмеження на максимальну довжину сегмента між пристроями – джерелами нових кадрів. У ролі таких пристроїв можуть виступати мережний адаптер, порт моста/комутатора, порт маршрутизатора, модуль управління мережею та інші подібні пристрої.

Обмеження, що розглядається, стосується тільки випадку, коли мережний адаптер безпосередньо сполучається з портом моста/комутатора або маршрутизатора, а також коли порти мостів, комутатори і маршрутизатори сполучаються між собою.

Максимальні значення довжини сегментів між пристроями-джерелами нових кадрів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Стандарт	Тип кабелю	Максимальна довжина сегмента
100Base- TX	UTP категорії 5	100 м
100Base- FX	Багатомодове оптоволоконно 62.5/125 мкм	412 м (півдуплекс), 2 км (дуплекс)
100Base- T4	UTP категорій 3, 4 або 5	100 м

Обмеження мереж Fast Ethernet на повторювачах. Повторювачі (концентратори) Fast Ethernet поділяють на два класи:

- *повторювачі класу I* підтримують обидва типи кодування даних (як 4В/5В, так і 8В/6Т). Вони здатні виконувати трансляцію логічних кодів зі швидкістю 100 Мбіт/с. Тому повторювачі класу I можуть мати порти всіх трьох типів фізичного рівня: 100BASE- FX, 100Base- TX і 100Base-T4;

- *повторювачі класу II* підтримують тільки який-небудь один тип кодування – або 4В/5В, або 8В/6Т. Повторювачі цього класу мають або всі порти 100Base-T4, або порти 100Base-TX і 100Base-FX, оскільки останні використовують один і той самий логічний код 4В/5В.

В одному домені колізій допускається використання тільки одного повторювача класу I, тому що такий повторювач вносить велику затримку (70 бітових інтервалів) при передачі сигналів через необхідність трансляції різних систем кодування.

Повторювачі класу II вносять значно меншу затримку – 46 бітових інтервалів для портів FX/TX і 33,5 бітових інтервали для портів T4. При таких обмеженнях у домені колізій може бути вже два повторювачі класу II. Нижче в таблиці 5.2 наведено обмеження на довжину сегмента і максимальний діаметр мережі Fast Ethernet на повторювачі класу I, а на рисунку 5.4 ці обмеження проілюстровані типовими конфігураціями мереж.

Таблиця 5.2 – Обмеження на довжину сегментів

Типи кабелів	Максимальний діаметр мережі, м	Максимальна довжина сегмента, м
Тільки кручена пара (TX)	200	100
Тільки оптоволоконний	272	136

кабель (FX)		
Декілька сегментів на крученій парі та один на оптоволокні	260	100(TX), 160(FX)
Декілька сегментів на крученій парі та декілька на оптоволокні	272	100(TX), 136(FX)

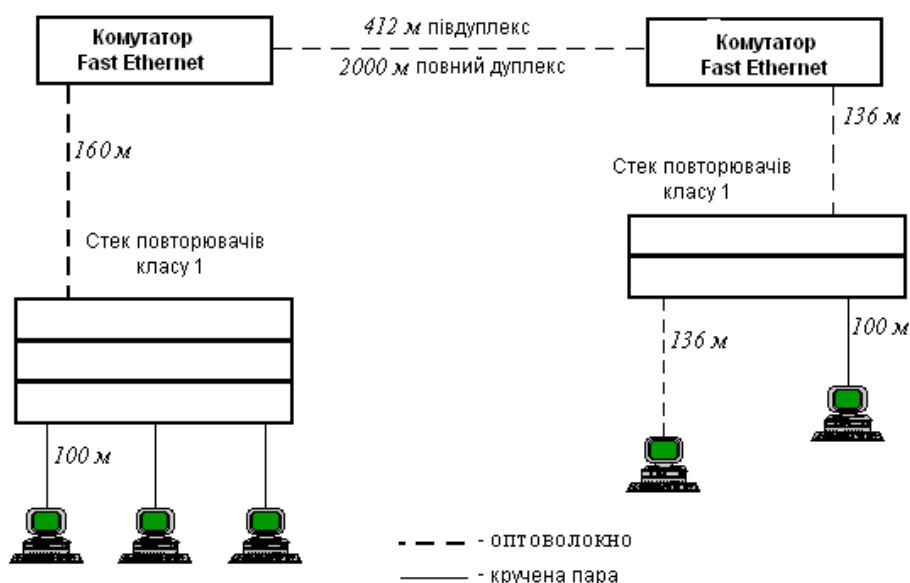


Рисунок 5.4. Типова конфігурація мережі на повторювачах класу 1

Жорсткі обмеження на кількість повторювачів у мережах Fast Ethernet не є серйозною перешкодою при побудові великих мереж, оскільки застосування комутаторів і маршрутизаторів сегментує мережу, розбиває її на декілька доменів колізій, кожний з яких може бути побудований на одному або двох повторювачах. При використанні комутаторів і маршрутизаторів ніяких обмежень на загальну довжину мережі немає.

5.2 Технологія Gigabit Ethernet

У 1996 р. було оголошено про створення групи 802.3z для розроблення технології, максимально наближеної до Ethernet, але що має швидкість 1000 Мбіт/с. Стандарт 802.3z був остаточно прийнятий у 1998 р.

Сам факт досягнення подібної швидкості не був новим – у територіальних мережах таку швидкість забезпечувала технологія SDH, а в локальних – технологія Fibre Channel. Технологія Fibre Channel використовується для підключення високошвидкісної периферії до великих комп'ютерів і передає дані по оптоволоконному кабелю зі швидкістю, близькою до гігабітної. У цій технології використовується метод кодування 8B/10B, який і був прийнятий як перший варіант фізичного рівня в Gigabit Ethernet.

У зв'язку зі складністю забезпечення гігабітної швидкості на крученій парі 5-ї категорії роботи зі створення подібного стандарту були передані проблемній групі 802.3ab, яка успішно справилася з цією роботою і варіант Gigabit Ethernet на крученій парі 5-ї категорії був прийнятий.

Основна ідея розробників перебувала в максимальному збереженні ідей класичної технології Ethernet при досягненні бітової швидкості 1000 Мбіт/с. Порівняно з технологіями Ethernet і Fast Ethernet технологія Gigabit Ethernet має таку спільність:

- зберігаються всі формати кадрів Ethernet;
- як і раніше, існує півдуплексна версія протоколу, підтримуюча метод доступу CSMA/CD. Збереження недорогого рішення на основі середовища, що розподіляється, дозволяє застосовувати Gigabit Ethernet в невеликих робочих групах, що мають швидкі сервери і робочі станції;
- підтримуються всі основні види кабелів, що використовуються в технологіях Ethernet і Fast Ethernet: волоконно-оптичний, неекранована кручена пара 5-ї категорії, екранована кручена пара.

Реалізація функцій класичного стандарту Ethernet на швидкості 1000 Мбіт/с зажадала вирішення декількох складних завдань:

- *забезпечення прийняттого діаметра мережі для роботи на середовищі, що розподіляється.* У зв'язку з обмеженнями, що накладаються методом доступу CSMA/CD на діаметр домена колізій, версія Gigabit Ethernet допускала б довжину сегмента всього в 25 м при збереженні розміру кадрів і всіх параметрів методу CSMA/CD незмінними. Таким чином, встала проблема

збільшення діаметра мережі за рахунок мінімальних змін в технології Ethernet;

- досягнення бітової швидкості 1000 Мбіт/с на оптичному кабелі. Технологія Fibre Channel, Фізичний рівень якої був взятий за основу оптоволоконної версії Gigabit Ethernet, забезпечує швидкість передачі даних у 800 Мбіт/с;

- використання як середовища передачі даних крученої пари. Така задача, на перший погляд, здається нерозв'язною – адже навіть для 100-мегабітних протоколів потрібні досить складні методи кодування, щоб укласти спектр сигналу в пропускну спроможність кабелю.

Для вирішення цих проблем розробникам технології Gigabit Ethernet довелося внести зміни не тільки у фізичний рівень, як це було у випадку Fast Ethernet, але і в MAC-підрівень.

5.2.1 Забезпечення діаметра мережі у двісті метрів насередовищі, що розподіляється

Оскільки всі тимчасові характеристики, які виміряні в бітових інтервалах, в Gigabit Ethernet повністю співпадають з часовими характеристиками класичного Ethernet, то при збереженні мінімального розміру кадру домен колізій в Gigabit Ethernet скорочується до 25 м. Мережі з таким розміром у більшості випадків цілком неприйнятні, тому, щоб подолати названу межу, IEEE запропонував для Gigabit Ethernet збільшити мінімальний розмір кадру.

Мінімальний розмір кадру без урахування преамбули був збільшений з 64 до 512 байтів або 4096 бітів. Відповідно час обороту був збільшений до 4095 бітових інтервалів, що збільшує діаметр мережі приблизно до 200 м при використанні одного повторювача.

Для збільшення довжини кадру до необхідної в новій технології величини мережний адаптер повинен доповнити поле кадру на 448 байтів так званим розширенням, що являє собою поле, яке заповнено нулями. Замість того, щоб заповнювати корисну частину кадру (поле даних) некорисною інформацією, у

цей стандарт вводиться нова характеристика, що отримала назву розширення несучої (carrier extension) (рисунок 5.5).



Рисунок 5.5 – Розширення несучої в Gigabit Ethernet

Формально розмір кадру не змінився, він, як і раніше, дорівнює 64 байтам, але це пояснюється тим, що поле розширення вміщується після контрольної суми (CRC). Відповідно це поле не включається в контрольну суму і не враховується при указанні довжини поля даних у полі довжини. Поле розширення є просто розширенням сигналу несучої частоти, необхідним для коректного виявлення колізій.

Передбачимо, наприклад, що Gigabit Ethernet-станція виявляє, що середовище передачі вільне і намагається передати 512-бітовий кадр. Мережна плата додає до кінця кадру розширення, що складається з 3584 бітів. Іншим станціям Gigabit Ethernet відомо, що ці біти не несуть якої-небудь інформації, однак вважаються частиною кадру. Коли станція-приймач отримує такий кадр, вона відкидає розширення несучої. Завдяки цьому процесу невеликі кадри можна передавати, не турбуючись про загрозу виникнення запізнілої колізії.

Метод розширення несучої вирішує проблему збільшення діаметра мережі (приблизно до 200 м), однак він породжує іншу проблему. Для кожного переданого кадру розміром 512 бітів передаються також у 7 раз більш численні біти розширення несучої. Це явне марнотратство. Для зниження "накладних витрат" стандарт наказує, в якості додаткового режиму, використати так званий режим пульсацій (burst mode) (рисунок 5.6).

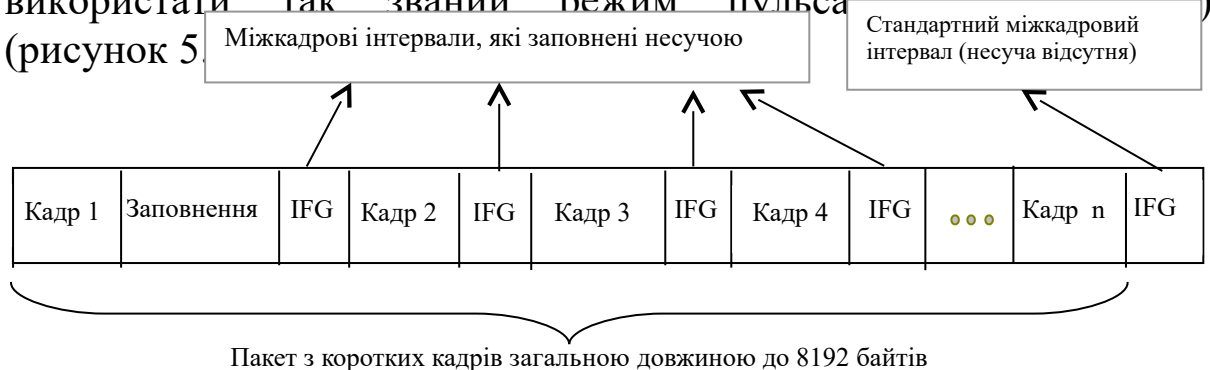


Рисунок 5.6 – Метод пакетування в режимі пульсацій

У режимі пульсацій при передачі дуже коротких кадрів розробники стандарту дозволили кінцевим вузлам передавати декілька кадрів підряд без передачі середовища іншим станціям. Якщо станції треба передати декілька невеликих кадрів, то вона може не доповнювати кожний кадр до 512 байтів, а передавати декілька кадрів підряд до вичерпання межі в 8192 байти (у цю межу входять всі байти кадру, у тому числі і преамбула). Межа в 8192 байти називається довжиною пульсації. Якщо станція почала передавати кадр і межа пульсацій була досягнута посеред кадру, то кадр передається до кінця. Збільшення поєданого кадру до 8192 байтів дещо затримує доступ до середовища передачі інших вузлів, але при швидкості 1000 Мбіт/с ця затримка мало істотна.

Режим пульсацій дозволяє об'єднувати невеликі кадри в пакети. Міжкадрові інтервали всередині пакета заповнюються бітами розширення несучої. Інші станції чекають черги на передачу, аналізуючи міжкадрові інтервали (interframe gaps, IFG), при цьому, якщо вони виявляють несучу, утримуються від передачі. Стандарт дозволяє передавати до 8192 байтів у пакетному режимі, перш ніж буде сформований стандартний міжкадровий інтервал. При використанні цього механізму спочатку передається маленький кадр розміром 4096 бітів (включаючи біти розширення несучої). Це робиться для того, щоб уникнути виникнення колізій з кадрами, переданими іншими станціями. Після успішної передачі першого кадру подальші міжкадрові інтервали заповнюються бітами розширення.

5.2.2 Специфікації фізичного середовища стандарту IEEE 802.3z

У стандарті 802.3z визначені такі типи фізичного середовища:

- одномодовий оптоволоконний кабель;
- багатомодовий оптоволоконний кабель 62.5/125 мкм;
- багатомодовий оптоволоконний кабель 50/125 мкм;
- екранований збалансований мідний кабель.

Для багатомодового оптоволоконного кабелю стандарт 802.3z визначає специфікації 1000Base-SX і 1000Base-LX. У першому випадку використовується довжина хвилі 850 нм (S означає Short Wavelength). А у другому – 1300 нм (L – Long Wavelength). Специфікація 1000Base-SX може використати тільки багатомодовий кабель, при цьому його максимальна довжина становить тільки 500 м.

Специфікація 1000BASE-LX може використовувати як багатомодовий кабель (максимальна відстань до 500 м), так і одномодовий (максимальна відстань залежить від потужності передавача і якості кабелю і може дійти до декількох десятків кілометрів).

Як середовище передачі даних у специфікації 1000BASE-SX визначений екранований збалансований мідний кабель з хвильовим опором 150 Ом. Максимальна довжина сегмента становить всього 25 м, тому ця специфікація підходить тільки для з'єднання обладнання, розташованого в одній кімнаті.

5.2.3 Gigabit Ethernet на крученій парі категорії 5

Для передачі по такому кабелю зі швидкістю 1000 Мбіт/с було вирішено організувати паралельну передачу одночасно по всіх чотирьох парах кабелю. Це відразу знизило швидкість передачі до 250 Мбіт/с, але і для такої швидкості необхідно було вигадати метод кодування, який мав би спектр не вище за 100 МГц.

Для кодування даних був застосований код PAM5, в якому п'ять рівнів потенціалу: -2, -1, 0, 1, 2. Тому за одну осциляцію (за один такт) по одній парі передається 2,322 біта інформації ($\log_2 5$). Отже, для досягнення швидкості в 250 Мбіт/с тактову частоту 250 МГц можна зменшити в 2,322 разу. Розробники взяли більш

високу частоту 125 МГц і при такій тактовій частоті код РАМ5 має спектр більш вузький, ніж 100 МГц, тобто він може бути переданий по крученій парі категорії 5 без спотворень.

На початку 1990-х рр. основою для ліній зв'язку, що використовуються в стандарті Ethernet, був коаксіальний кабель. Подібні лінії дозволяли передавати дані зі швидкістю 10 Мбіт/с. Недоліки такої лінії – досить висока вартість через трудомістку технологію виготовлення, обмежена смуга пропускання і невелика довжина сегмента. І якщо третій недолік не відіграє великої ролі для локальних мереж, то інші два вельми істотні. Як альтернатива була запропонована кручена пара, яка, будучи дешевшою, забезпечувала велику смугу пропускання. На найближчі роки потреби локальних мереж були забезпечені. Для об'єднання локальних мереж у більш великі кручена пара не підходить через малу довжину сегмента. Тут лідируючі позиції займає оптичне волокно, яке забезпечує довжину сегмента від 2 (багатомодове волокно) до 20 км (одномодове волокно). На сьогоднішній день основним носієм у локальних мережах є саме кручена пара. Оптичне волокно через високу вартість термінального обладнання поки не набуло такого ж широкого, як і кручена пара, розповсюдження.

Внаслідок вибухових темпів розвитку мережної галузі важко оцінити час життя тієї або іншої технології. Однак у найближчі декілька років компанії, що мають локальні мережі, які базуються на скрученій парі категорії 5, зможуть без особливих зусиль наростити пропускну спроможність, використовуючи вже існуючі кабельні системи. Це зажадає мінімальних фінансових вливань і витрат праці.

Питання

1 Які середовища передачі даних використовуються в технології Fast Ethernet?

2 Які особливості класичного Ethernet успадковані технологією Fast Ethernet?

3 Чим відрізняються ознаки вільного стану середовища передачі даних у технологіях Ethernet і Fast Ethernet?

4 Сформулюйте призначення інтерфейсу МІІ в технології Fast Ethernet.

5 Сформулюйте призначення рівня узгодження в технології Fast Ethernet?

6 Назвіть підрівні Фізичного рівня в технології Fast Ethernet.

7 Які функції виконує підрівень автопереговорів у технології Fast Ethernet?

8 Дайте загальну характеристику специфікації 100BASE-FX.

9 Дайте загальну характеристику специфікації 100BASE-TX.

10 Дайте загальну характеристику специфікації 100BASE-T4.

11 Яке кодування на логічному рівні використовується в специфікації 100BASE-FX?

12 Яке кодування на логічному рівні використовується в специфікації 100BASE-TX?

13 Яке кодування на логічному рівні використовується в специфікації 100BASE-T4?

14 Яке кодування на Фізичному рівні використовується в специфікації 100BASE-FX?

15 Яке кодування на Фізичному рівні використовується в специфікації 100BASE-TX?

16 Назвіть режими, що підтримуються пристроями 100BASE-TX/T4.

17 Перерахуйте правила побудови мережі Fast Ethernet при використанні повторювачів.

18 Яким чином забезпечується допустимий діаметр мережі в технології Gigabit Ethernet?

19 Дайте визначення поняттю "режим пульсацій" у технології Gigabit Ethernet?

20 Яким чином забезпечується швидкість у 1000 Мбіт/с на крученої парі 5-ї категорії в технології Gigabit Ethernet?

ЛЕКЦІЯ 6. ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ: TOKEN RING I FDDI

6.1 Технологія Token Ring

У цій лекції ми розглянемо дві технології локальних мереж, що використовують загальний принцип доступу до середовища передачі даних – маркерний.

Технологія Token Ring була розроблена компанією IBM в 1984 р., а потім передана як проект стандарту в комітет IEEE 802, який на її основі прийняв в 1985 р. стандарт 802.5.

Мережі Token Ring використовують маркерний метод доступу до середовища передачі даних, мають кільцеву топологію і працюють з двома бітовими швидкостями – 4 і 16 Мбіт/с. Змішування станцій у кільці, працюючих з різними швидкостями, не допускається. Мережі Token Ring, працюючі зі швидкостями 16 Мбіт/с, мають деяку відмінність (раннє відпущення маркера) в методі доступу порівняно з мережами, працюючими зі швидкостями 4 Мбіт/с.

Технологія Token Ring більш складна, ніж Ethernet, але володіє деякими початковими властивостями відмовостійкості: у ній визначені процедури контролю роботи мережі, які спираються на властивості *зворотного зв'язку* (кільцеподібна структура спочатку має ці властивості), – кадр, відправлений у мережу, завжди повертається до вузла-відправника. У деяких випадках виникаючі в роботі мережі помилки можуть бути виявлені і відновлені автоматично, наприклад може бути відновлений втрачений маркер. В інших випадках автоматично виявлені помилки усуваються вручну обслуговуючим персоналом.

Для контролю роботи мережі одна зі станцій бере на себе функції так званого *активного монітора*. Активний монітор вибирається під час ініціалізації кільця. Критерієм вибору служить максимальне значення MAC-адреси. Активний монітор кожні три секунди генерує спеціальний кадр, що свідчить про працездатність активного монітора, тобто свідчить про те, що мережа знаходиться під контролем. Якщо протягом 7 с кадр, підтверджуючий працездатність активного монітора, не виявляється, то активізується процедура вибору нового активного монітора.

6.1.1 Доступ з передачею маркера

Розділення середовища в мережах Token Ring здійснюється за допомогою передачі в мережу спеціального службового кадру, що називається маркером. Жоден з вузлів мережі не має права передавати кадр своїх даних доти, поки не отримає маркер. Отримання маркера вузлом свідчить про вільність середовища передачі даних. Якщо вузол, що отримав маркер, не має підготовленого для передачі в мережу кадру призначених для користувача даних, він відправляє маркер своєму сусіду по кільцю (всі кадри, як службові, так і кадри даних, вузол отримує від "сусіда" (умовно) праворуч і передає їх сусіду зліва (рисунок 6.1).

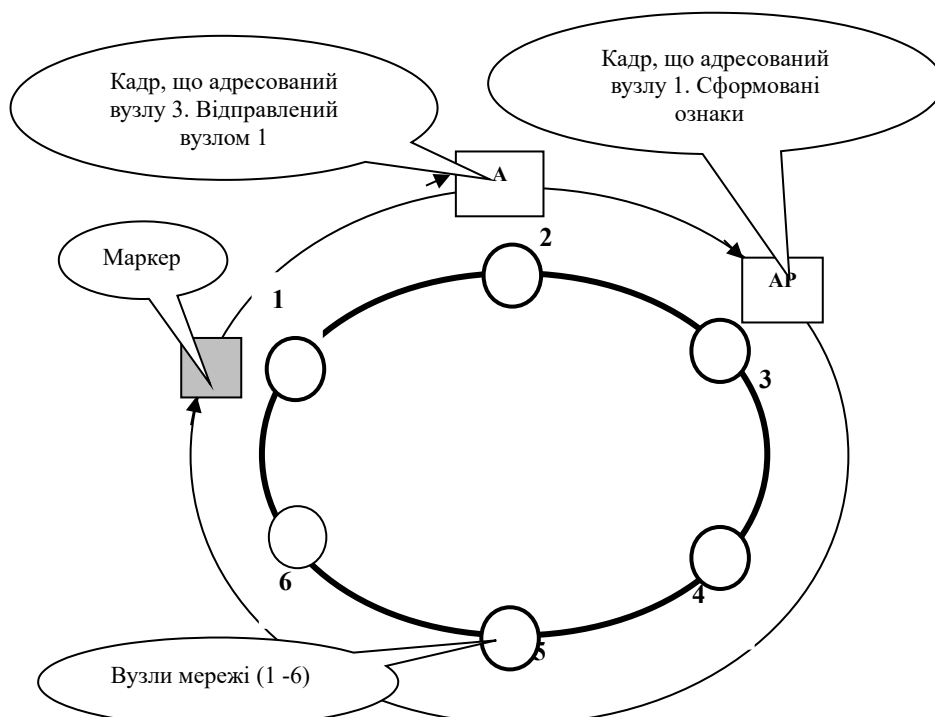


Рисунок 6.1 – Розподілення середовища в мережі

Token Ring

В іншому випадку вузол, що має готовий для передачі кадр даних встановленого формату (про формат кадру див. п. 6.1.2), втримує маркер і замість нього відправляє в мережу кадр призначених для користувача даних (у деяких літературних джерелах кажуть не про утримання маркера, а про посилення замість нього кадру даних). Формування часу затримки маркера відрізняється в мережах Token Ring, працюючих зі швидкістю 4 Мбіт/с і мережах, працюючих зі швидкістю 16 Мбіт/с.

Розглянемо спочатку алгоритм розподілення середовища в мережах, працюючих зі швидкістю 4 Мбіт/с. Вузол, який отримав маркер як ознаку вільності середовища і має підготовлений для передачі кадр призначених для користувача даних, втримує маркер і замість нього побітно посилає підготовлений кадр своєму "сусіду" по кільцю. Вузол, той, що отримав кадр, виділяє адресу призначення і порівнює її зі своєю власною MAC-адресою. Якщо адреси не співпали, то карта вузла, що отримав кадр, працює як повторювач – відновлює сигнал і відправляє його далі по кільцю. Ця процедура продовжується доти, поки кадр не досягне вузла призначення. Вузол призначення, розпізнавши адресований йому кадр, копіює його в буфер і формує дві ознаки: ознаку розпізнавання адреси вузла-одержувача й ознаку копіювання кадру в буфер. Обидві ознаки розміщуються у відповідних полях початкового кадру, після чого кадр відправляється далі по кільцю. Переміщуючись по кільцю від вузла до вузла, кадр досягає вузла-відправника, який ідентифікує його як власний за MAC-адресою комп'ютера-джерела. Встановлені комп'ютером-одержувачем ознаки кажуть вузлу-відправнику про те, що відправлений ним у мережу кадр потрапив до адресата (була розпізнана адреса вузла призначення) і був успішно скопійований у його буфер. На рисунку 6.2 зображений описаний алгоритм доступу до середовища.

Час володіння середовищем, що розподіляється, обмежений і його прийнято називати *часом утримання маркера*. По закінченні цього часу вузол зобов'язаний припинити передачу своїх даних і передати маркер сусіду по кільцю. При цьому, якщо час утримання маркера закінчується до того, як буде завершена передача кадру, дозволяється завершити передачу кадру (вузол може передати один або декілька кадрів за час утримання маркера. Кількість переданих кадрів залежить від довжини кадрів і величини часу утримання маркера).

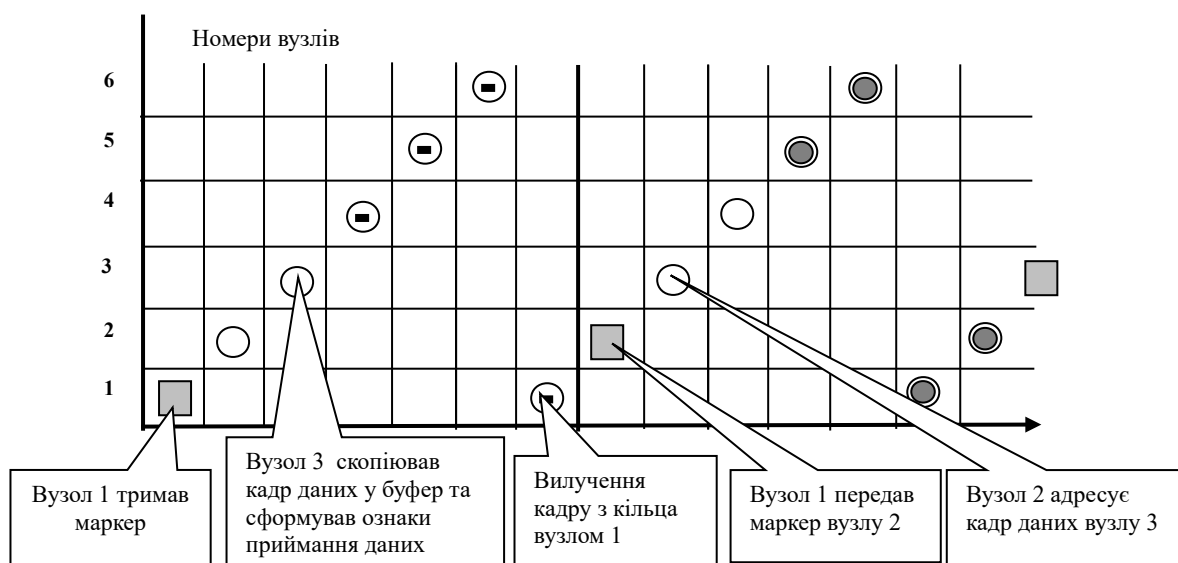


Рисунок 6.2 – Доступ з передачею маркера

Звичайно, за умовчанням, час утримання маркера дорівнює 10 мс, а максимальний розмір кадру для мереж, працюючих зі швидкістю 4 Мбіт/с, дорівнює 4 кбайт, а для мереж, працюючих зі швидкістю 16 Мбіт/с – 16 кбайт. Ці обмеження на максимальний розмір кадру (хоч вони і не визначені в стандарті 802.5) пов'язані з тим, що передавальний вузол за час утримання маркера (10 мс) повинен встигнути передати хоч би один кадр. Максимальні розміри кадрів вибрані з деяким запасом. Насправді при швидкості передачі, що дорівнює 4 Мбіт/с, за час утримання маркера 10 мс можна передати 5000 байтів ($0,01 \text{ с} * (4 * 10^6 \text{ біт/с}) / 8 = 5000 \text{ байтів}$), а при швидкості 16 Мбіт/с – 20000 байтів.

Другий варіант алгоритму доступу до середовища передачі даних у стандарті 802.5 використовується в мережах, працюючих зі швидкістю 16 Мбіт/с. Він отримав назву *алгоритм ранього*

звільнення маркера. Відповідно до цього алгоритму вузол, що отримав маркер після передачі свого кадру, не втримує маркер до повернення кадру з ознаками розпізнавання і буферизації, а передає його своєму сусіду по кільцю відразу ж після передачі останнього біта кадру. Таким чином, по кільцю можуть одночасно передаватися кадри, відправлені декількома вузлами. У цьому випадку пропускна спроможність кільця використовується більш ефективно, але принцип розподілення середовища зберігається, оскільки в кожний момент часу тільки одна станція (та, яка втримує маркер) може передавати свої дані. Інші станції в цей час тільки ретранслюють чужі кадри.

Для різних видів повідомлень, що передаються кадрами, можуть призначатися різні пріоритети: від 0 (нижчий) до 7 (вищий). Рішення про пріоритет конкретного кадру приймає передавальна станція (протокол Token Ring отримує цей параметр через міжрівневі інтерфейси від протоколу прикладного рівня). Маркер завжди має деякий рівень поточного пріоритету. Вузол має право захопити і втримувати переданий йому маркер тільки в тому випадку, якщо пріоритет кадру, який він хоче передати, вище або дорівнює рівню пріоритету маркера. В іншому випадку вузол зобов'язаний передати кадр наступному по кільцю вузлу. Пріоритетний доступ до кільця в технології Token Ring призначений для підтримки вимог QoS-програм. Однак розробники програм для локальних мереж практично ним не користуються.

Для нормальної роботи мережі в ній обов'язково повинен бути маркер, причому єдина його копія. Стеження за наявністю в мережі маркера здійснює активний монітор. Якщо активний монітор протягом заданого часу (наприклад, 2,6 с) не отримує маркер, то він генерує новий.

На відміну від мереж з CSMA/CD доступом (наприклад, Ethernet) в IEEE 802.5 гарантується стабільність пропускної спроможності (немає зіткнень). Мережа Token Ring ідеальна для програм, де затримка отримання інформації повинна бути передбачуваною і потрібна висока надійність. Мережі Token Ring мають вбудовані засоби діагностики, вони більш пристосовані для розв'язання задач реального часу, але в той же час більш дорогі.

6.1.2 Формат кадру технології Token Ring

Формат кадру технології Token Ring зображений на рисунку 6.3.

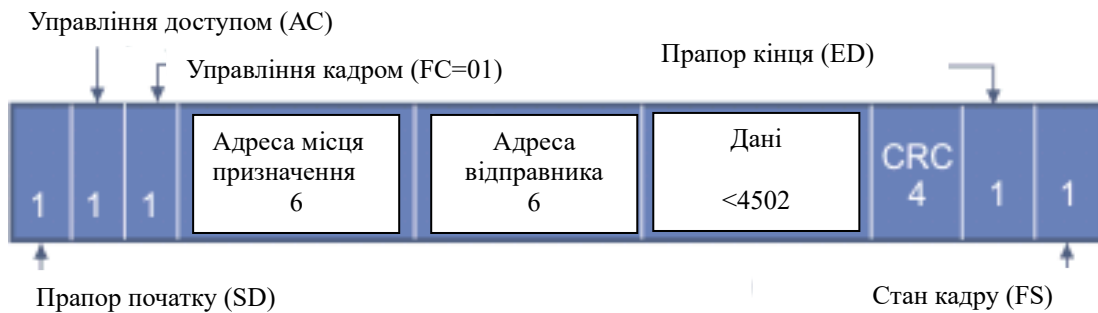


Рисунок 6.3 – Формат інформаційного кадру IEEE 802.5

Прапор початку (SD, Start Delimiter) – стартовий роздільник, сигналізує про початок кадру.

Управління доступом (AC, Access Control) – вказує на пріоритет кадру і на те, що передається – кадр маркера або кадр даних.

Управління кадром (FC, Frame Control) – містить інформацію Управління доступом до середовища (для всіх комп'ютерів) або інформацію "кінцевої станції" (тільки для одного комп'ютера).

Адреса місця призначення – адреса вузла-одержувача.

Адреса відправника – адреса вузла-відправника.

Дані – дані, що передаються, в які включається і LLC-заголовок.

CRC – контрольна послідовність. Обчислюється за тим самим алгоритмом, який використовується в технології Ethernet.

Прапор кінця (ED, End Delimiter) – кінцевий роздільник, сигналізує про кінець кадру.

Стан кадру (FS, Frame Status) – статус кадру, повідомляє вузлу-відправнику, чи був розпізнаний і скопійований кадр (чи була розпізнана адреса вузла-одержувача).

6.1.3 Фізичний рівень технології Token Ring

Стандарт Token Ring фірми IBM спочатку передбачав організацію зв'язків між вузлами за допомогою концентраторів, які в цій технології називаються *пристроями багатостанційного доступу* (Multi Station Eccess Unit, MAU або MSAU) (рисунок 6.4).

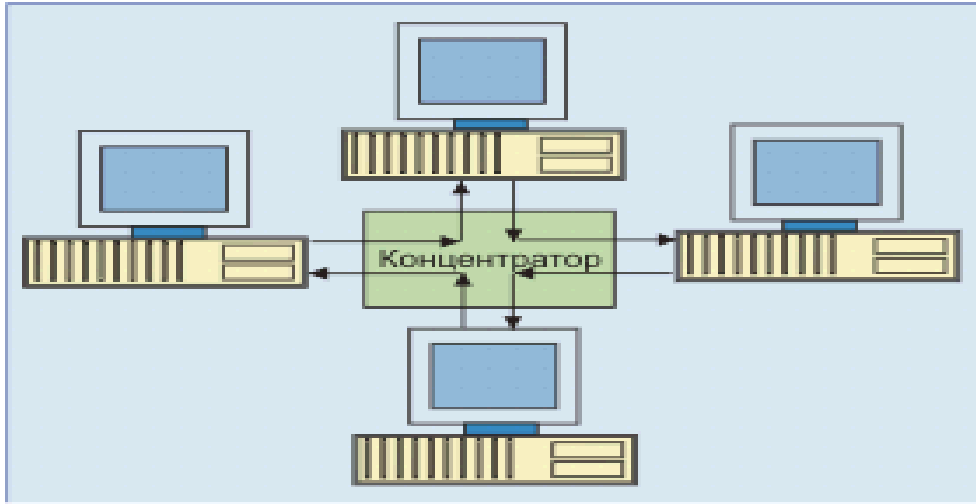


Рисунок 6.4 – З'єднання вузлів за допомогою концентраторів

Як видно з рисунка фізична топологія цієї технології (якщо не звертати уваги на комутацію кручених пар всередині концентратора) – зірка, але всередині концентратора кручені пари на кожному порту з'єднані таким чином, що передача даних здійснюється по кільцю від вузла до вузла. У ролі середовища передачі даних використовується, як правило, екранована кручена пара (STP) типу 1 (класифікація фірми IBM) і неекранована пара (UTP) типу 3 (за тією самою класифікацією), а також допускається оптоволокно.

При стандартних часових настройках мережа Token Ring може включати до 260 вузлів, яку на одному концентраторі побудувати не можна. Для побудови такої мережі використовуються декілька концентраторів, що з'єднуються таким чином, щоб зв'язки між концентраторами і вузлами утворювали кільце (рисунок 6.5).

Для утворення кільця з концентраторів MAU кожний з них, крім портів для підключення вузлів (комп'ютерів) мережі, має

два порти для з'єднання концентраторів один з одним: вхідний порт (Ring In) і вихідний порт (Ring Out).

Концентратор Token Ring може бути активним і пасивним. *Пасивний концентратор* просто з'єднує порти внутрішніми зв'язками так, щоб мережні вузли, ті, що підключаються до цих портів, утворювали кільце. Ні відновлення сигналів, ні їх ресинхронізацію пасивний концентратор не виконує.

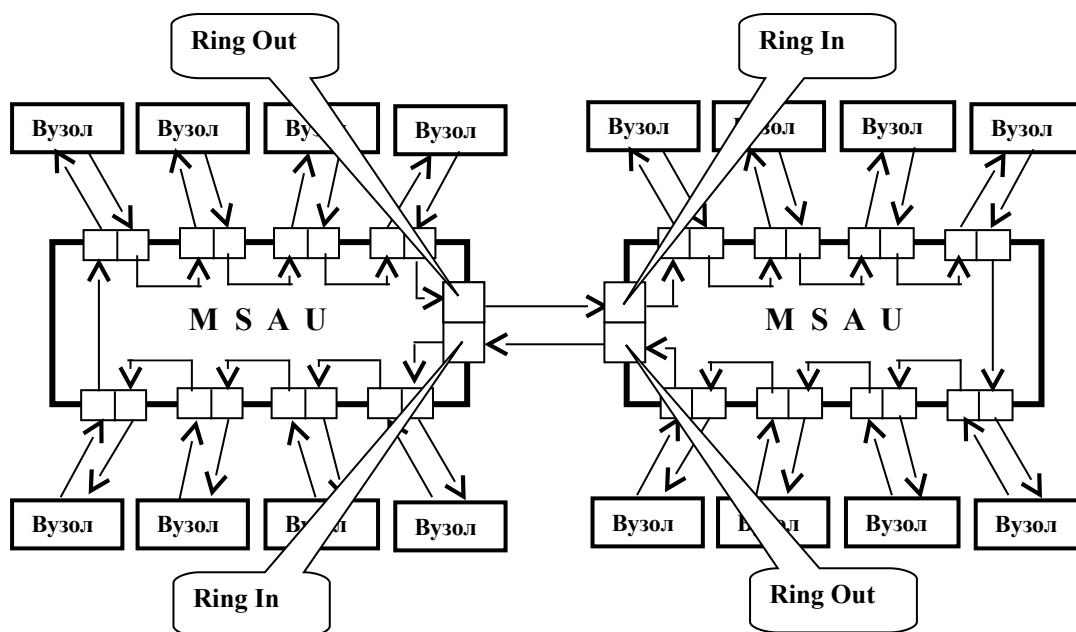


Рисунок 6.5 – З'єднання концентраторів в мережі Token Ring

Він відіграє роль кросового (що з'єднує) пристрою за одним винятком – MSAU забезпечує обхід будь-якого порту, якщо до нього не підключений вузол або вузол вимкнений (на нього не подано живлення). Така функція необхідна для забезпечення цілісності кільця незалежно від стану пристроїв, що підключаються до нього. Звичайно обхід порту виконується за рахунок релейних схем, які живляться постійним струмом від мережного адаптера. При вимкненні мережного адаптера нормально замкнені контакти реле з'єднують вхід порту з його виходом. При відключенні комп'ютера від концентратора (при витяганні рознімача) вхід і вихід шунтуються, забезпечуючи тим самим обхід незадіяного порту. При використанні пасивних концентраторів функції повторювачів виконують мережні

адаптери, що мають блок повторення, здатний регенерувати і синхронізувати сигнали. Однак функції регенерації може виконувати тільки активний монітор.

Активний концентратор є повторювачем, він виконує функції регенерації сигналу.

У технології Token Ring для з'єднання вузлів і концентраторів використовуються різні види кабелів: STP типу 1, UTP типу 3, UTP типу 6, а також оптоволоконний кабель (всі типи скручених пар – з номенклатури кабельної системи IBM). При використанні екранованої крученої пари в кільце допускається об'єднувати до 260 вузлів при довжині кабелю до 100 м, а при використанні неекранованої пари кількість вузлів скорочується до 72, а довжина відгалужених кабелів до 45 м.

Максимальна відстань між пасивними концентраторами становить 100 м при використанні STP типу 1 та 45 м – при використанні UTP типу 3. Між активними концентраторами максимальна відстань збільшується до 730 м при використанні STP і 365 м – при використанні UTP.

Обмеження на максимальну довжину кільця і кількість вузлів у кільці в технології Token Ring не є такими жорсткими, як у технології Ethernet. У технології Token Ring всі обмеження пов'язані з часом обороту маркера. Так, обмеження кількості вузлів у кільці (не більше за 260) пов'язане з часом утримання маркера 10 мс і тайм-аутом, що визначає час повернення маркера в активний монітор (2,6 с). Оскільки мережні адаптери Token Ring дозволяють налаштувати значення тайм-аутів, то можна побудувати мережу Token Ring з довжиною кільця і кількістю вузлів, що перевищує стандартні обмеження.

6.2 Технологія FDDI

Технологія FDDI (Fiber Distributed Date Interface – розподілений інтерфейс передачі даних по оптоволокну) була розроблена в 1986-1988 рр. інститутом ANSI (American National Standard Institute – американський національний інститут стандартів) і була першою технологією локальних мереж, в якій у ролі середовища передачі даних став застосовуватися

оптоволоконний кабель. Технологія забезпечує передачу даних зі швидкістю 100 Мбіт/с по двійчастому оптоволоконному кільцю довжиною до 100 км.

6.2.1 Основні характеристики технології FDDI

Технологія FDDI заснована на технології Token Ring. Розробники технології переслідували такі цілі:

- підвищити бітову швидкість до 100 Мбіт/с;
- підвищити відмовостійкість мережі за рахунок стандартних процедур відновлення її після відмов різного роду – пошкодження кабелю, некоректної роботи вузла, концентратора; виникнення високого рівня перешкод на лінії і т. п.;
- максимально ефективно використати потенційну пропускну спроможність мережі як для асинхронного, так і для синхронного (чутливого до затримок) трафіків.

Мережа FDDI будується на основі двох оптоволоконних кілець, які утворюють основний і резервний шляхи передачі даних між вузлами. Наявність двох кілець – це основний засіб підвищення відмовостійкості.

Вузли, які хочуть скористатися цим підвищеним потенціалом надійності, повинні бути підключені до обох кілець. У технології FDDI для передачі світлових сигналів по світлових волокнах на логічному рівні реалізовано кодування 4В/5В, а на фізичному – NRZI. Ця схема призводить до передачі по лінії зв'язку з тактовою частотою 125 МГц.

У *нормальному* режимі роботи мережі дані проходять через всі вузли і через всі ділянки кабелю тільки першого кільця. Цей режим називають *ковзним* або *транзитним*. Повторне кільце в цьому режимі не використовується.

У разі якої-небудь відмови, коли частина первинного кільця не може передавати дані (внаслідок, наприклад, обриву кабелю або відмови вузла), первинне кільце об'єднується з повторним, знов утворюючи єдине кільце (рисунок 6.6). Цей режим роботи мережі називають режимом *згортання кілець*. Операція

згортання здійснюється засобами концентраторів та/або мережних адаптерів FDDI. Для спрощення цієї процедури дані передаються по первинному кільцю завжди в одному і тому самому напрямі (на діаграмах цей напрям завжди зображується проти годинникової стрілки), а по повторному – у зворотному (зображується за годинниковою стрілкою). Такий режим передачі при утворенні загального кільця з двох кілець дозволяє передавачам вузлів залишатися підключеними до приймачів сусідніх вузлів так, як це було і до згортання кілець. У технології FDDI багато уваги приділяється різним процедурам, які дозволяють виявити відмову в мережі, а потім зробити реконфігурацію. Мережа FDDI повністю відновлює працездатність у разі одиничних відмов її елементів. При множинних відмовах мережа розпадається на декілька не зв'язаних мереж.

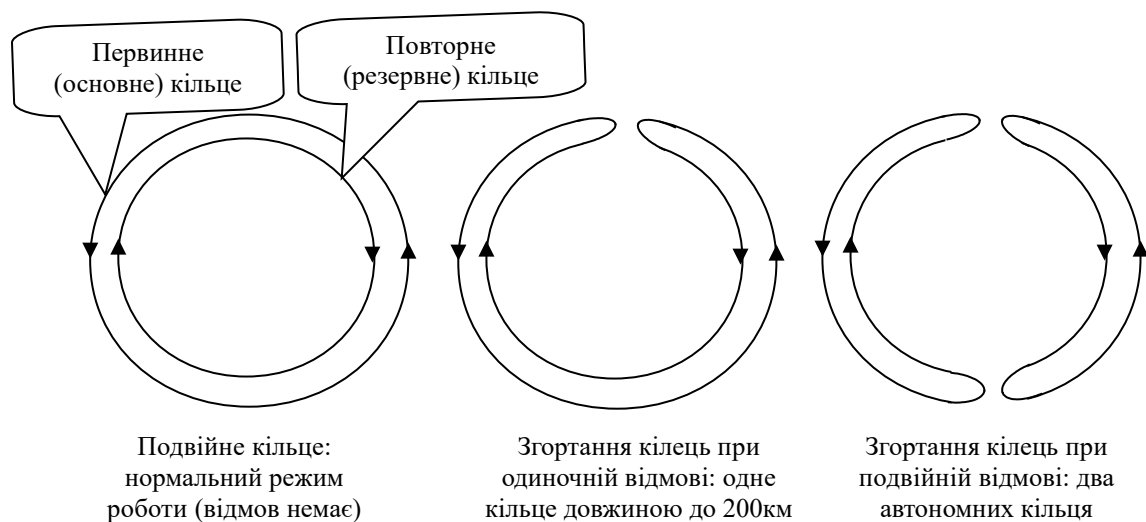


Рисунок 6.6 – Реконфігурація кілець у технології FDDI при відмовах

Кільця в мережах FDDI розглядаються як загальне середовище передачі даних, що розподіляється. Метод доступу до такого середовища дуже близький до методу доступу, що використовується в мережах Token Ring. Вузли в мережі FDDI використовують *алгоритм раннього звільнення маркера*, як у мережі Token Ring, працюючій зі швидкістю 16 Мбіт/с.

Відмінності в методах доступу:

- час утримання маркера не є величиною постійною, як у мережі Token Ring. Цей час залежить від завантаження кільця – при невеликому завантаженні воно зростає, а при великому може зменшуватися до нуля. Однак ця зміна використовується тільки для асинхронного трафіка, якому не заважають невеликі затримки передачі кадрів. Для синхронного ж трафіка час утримання маркера, як і раніше, залишається величиною фіксованою;

- механізм пріоритетів кадрів, прийнятий у Token Ring, у технології FDDI відсутній. Розробники технології вирішили, що розподілення трафіка на 8 рівнів надмірно і що досить розділити трафік на два класи – асинхронний і синхронний, останній з яких реалізується завжди, навіть при перевантаженнях кільця.

У всьому іншому передача кадрів між вузлами кільця на MAC-підрівні повністю відповідає технології Token Ring.

Технологія FDDI визначає протокол Фізичного рівня і протокол доступу до середовища (MAC-підрівень) Канального рівня. Також використовується протокол LLC-підрівня Канального рівня. Специфічною особливістю технології FDDI є рівень *адміністрування станції* (Station Management, SMT). Саме цей рівень виконує всі функції з моніторингу і адміністрування всіх інших рівнів стеку протоколів FDDI. У керуванні кільцем бере участь кожний вузол мережі FDDI. Тому всі вузли обмінюються спеціальними SMT-кадрами для керування мережею.

6.2.2 Відмовостійкість технології FDDI

У технології FDDI визначено два типи кінцевих вузлів – станції і концентратори (рисунок 6.7). Для підключення станцій і концентраторів може бути використаний один з двох можливих способів:

- *подвійне підключення* (Dual Attachment, DA) – одночасне підключення до первинного і повторного кілець; станція і концентратор, підключені таким чином, називаються відповідно станцією подвійного підключення (Dual Attachment Station, DAS)

і концентратором подвійного підключення (Dual Attachment Concentrator, DAC);

- *одиначне підключення* (Single Attachment, SA) – підключення тільки до первинного кільця; станція і концентратор, підключені таким чином, називаються відповідно станцією одиначного підключення (Single Attachment Station, SAS) і концентратором одиначного підключення (Single Attachment Concentrator, SAC).

Звичайно, хоч і необов'язково, концентратори мають подвійне підключення, а станції – одиначне. Щоб полегшити правильне підключення до мережі пристроїв, їх рознімачі маркіруються. Рознімачі типу А і В повинні бути у пристроїв з подвійним підключенням; рознімач М (Master) є у концентратора для одиначного підключення станції, у якої рознімач у відповідь повинен мати тип S (Slave).

У разі однократного обриву кабелю між пристроями з подвійним підключенням мережа FDDI зможе продовжувати нормальну роботу за рахунок автоматичної реконфігурації внутрішніх шляхів передачі даних між портами концентратора.

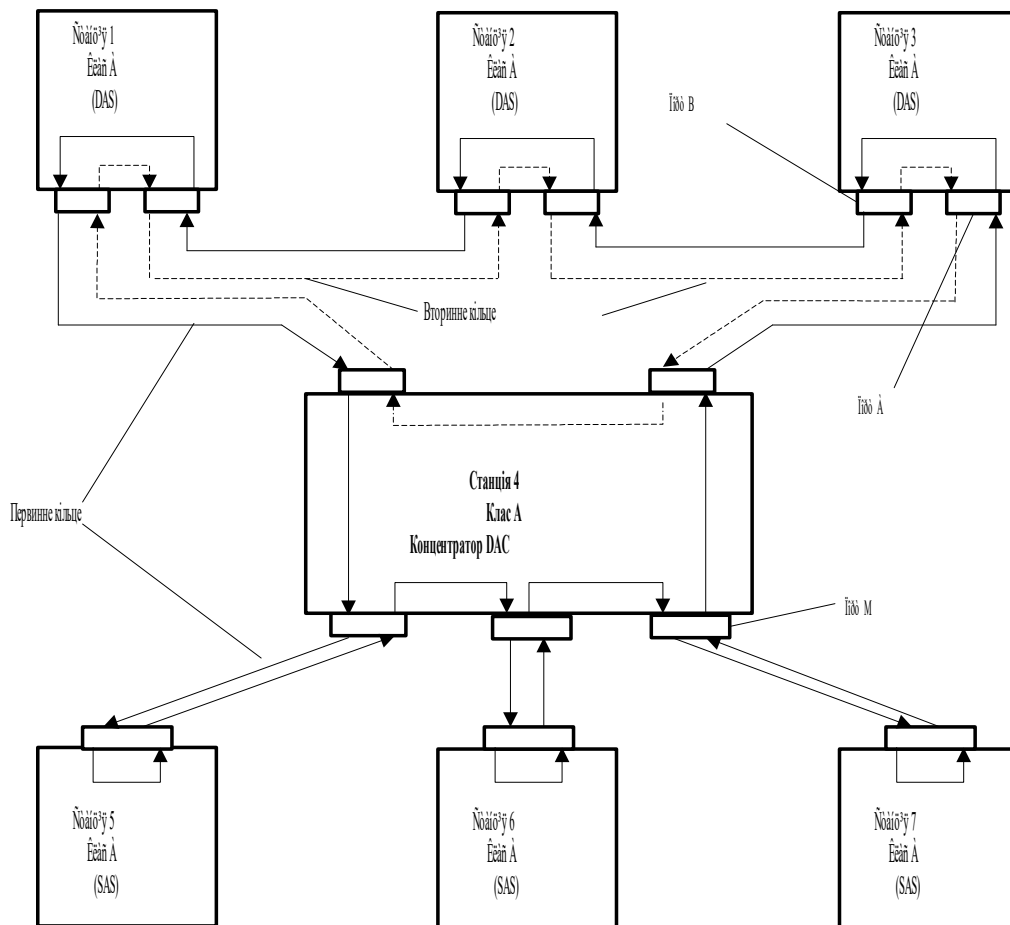


Рис. 6.7. Двократний обхідний шлях мережі FDDI

Двократний обрив кабелю призведе до утворення двох ізольованих мереж FDDI (рис. 6.8). При обриві кабелю, що веде до станції з одиночним підключенням, вона виявляється відрізаною від мережі, а кільце продовжує працювати за рахунок реконфігурації внутрішнього шляху в концентраторі – порт М, до якого була підключена станція, виключається із загального шляху.

Для збереження працездатності мережі при вимкненні живлення в станції з подвійним підключенням вона повинна бути оснащена оптичним обхідним перемикачем, який створює резервний шлях для обхідних потоків.

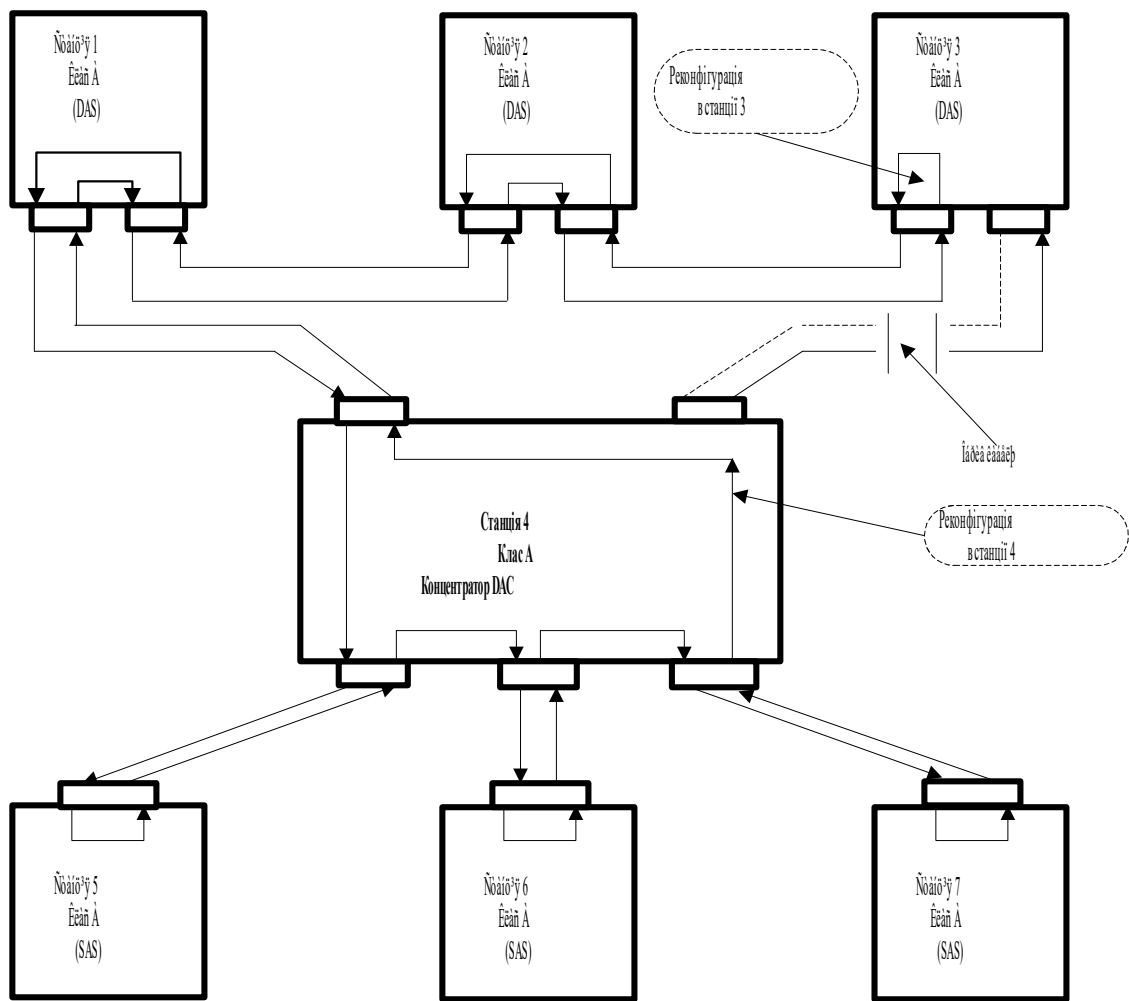


Рис. 6.8. Структура мережі FDDI класу А

Станції DAS і концентратори DAC можна підключати до портів М одного або двох концентраторів, створюючи деревоподібну структуру з основними і резервними зв'язками. За умовчанням порт В підтримує основний зв'язок, а порт А – резервний. Така конфігурація називається *двопортовим підключенням*.

Відмовостійкість підтримується за рахунок постійного стеження рівнем SMT концентраторів і станцій за часовими інтервалами циркуляції маркера і кадрів, а також за наявністю фізичного з'єднання між сусідніми портами в мережі. У мережі FDDI немає виділеного активного монітора – всі станції і концентратори рівноправні, при виявленні відхилень від норми вони починають процес повторної ініціалізації мережі, а потім і її реконфігурації.

Максимальна довжина кільця в мережі – 100 км, максимальна кількість вузлів з подвійним підключенням – 500.

Основною областю застосування технології FDDI стали магістралі мереж, що складаються з декількох будівель, а також мережі масштабу великого міста.

Питання

1 Опишіть алгоритм вибору активного монітора в технології Token Ring.

2 У яких випадках здійснюється вибір активного монітора в технології Token Ring?

3 Опишіть алгоритм доступу до середовища передачі в мережі Token Ring, працюючій зі швидкістю 4 Мбіт/с.

4 Опишіть алгоритм доступу до середовища передачі в мережі Token Ring, працюючій зі швидкістю 16 Мбіт/с.

5 Назвіть максимальний розмір поля даних у мережі Token Ring, працюючій зі швидкістю 4 Мбіт/с.

6 Назвіть максимальний розмір поля даних у мережі Token Ring, працюючій зі швидкістю 16 Мбіт/с.

7 Нарисуйте формат кадру Token Ring з зазначенням призначення полів і їх розмірів у байтах.

8 Накресліть схему мережі Token Ring на двох MAU.

9 Назвіть типи концентраторів у технології Token Ring і опишіть їх особливості.

10 Скільки вузлів може бути в мережі Token Ring на неекранованій крученій парі?

11 Скільки вузлів може бути в мережі Token Ring на екранованій крученій парі?

12 Яку максимальну довжину може мати сегмент у мережі Token Ring на неекранованій крученій парі?

13 Яку максимальну довжину може мати сегмент у мережі Token Ring на екранованій крученій парі?

14 Яким може бути максимальна відстань у мережі Token Ring між двома пасивними концентраторами?

15 Яким може бути максимальна відстань у мережі Token Ring між двома активними концентраторами ?

16 Поясніть, яким чином забезпечується збереження кільця в технології Token Ring при виході з ладу вузла або його вимкнення від MAU.

17 Поясніть, яким чином виявляється відмова активного монітора і відновлення кільця в мережі Token Ring.

18 Опишіть відмінності в методах доступу в технологіях Token Ring і FDDI.

19 Назвіть максимальну довжину кільця в технології FDDI і максимальну кількість вузлів з подвійним підключенням.

20 Поясніть суть режиму згортання кілець у технології FDDI.

ЛЕКЦІЯ 7. БЕЗПРОВОДОВІ ЛОКАЛЬНІ МЕРЕЖІ

*Безпроводова локальна мережа*_(Wireless local area network) – локальна мережа, що не використовує кабель, у якій передача сигналів здійснюється через ефір. Безпроводові локальні мережі поділяються на локальні радіомережі і локальні інфрачервоні мережі.

7.1 Загальна характеристика безпроводових мереж

Зараз безпроводові локальні мережі розглядаються як доповнення до проводових локальних мереж, а не як конкурентне рішення. Ставлення до безпроводових мереж не завжди було таким – в середині 1990-х рр. панувала думка, що майбутнє за безпроводовими мережами, що з часом все більша кількість локальних мереж буде переходити на безпроводові технології. Переваги безпроводових локальних мереж очевидні: їх простіше і дешевше розгортати і модифікувати, оскільки вся громіздка кабельна інфраструктура стає зайвою. Ще одна перевага – забезпечення мобільності користувачів. Разом з тим безпроводові мережі створюють і велику кількість проблем, які несе з собою нестійке і непередбачуване безпроводове середовище. Дійсно, перешкоди від різноманітних побутових приладів та інших телекомунікаційних систем, атмосферні перешкоди і відображення сигналів створюють великі труднощі для надійного приймання інформації. Локальні мережі – це, передусім, мережі будівель, а розповсюдження сигналу всередині будівлі набагато складніше, ніж поза ним. Розподіл інтенсивності сигналу всередині будівлі, мало того, що він нерівномірний, але він ще і динамічний – при переміщенні об'єктів у кімнаті розподіл сигналу в кімнаті може істотно змінюватися.

Нерівномірний розподіл інтенсивності сигналу призводить не тільки до бітових помилок інформації, що передається, але і до *невизначеності зони покриття* безпроводової локальної мережі. Безпроводова локальна мережа не має точної зони покриття. З цієї причини навіть у разі технології, розрахованої на немобільні вузли мережі, безпроводові локальні мережі не є повнозв'язними (рисунок 7.1). Дійсно, навіть якщо вважати, що сигнал розповсюджується ідеально у всі боки, утворенню повнозв'язної топології може заважати те, що радіосигнал затухає пропорційно квадрату відстані від джерела і тому деякі пари вузлів не зможуть діяти один з одним через те, що будуть розташовуватися за межами зон покриття передавачів партнерів.

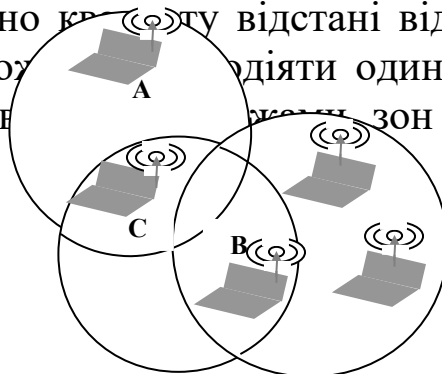


Рисунок 7.1 – Спеціалізована безпроводова мережа

Неповнозв'язність безпроводової мережі породжує проблему доступу до середовища, що розподіляється, відому під назвою *прихованого терміналу*. Якщо два вузли (А і В) знаходяться відносно один одного поза зонами досяжності, але існує третій вузол С, здатний приймати сигнали як від А, так і від В, то традиційний для технології Ethernet метод доступу CSMA/CD, заснований на прослуховуванні несучої, призведе до різкого зростання колізій порівняно з проводовими мережами. Розпізнавання колізій ускладнене в радіомережі ще і тому, що сигнали власного передавача подавляють сигнали віддаленого передавача і розпізнати спотворення сигналу частіше за все неможливо. Тому в методах доступу в безпроводових мережах відмовляються не тільки від розпізнавання несучої, але і від розпізнавання колізій. Замість цього в них використовують методи попередження колізій (CSMA/CA), у тому числі і *методи опитування*.

Застосування базової станції (рисунок 7.2) поліпшує зв'язність.

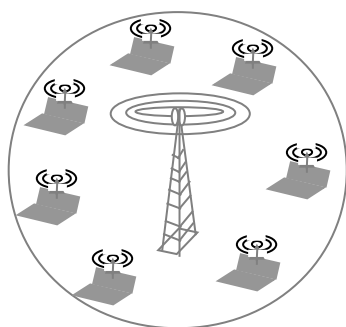


Рисунок 7.2 – Безпроводова мережа з базовою станцією

Базова станція звичайно має більшу потужність, а її антена встановлюється так, щоб більш рівномірно покривати потрібну територію. У результаті всі вузли мережі мають можливість обмінюватися з базовою станцією, яка транзитом передає дані між вузлами.

Незважаючи на зусилля, спрямовані на зниження рівня перешкод і на зменшення впливу перешкод на корисний сигнал, у всіх випадках, коли нічого не заважає застосуванню проводових локальних мереж, організації прибігають саме до такого варіанта. У цей час безпроводові локальні мережі вважаються перспективними там, де використання проводових мереж з яких-небудь причин вважається неможливим або недоцільним. Такими причинами можуть бути:

- відсутність в операторів зв'язку проводового доступу до клієнтів, що проживають у багатоквартирних будинках;
- розгорнення локальних мереж у будівлях, де заборонено використання кабелів (наприклад, у будівлях, що мають історичну або архітектурну цінність, у музеях, суспільних приймальних і т. п.);
- створення тимчасових локальних мереж, наприклад, при проведенні конференцій;
- розширення локальних мереж. Іноді будівлі, в яких розгортається мережа, можуть розташовуватися так, що одне з них знаходиться на такій відстані, що прокласти до нього кабель може виявитися не вигідним, а безпроводовий зв'язок може виявитися більш доцільним рішенням;
- мобільні локальні мережі. Зручні в тому випадку, якщо користувач хоче користуватися послугами мережі, переміщуючись з приміщення в приміщення (наприклад, лікар, що здійснює обхід з ноутбуком і бажає мати оперативний зв'язок з базою даних лікарні) або з будівлі в будівлю.

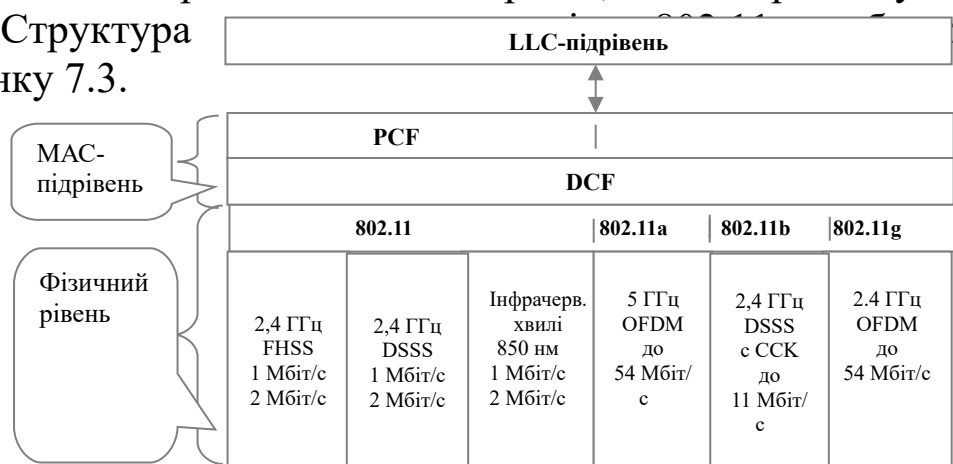
Поки безпроводові мережі не претендують на таке покриття територій, як мобільний зв'язок (мобільні телефонні мережі), але перспективи подібні є. Мобільний стільниковий зв'язок другого покоління не може скласти конкуренцію безпроводовим

технологіям у створенні територіальних мобільних стільникових мереж, через те що вона спочатку створювалася для передачі голосу і можливості мобільного зв'язку другого покоління з передачі даних обмежуються в декілька кілобіт у секунду, у той час як безпроводові локальні мережі забезпечують швидкості в декілька десятків мегабіт у секунду. Однак у мобільних стільникових системах зв'язку третього покоління швидкості можуть зрости до декількох мегабіт у секунду і конкуренція між ними і технологіями безпроводових локальних мереж може виявитися досить гострою.

7.2 Стеки протоколів безпроводових локальних мереж

Як і розглянуті раніше технології локальних мереж, безпроводові мережі охоплюють два нижніх рівні мережної моделі OSI – Канальний і Фізичний, тобто повністю відповідають структурі стандартів IEEE 802. Розробленням стандартів безпроводових мереж займаються декілька організацій (наприклад, ETSI розробив стандарт HIPERLAN 1), але найбільшу і безперечну популярність має стандарт 802.11. Як і у всіх технологій локальних мереж, всі відмітні особливості стандарту 802.11 зосереджені на Фізичному і MAC-підрівні Канального рівня, а LLC-підрівень виконує свої спільні для всіх технологій локальних мереж функції.

На Фізичному рівні існує декілька специфікацій, які відрізняються частотним діапазоном, що використовується, методом кодування і швидкістю передачі даних. Всі варіанти Фізичного рівня працюють з одним і тим самим алгоритмом MAC-підрівня, але деякі часові параметри MAC-підрівня залежать від варіанта Фізичного рівня, що використовується.

Структура  на рисунку 7.3.

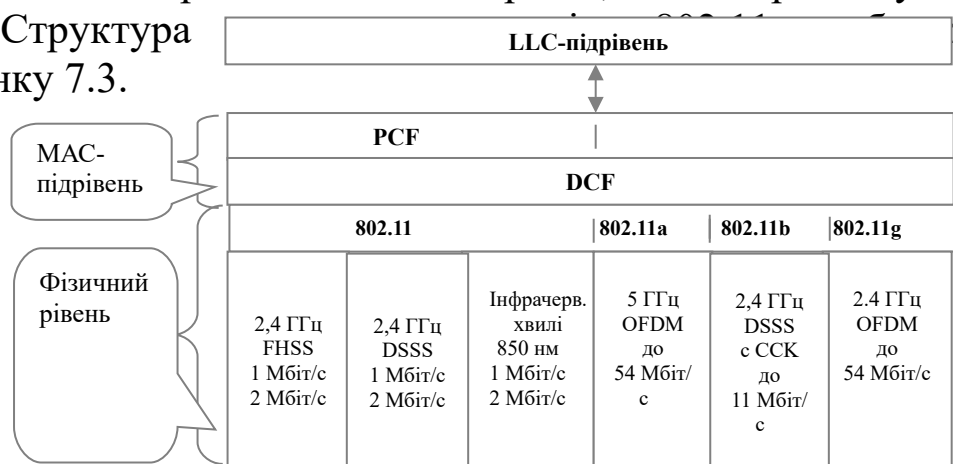


Рисунок 7.3 – Стек протоколів IEEE 802.11

У мережах 802.11 MAC-підрівень забезпечує два режими доступу до середовища: розподілений режим DCF (Distributed Coordination Function) і централізований режим PCF (Point Coordination Function).

Стандарт 802.11 був прийнятий у 1997 р. і визначив функції MAC-підрівня для трьох варіантів Фізичного рівня, що забезпечують швидкість передачі в 1 і 2 Мбіт/с:

- передавальне середовище – *мікрохвильовий діапазон 2,4 ГГц*. Заснований на методі FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum – метод розширення спектра стрибкоподібною перебудовою частоти.). У цьому методі кожний канал має ширину 1 МГц. Частотна модуляція з двома станами (частотами) забезпечує швидкість передачі в 1 Мбіт/с, а з чотирма станами – 2 Мбіт/с. При використанні FHSS мережа може складатися зі стільників. Кількість каналів і частота перемикання між каналами настроюються;

- передавальне середовище – *мікрохвильовий діапазон 2,4 ГГц*. Заснований на методі DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum – метод прямого послідовного розширення спектра), при якому кожний біт кодується шляхом двійкової фазової (забезпечує швидкість в 1 Мбіт/с) або квадратурної фазової (забезпечує швидкість у 2 Мбіт/с) маніпуляції;

- передавальне середовище – *інфрачервоні хвилі діапазону 850 нм*, які генеруються або напівпровідниковим лазерним діодом, або світлодіодом (LED). Стандарт передбачає три варіанти розповсюдження випромінювання: ненаправлену антену, відображення від стелі і фокусне направлене випромінювання. У першому випадку промінь розсіюється за допомогою системи лінз. Фокусне направлене випромінювання

призначене для точкового зв'язку, наприклад між двома будівлями.

У 1999 р. були прийняті ще два варіанти фізичного рівня: 802.11a і 802.11 b.

Специфікація 802.11a забезпечує підвищення швидкості передачі даних за рахунок більш високої несучої частоти – 5 ГГц. Для цього задіюється смуга в 300 МГц, ортогональне частотне мультиплексування (Orthogonal Frequency Division multiplexing, OFDM) і пряма корекція помилок (Forward Error Correction, FEC). Швидкості передачі даних становлять 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 і 54 Мбіт/с. Частота 5 ГГц специфікації 802.11 а поки мало використовується, що пов'язано з двома проблемами: по-перше, обладнання для цих частот поки ще дуже дороге, а по-друге, у деяких країнах частота ця підлягає ліцензуванню.

Специфікація 802.11b, як і специфікація 802.11, використовує частоту 2,4 ГГц, що дозволяє використовувати більш дешеве обладнання. Для підвищення швидкості до 11 Мбіт/с застосовується більш ефективний метод DSSS, що використовує техніку ССК (Complementary Code Keying).

У 2003 р. був прийнятий ще один стандарт фізичного рівня – 802.11g, в якому також використовується частота 2,4 МГц, але забезпечується швидкість передачі даних 54 Мбіт/с. У специфікації використовується ортогональне частотне мультиплексування (OFDM). Для зворотної сумісності з 802.11b підтримується також техніка ССК. Діаметр мережі 802.11 залежить від багатьох параметрів, у тому числі від діапазону частот. Звичайно діаметр безпроводової мережі знаходиться в межах від 100 до 300 м.

MAC-підрівень Канального рівня в безпроводових мережах виконує більше функцій, ніж у проводових мережах:

- доступ до середовища, що розподіляється;
- забезпечення мобільності станцій за наявності декількох базових станцій;
- забезпечення безпеки, що не поступається безпеці проводових мереж.

7.3 Режими роботи безпроводової мережі

Стандарт IEEE 802.11 визначає два режими роботи безпроводових мереж: режим "Ad hoc" (або, інакше, IBSS, Independent Basic Service Set – незалежний базовий набір послуг) і режим "клієнт/сервер" (або режим інфраструктури – infrastructure mode). Режим інфраструктури має два різновиди; з базовим набором послуг (BSS) і розширеним набором послуг (ESS).

Мережі з незалежним базовим набором послуг (IBSS) являють собою децентралізовані (однорангові) безпроводові мережі, що не мають постійної структури. Для створення IBSS необхідна наявність, принаймні, двох пристроїв (наприклад, комп'ютерів), оснащених безпроводовими мережними картами. Така мережа не підключена до проводової мережі, тому в ній неможливий обмін даними з магістральною мережею (наприклад, доступ до ресурсів Інтернет). Мережа IBSS утворюється окремими станціями, базова станція відсутня (точок доступу немає), вузли взаємодіють один з одним безпосередньо (рисунок 7.4).

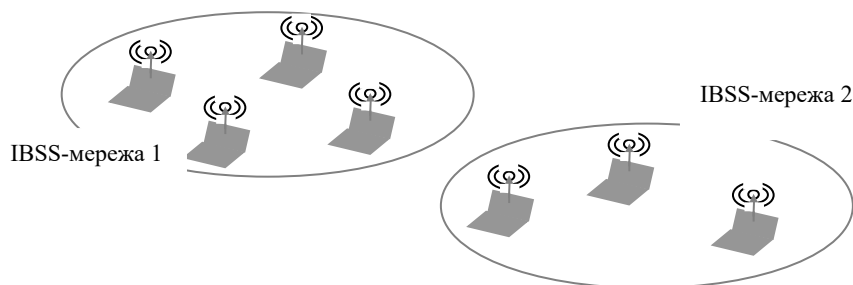


Рисунок 7.4 – Мережі з незалежним базовим набором послуг

Для того щоб увійти в IBSS-мережу, станція повинна виконати процедуру з'єднання. IBSS-мережі не є традиційними стільниками відносно зон покриття. Вони можуть знаходитися один від одного на значній відстані, а можуть частково або повністю перекриватися. Стандарт 802.11 в цьому відношенні надає повну свободу проектувальнику мережі.

Мережа з базовим набором послуг (рисунок 7.2) складається, як мінімум, з однієї точки доступу, підключеної до проводової мережі, і деякого набору безпроводових кінцевих

станцій. Така конфігурація носить назву базового набору служб (Basic Service Set, BSS).

Мережа з розширеним набором послуг (Extended Service Set, ESS) – дві або більше BSS-мережі, які створюють єдину субмережу, формують розширений набір служб. Оскільки більшості безпроводових станцій потрібно отримувати доступ до файлових серверів, принтерів, Інтернет, доступним у проводовій локальній мережі, вони будуть працювати в режимі клієнт/сервер.

У мережах, що володіють інфраструктурою, деякі вузли мережі є базовими, або, за термінологією 802.11, *точками доступу* (Access Point, AP). Вузол, що виконує функції AP, є членом якої-небудь BSS-мережі (рисунок 7.5). Всі базові вузли мережі зв'язані один з одним розподіленою системою (Distribution System, DS), у якості якої може використовуватися те саме середовище (тобто радіо- або інфрачервоні хвилі), що і для зв'язку інших вузлів мережі, або відмінна від неї, наприклад, проводова. Точки доступу разом з розподіленою системою утворюють службу розподіленої системи (Distribution System Service, DSS). Основна задача DSS – забезпечення зв'язку між вузлами, які з якихось причин не можуть або не хочуть взаємодіяти один з одним безпосередньо. Частіше за все DSS доцільна в тому випадку, коли вузли, що намагаються зв'язатися один з одним, належать різним BSS-мережам. У цьому випадку вузол-відправник передає кадр своїй точці доступу, яка через розподілену систему передає кадр точці доступу тієї BSS-мережі, до якої належить вузол-одержувач.

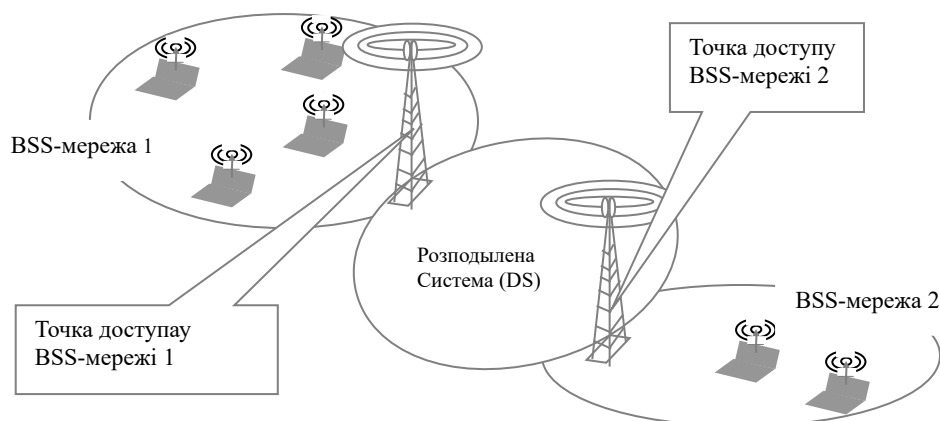


Рисунок 7.5 – Мережа з розширеним набором послуг

ESS-мережі забезпечують вузлам мобільність – вони можуть перейти з однієї BSS-мережі в іншу. Ці переміщення забезпечуються функціями MAC-підрівня робочих та базових вузлів. ESS-мережа може також взаємодіяти з проводовою локальною мережею. Для цього в розподіленій системі повинен бути **портал** (Portal – головний вхід). Стандартом 802.11 функції порталу не деталізуються, на практиці ним може бути комутатор або маршрутизатор.

Таким чином, вузли безпроводової мережі можуть використовувати середовище, що розподіляється, для передачі даних у таких варіантах:

- безпосередньо один одному в межах однієї BSS-мережі;
- у межах однієї BSS-мережі транзитом через точку доступу;
- між різними BSS-мережами через дві точки доступу і розподілену систему;
- між BSS-мережею і проводовою локальною мережею через точку доступу, розподілену систему і портал.

7.4 Розподілений режим доступу DCF

У режимі DCF реалізується метод доступу CSMA/CA. Кожний переданий кадр при цьому повинен підтверджуватися позитивною квитанцією, яка виходить від станції призначення. Якщо після закінчення певного зазделегідь інтервалу часу квитанція не надходить, станція-відправник вважає, що виникла колізія. Режим доступу DCF вимагає синхронізації станцій. У специфікації 802.11 ця проблема вирішується таким чином: тимчасові інтервали починають відлічуватися від моменту закінчення передачі чергового кадру (рисунок 7.6). Це не вимагає передачі яких-небудь спеціальних синхронізуючих сигналів і не обмежує розмір пакета розміром слоту, оскільки слоти беруться до уваги **Середовище при прийнят** і **Значення таймера відстрочки** і **іаток передачі** кадру.

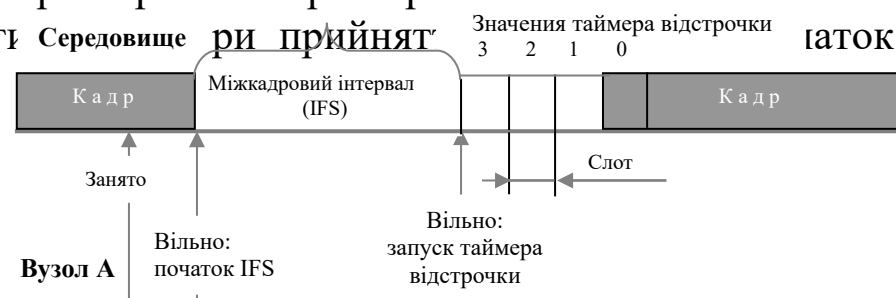


Рисунок 7.6 – Режим доступу DCF

Станція, яка хоче передати кадр, зобов'язана заздалегідь прослухати середовище. Як тільки вона фіксує закінчення передачі кадру, вона зобов'язана відлічити інтервал часу, що дорівнює міжкадровому інтервалу (IFS). Якщо після закінчення IFS середовище все ще вільне, то починається відлік слоту (у цьому випадку "слот" з англ. slot – щілина) фіксованої тривалості. Кадр можна починати передавати тільки на початку якого-небудь зі слотів за умови, що середовище вільне. Станція вибирає для передачі слот на основі усіченого *експонентного двійкового алгоритму відстрочки*, аналогічного тому, що використовується в методі доступу SCMA/CD. Номер слоту вибирається як випадкове ціле число з чисел, рівномірно розподілених в інтервалі $[0, CW]$, де CW (Contention Window) – *конкурентне вікно*.

На прикладі рисунка 7.4 розглянемо алгоритм доступу. Нехай станція А вибрала для передачі слот 3, при цьому вона привласнює *таймеру відстрочки* значення 3 і починає перевіряти стан середовища на початку кожного слоту. Якщо середовище вільне, то із значення таймера середовища віднімається одиниця, і якщо результат дорівнює нулю, то починається передача кадру. Якщо ж на початку якого-небудь слоту середовище виявляється зайнятим, то таймер "заморожується" (віднімання одиниці з нього не відбувається). У цьому випадку станція починає новий цикл доступу до середовища, але алгоритм вибору слоту для передачі змінюється. Як і в попередньому циклі, станція стежить за середовищем і при його звільненні робить паузу тривалістю в міжкадровий інтервал. Якщо середовище по закінченні міжкадрового інтервалу залишилося вільним, то станція використовує як номер слоту "заморожене" значення таймера відстрочки і виконує процедуру перевірки вільності слотів з

відніманням одиниці з таймера відстрочки. Величина слоту (часової щілини) залежить від способу кодування сигналу: для методу FHSS розмір слоту має значення 28 мкс. А для методу DSSS – 1 мкс. Розмір слота вибирається таким чином, щоб він перевершував час розповсюдження сигналу між будь-якими двома станціями мережі плюс час, що затрачується на розпізнавання зайнятості середовища. Якщо така умова виконується, то кожна станція мережі зуміє правильно розпізнати початок передачі кадру і колізія може виникнути тільки в тому випадку, коли декілька станцій вибирають один і той самий слот для передачі. У цьому випадку сигнали спотворюються (колізія) і позитивні квитанції від станцій призначення не надходять. Не отримавши протягом заданого часу позитивну квитанцію, вузол-відправник фіксує факт колізії і намагається передати свій кадр знову. При кожній невдалій спробі величина інтервалу $[0, CW]$ подвоюється. Якщо, наприклад, початковий розмір вікна вибраний таким, що дорівнює 8 ($CW=7$), то після першої колізії розмір вікна стане таким, що дорівнює 16 ($CW=15$), після другої – 32 і т. д. Початкове значення CW у відповідності зі стандартом 802.11 вибирається залежно від типу фізичного рівня. Кількість невдалих спроб передачі одного кадру обмежена, але стандарт 802.11 не встановлює точного значення його верхньої межі. Коли верхню межу спроб досягнуть, то кадр відкидається, а лічильник послідовних колізій встановлюється в нуль. Цей лічильник також встановлюється в нуль, якщо після деякого числа невдалих спроб кадр все-таки був переданий.

У методі доступу DCF застосовуються заходи боротьби з ефектом прихованого терміналу. Для цього вузол, що претендує на захоплення середовища передачі даних перед тим, як почати передачу в певному слоті, надсилає вузлу призначення короткий службовий кадр RTS (Request To Send – запит на передачу). На цей запит вузол призначення відповідає службовим кадром CTS (Clear To Send – вільна для передачі). Кадр CTS оповіщає про захоплення середовища ті станції, які знаходяться поза зоною сигналу вузла-відправника, але в зоні досяжності вузла-одержувача, тобто є прихованими терміналами для вузла-відправника. Оскільки максимальна довжина кадру даних 802.11 дорівнює 2346 байтів, а довжина RTS- і CTS-кадру, відповідно,

20 байтів і 14 байтів, то втрати продуктивності набагато менші внаслідок колізій RTS- або CTS-кадрів, ніж при колізії кадрів даних. Звідси висновок: процедури обміну RTS- і CTS-кадрами необов'язкові. Від них можна відмовитися при невеликому завантаженні мережі, оскільки в такій ситуації колізії трапляються рідко і витратити додатковий час на обмін RTS- і CTS-кадрами недоцільно.

7.5 Централізований режим доступу PCF

У тих випадках, коли в BSS-мережі є точка доступу, може застосовуватися також централізований режим доступу PCF, що забезпечує пріоритетне обслуговування трафіка. Режим доступу PCF співіснує в мережах 802.11 з режимом DCF. Обидва режими координуються за допомогою трьох типів міжкадрових інтервалів (рисунок 7.7).

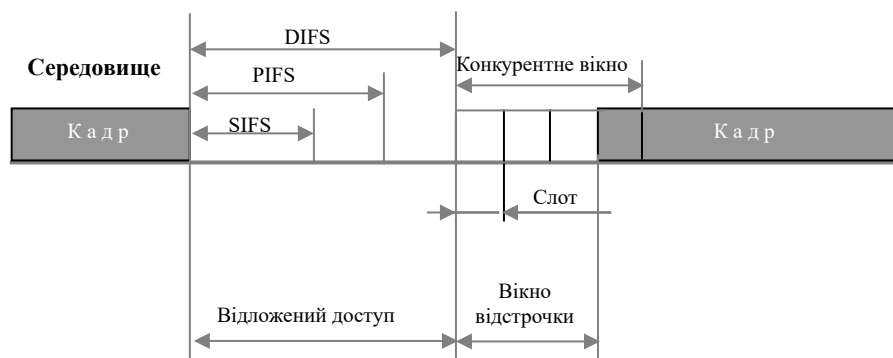


Рисунок 7.7 – Управління режимами PCF і DCF

Після звільнення середовища кожна станція відлічує час простою середовища (міжкадровий інтервал), порівнюючи його з трьома значеннями:

- короткий міжкадровий інтервал (Short IFS, SIFS);
- міжкадровий інтервал режиму PCF (PIFS);
- міжкадровий інтервал режиму DCF (DIFS).

Захоплення середовища за допомогою розподіленої процедури DCF можливе тільки в тому випадку, коли середовище вільне протягом часу, що дорівнює або більше, ніж

DIFS. Іншими словами, в якості IFS в режимі DCF треба використати інтервал DIFS – найтриваліший період з трьох можливих, що свідчить про найнижчий пріоритет цього режиму.

Міжкадровий інтервал SIFS – найкоротший. Він служить для першочергового захоплення середовища CTS-кадрами, які є відповіддю, або квитанції, які продовжують або завершують передачу кадру, що вже почалася.

Значення міжкадрового інтервалу PIFS більше, ніж SIFS, але менше, ніж DIFS. Проміжком часу між кінцями інтервалів PIFS і DIFS користується арбітр середовища. У цьому проміжку він може передати спеціальний кадр, який говорить всім станціям, що починається **період, який контролюється**. Після отримання цього кадру жодна станція не має права скористатися алгоритмом DCF – необхідно дочекатися закінчення періоду, що контролюється. Тривалість періоду, що контролюється оголошується в спеціальному кадрі, але цей період може закінчитися і раніше, якщо у станцій немає додатків, чутливих до затримок трафіка. У цьому випадку арбітр передає службовий кадр, після якого формується міжкадровий такий інтервал, що дорівнює DIFS, після закінчення якого станції можуть працювати в режимі DCF.

У період, що контролюється реалізується *централізований метод* доступу PCF. Арбітр середовища виконує процедуру опиту, щоб по черзі надати кожній станції право на використання середовища, направляючи їй спеціальний кадр, отримавши який, станція може відповісти іншим кадром, підтверджуючим приймання спеціального кадру, і одночасно передати кадр даних (або на адресу арбітра для транзитної передачі, або безпосередньо вузлу призначення).

Для того щоб якась частка припадала на асинхронний трафік, тривалість періоду, що контролюється, обмежується. Після закінчення періоду, що контролюється, арбітр передає відповідний кадр і починається період, що не контролюється. Кожна станція може працювати в режимі PCF, але для цього вона повинна підписатися на цю послугу при приєднанні до мережі.

7.6 Безпека мереж 802.11

Розробники стандарту 802.11 поставили перед собою мету – забезпечити безпеку передачі даних по безпроводовій мережі, не гіршу за безпеку передачі даних по проводовій локальній мережі, такий як Ethernet.

Незважаючи на те що в проводових мережах відсутні якісь особливі засоби забезпечення безпеки даних, проводові мережі краще захищені від несанкціонованого доступу і порушення конфіденційності даних, ніж безпроводові. Дійсно, для того щоб отримати доступ до проводової мережі, до неї необхідно фізично підключитися. Такі дії можна помітити і класти їм край (хоч можливості для несанкціонованого доступу в проводовій мережі все одно залишаються великими). Що ж до безпроводової мережі, то в ній можливості для несанкціонованого доступу просто безмежні.

У безпроводовій мережі для несанкціонованого доступу досить опинитися в зоні поширення радіохвиль цієї мережі. При цьому можна навіть не входити в будівлю, в якій розгорнена мережа, оскільки в цьому випадку фізичне підключення не потрібно (досить мати в сумці ввімкнений ноутбук).

Стандарт 802.11 забезпечує контроль доступу на MAC рівні (другий рівень у моделі OSI), і механізми шифрування, відомий як Wired Equivalent Privacy (WEP – секретність еквівалентна проводовій), метою яких є забезпечення безпроводової мережі засобами безпеки, еквівалентними засобам безпеки проводових мереж. Коли ввімкнений WEP, він захищає тільки пакет даних, але не захищає заголовки Фізичного рівня, так що інші станції в мережі можуть переглядати дані, необхідні для управління мережею. Для контролю доступу в кожному пункті доступу вміщується так званий ESSID (або WLAN Service Area ID), без знання якого мобільна станція не зможе підключитися до точки доступу. Додатково точка доступу може зберігати список дозволених MAC-адрес, що називається списком контролю доступу (Access Control List, ACL), дозволяючи доступ тільки тим клієнтам, чий MAC-адреси знаходяться в списку.

Для шифрування даних стандарт надає можливість шифрування з використанням алгоритму RC4 з 40-бітним ключем, що розділяється (суспільно використовується). Після

того як станція підключається до точки доступу, всі дані, що передаються, можуть бути зашифровані з використанням цього ключа. Коли використовується шифрування, точка доступу буде посилати зашифрований пакет будь-якій станції, що намагається підключитися до неї. Клієнт повинен використати свій ключ для шифрування коректної відповіді для того, щоб аутентифікувати себе й отримати доступ у мережу. Вище другого рівня мережі 802.11b підтримують ті самі стандарти для контролю доступу і шифрування (наприклад, IPSec), що й інші мережі 802.

Але незважаючи на вжиті заходи з підвищення безпеки даних, засоби їх, що забезпечують у стандарті 802.11, далекі від досконалості і робоча група 802.11i розробляє в цей час більш могутні засоби захисту.

7.7 Безпека здоров'я

Оскільки мобільні станції і точки доступу є СВЧ-пристроями, у багатьох виникають питання з приводу безпеки використання компонентів Wave LAN. Відомо, що чим вище частота радіовипромінювання, тим небезпечніше воно для людини. Зокрема відомо, що якщо подивитися всередину прямокутного хвилевода, який передає сигнал частотою 10 ГГц або більше, потужністю близько 2 Вт, то неминуче станеться пошкодження сітчатки ока, навіть якщо тривалість впливу складе менше за секунду. Антени мобільних пристроїв і точок доступу є джерелами високочастотного випромінювання, і хоч потужність сигналу, що випромінюється, дуже невелика, все ж не треба знаходитися в безпосередній близькості від працюючої антени. Як правило, безпечною відстанню є відстань порядку десятків сантиметрів від приемо-передаючих частин. Більш точне значення можна знайти в керівництві до конкретного приладу.

Питання

1 Дайте визначення безпроводової мережі. Назвіть типи безпроводових мереж.

- 2 У чому полягає проблема доступу до середовища, що розділяється, відома під назвою "прихований термінал"?
- 3 Назвіть умови, при яких доцільна безпроводова мережа.
- 4 Назвіть режими доступу до середовища передачі даних, що використовуються в безпроводових мережах 802.11.
- 5 Назвіть швидкості передачі, що забезпечуються специфікацією 802.11.
- 6 Назвіть швидкості передачі, що забезпечуються специфікацією 802.11a.
- 7 Назвіть швидкості передачі, що забезпечуються специфікацією 802.11b.
- 8 Назвіть швидкості передачі, що забезпечуються специфікацією 802.11g.
- 9 Які варіанти Фізичного рівня визначені в стандарті 802.11?
- 10 Дайте визначення BSS-мережі.
- 11 Дайте визначення ESS-мережі.
- 12 Дайте визначення поняттю "конкурентне вікно".
- 13 Опишіть алгоритм режиму доступу DCF.
- 14 Дайте визначення поняттю "таймер відстрочки".
- 15 У яких випадках скидається в нуль лічильник колізій у режимі доступу DCF?
- 16 Як вузол у мережі 802.11 в режимі доступу DCF вибирає слот для передачі кадру?
- 17 Які заходи боротьби з ефектом прихованого термінала застосовуються в режимі доступу DCF стандарту 802.11?
- 18 Що відіграє роль арбітра середовища при реалізації режиму доступу PCF?
- 19 Який вигляд трафіка (синхронний або асинхронний) забезпечує режим доступу PCF?
- 20 Який вигляд трафіка (синхронний або асинхронний) забезпечує режим доступу DCF?
- 21 Який з режимів доступу до середовища передачі даних (DCF або PCF) має більш високий пріоритет?
- 22 Дайте визначення поняттю "період, що контролюється".
- 23 Яким чином координуються режими доступу DCF і PCF?

Список літератури

1 Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы [Текст]: учеб. для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – 3-е изд. – СПб., 2007. – 958 с.

2 Гук, М. Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия [Текст] / М. Гук. – СПб.: Питер, 2000. – 576 с.

3 Пономаренко, Л.А. Инструментальные средства проектирования, имитационного моделирования и анализа компьютерных сетей [Текст]: учеб. пособие / Л.А. Пономаренко,

В.И. Щелкунов, А.Я. Складов. – 2-е изд. испр. и доп. – Харьков: ООО «Компания СМИТ», 2006. – 488 с.

4 Тлумачний російсько-англо-український словник з залізничної автоматики та зв'язку [Текст]: навч. посібник для ВНЗ / за ред. М.Д. Гінзбурга, Г.І. Загарія, Ю.В. Соболева. – Харків: ВП Видавництво «Новое слово», 2004. – 512 с.

