

І.Р. Арсенюк, А.А. Яровий

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

Частина 1

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

І. Р. Арсенюк, А. А. Яровий

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

Частина 1

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів спеціальностей “Інтелектуальні системи прийняття рішень”, „Програмне забезпечення автоматизованих систем” та „Захист інформації в комп'ютерних системах та мережах”. Протокол № 8 від 24 січня 2008 р.

Вінниця ВНТУ 2008

УДК 681.3
А 85

Рецензенти:

О. В. Осадчук, доктор технічних наук, професор
А. М. Петух, доктор технічних наук, професор
Л. І. Тимченко, доктор технічних наук, професор
С. М. Захарченко, кандидат технічних наук, доцент,
сертифікований інструктор мережевої академії CISCO

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Арсенюк І. Р., Яровий А. А.

А85 Комп'ютерні мережі. Навчальний посібник. Частина 1. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 117 с.

В першій частині наведено еволюцію, класифікацію, основи побудови і вимоги, що висуваються до комп'ютерних мереж; розглянуто основні стандартні стеки комунікаційних протоколів, особливо OSI та TCP/IP, а також основи передавання даних на фізичному та каналному рівнях.

Посібник розроблений у відповідності з планом кафедри та програмою дисципліни "Комп'ютерні мережі", а також може бути використаний під час вивчення дисциплін „Корпоративні і глобальні комп'ютерні мережі” та „Корпоративні мережі”.

УДК 681.3

ЗМІСТ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| Вступ | 4 |
| 1 Роль комп'ютерних мереж в сучасному суспільстві..... | 6 |
| 1.1 Еволюція комп'ютерних мереж | 6 |
| 1.2 Конвергенція мереж | 13 |
| 1.3 Класифікація комп'ютерних мереж..... | 18 |
| 1.4 Вимоги до комп'ютерних мереж..... | 22 |
| 1.5 Контрольні питання..... | 25 |
| 2 Основи побудови мереж | 26 |
| 2.1 Топології фізичних зв'язків | 26 |
| 2.2 Комутація каналів і пакетів | 28 |
| 2.3 Структуризація як засіб побудови великих мереж | 34 |
| 2.4 Контрольні питання..... | 41 |
| 2.5 Завдання..... | 42 |
| 3 Протоколи та архітектура | 49 |
| 3.1 Багаторівневий підхід. Протокол. Інтерфейс. Стек протоколів | 49 |
| 3.2 Модель взаємодії відкритих систем ISO/OSI | 51 |
| 3.3 Рівні моделі OSI | 54 |
| 3.4 Поняття відкритої системи | 59 |
| 3.5 Стандартні стеки комунікаційних протоколів..... | 60 |
| 3.6 Контрольні питання..... | 65 |
| 4 Основи передавання дискретних даних | 66 |
| 4.1 Типи та апаратура ліній зв'язку | 66 |
| 4.2 Стандарти кабелів | 74 |
| 4.3 Аналогова модуляція | 82 |
| 4.4 Цифрове кодування | 87 |
| 4.5 Логічне кодування | 92 |
| 4.6 Передавання даних канального рівня | 96 |
| 4.7 Контрольні питання..... | 111 |
| 4.8 Завдання | 112 |
| Література..... | 116 |

ВСТУП

В 1993 році група експертів підготувала на замовлення Європейського союзу матеріал, що називається „Європа й інформаційне співтовариство (рекомендації для Європейського союзу)”. У матеріалі стверджувалось, що інформаційні та комунікаційні технології викликали нову промислову революцію. Ця революція базується на інформації, а технологічні можливості збільшують можливості інтелекту людини та змінюють способи спільної роботи, спілкування й життя. Прикладом є глобальне співтовариство комп’ютерних мереж Internet.

Майже 30 років тому, після запуску першого радянського супутника Землі, RAND Corporation (знаменитий американський мозковий центр часів холодної війни) був поставлений перед складною стратегічною проблемою керування країною. Країні, що могла зазнати ядерного удару, потрібна була надійна мережа. В 1964 році RAND опублікувала свої вимоги до мережі: по-перше, вона не повинна бути централізованою, і по-друге, вона з самого початку повинна складатися з окремих сегментів. Тоді окремий вузол буде незалежний від інших вузлів і зможе самостійно відповідати за приймання/передавання даних.

На початку 60-х мережа, заснована на комутації пакетів, об’єднала RAND. В 1968 р. до мережі приєдналася Національна фізична лабораторія Великобританії. В 1969 році Агентство перспективних досліджень міністерства оборони США вирішило об’єднати суперкомп’ютери оборонних, наукових і управлінських центрів у єдину мережу ARPANET, де було тільки 4 комп’ютери, в 1971 р. – 14, а у 1972 р. вже 30 комп’ютерів.

70-і роки – це процес налагодження технології Internet. Основне навантаження мережі тоді становили комунікаційні повідомлення (пошта та новини), що привело до розвитку електронної пошти й телеконференцій. Тим часом удосконалювалася технологія обміну даними. На зміну протоколам ARPANET у 1982 р. прийшли TCP/IP. В 1977 році TCP/IP почали використовувати інші комп’ютерні мережі для приєднання до ARPANET. До 1986 року Internet ще не був Internetом. З 1984 року Національний науковий фонд США став вкладати великі гроші у наукову комп’ютерну мережу NSFNET, яка об’єднала університети США. В цей час утворилося 6 перших доменів у мережі: gov, mil, edu, com, org, net.

Сьогодні комп’ютерні мережі продовжують дуже стрімко розвиватися. Розрив між локальними та глобальними мережами постійно скорочується, багато в чому за рахунок появи високошвидкісних територіальних каналів зв’язку, що не поступаються за якістю кабельним системам локальних мереж. У глобальних мережах з’являються служби доступу до ресурсів такі ж зручні та прозорі, як і служби локальних мереж.

Змінюються й локальні мережі. Замість пасивного кабелю, що з’єднує комп’ютери з’явились різне комунікаційне обладнання – комутатори,

маршрутизатори, шлюзи. Завдяки цьому з'явилась можливість побудови великих корпоративних мереж, які мають складну структуру і нараховують тисячі комп'ютерів. Відродився інтерес до великих комп'ютерів, оскільки з'ясувалося, що системи, які складаються із сотень серверів, обслуговувати складніше, ніж кілька великих комп'ютерів. Тому на новому витку еволюційної спіралі мейнфрейми стали повертатись у корпоративні обчислювальні системи, але вже як повноправні мережеві вузли, що підтримують різні технології комп'ютерних мереж.

Виявилась ще одна дуже важлива тенденція, що стосується як локальних, так і глобальних мереж. В них стала оброблятися невласлива раніше обчислювальним мережам інформація – голос та відеозображення. Це спричинило внесення змін у роботу протоколів, мережевих операційних систем і комунікаційного обладнання. Оскільки традиційні служби обчислювальних мереж – такі як передавання файлів або електронна пошта створюють малочутливий до затримок трафік і всі елементи мереж розроблялися розраховуючи на нього, то поява трафіку реального часу призвела до значних проблем.

Сьогодні ці проблеми вирішуються різними способами, в тому числі й за допомогою спеціально розрахованої на передавання різних типів трафіку технології АТМ. Однак незважаючи на значні зусилля в цьому напрямку, до ефективного рішення проблеми поки далеко, і в цій області має бути ще багато зроблено для злиття технологій не тільки локальних і глобальних мереж, а й технологій будь-яких інформаційних мереж – обчислювальних, телефонних, телевізійних тощо. Фахівці вважають, що передумови для такого синтезу вже існують та зможуть бути реалізовані через 10 – 25 років. І основою для такого об'єднання стане саме технологія комутації пакетів, яка застосовується сьогодні в обчислювальних мережах.

Даний навчальний посібник складається з трьох частин. В першій частині посібника наведено еволюцію, класифікацію, основні вимоги до комп'ютерних мереж а також їх роль у житті суспільства. Розглянуті питання основ побудови мереж та їх структуризації. Наведені стандартні стежки комунікаційних протоколів, зокрема ISO/OSI і TCP/IP та розглянуто функції їх рівнів. Крім того, приділено увагу питанням передавання дискретних даних у комп'ютерних мережах, а також основам фізичного та логічного кодування інформації.

До кожного розділу наведені контрольні запитання з метою здійснення самоконтролю, а також дані завдання з метою глибшого опанування поданого матеріалу.

1 РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ В СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ

1.1 Еволюція комп'ютерних мереж

Історія будь-якої галузі науки або техніки дозволяє не тільки задовольнити природну цікавість, а й глибше зрозуміти сутність основних досягнень у цій галузі та виявити тенденції і правильно оцінити перспективність тих або інших напрямків розвитку.

Комп'ютерні мережі (мережі передавання даних, обчислювальні мережі) є результатом еволюції двох найважливіших науково-технічних галузей сучасної цивілізації – комп'ютерних і телекомунікаційних технологій

(рисунок 1.1) [1, 17]. З одного боку, комп'ютерні мережі (КМ) є окремим випадком розподілених обчислювальних систем, в яких група комп'ютерів узгоджено виконує набір взаємозалежних завдань, обмінюючись даними в автоматичному режимі. З іншого боку, КМ можуть розглядатися як засіб передавання інформації на значні відстані, для чого в них застосовуються методи кодування та мультиплексування даних, що отримали розвиток у різних телекомунікаційних системах.

Отже:

- КМ – це група комп'ютерів, зв'язаних комунікаційною системою та оснащених відповідним програмним забезпеченням, що надає користувачам мережі доступ до ресурсів цієї групи комп'ютерів;
- КМ можуть утворювати комп'ютери різних типів – робочі станції, мінікомп'ютери, персональні комп'ютери або суперкомп'ютери;
- передавання повідомлень між будь-якою парою комп'ютерів мережі забезпечує комунікаційна система, що може містити кабелі, повторювачі, комутатори, маршрутизатори та інші пристрої;
- КМ дозволяє користувачу працювати зі своїм комп'ютером як з автономним і додає до цього можливість доступу до інформаційних і апаратних ресурсів інших комп'ютерів мережі.

Ідея комп'ютера була запропонована англійським математиком Чарльзом Бебіджом (Charles Babbage) у середині дев'ятнадцятого століття. Однак його механічна „аналітична машина” по-справжньому так і не запрацювала. Справжнє народження цифрових обчислювальних машин відбулося у

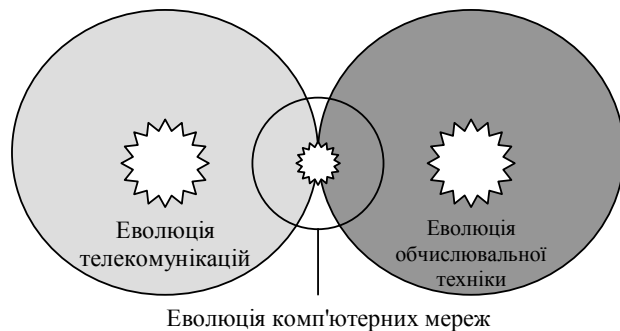


Рисунок 1.1 – Еволюція КМ на стику обчислювальної техніки і телекомунікаційних технологій

середині 40-х років минулого століття, коли були створені перші лампові ЕОМ. Для цього періоду характерно таке:

- комп'ютер був скоріше предметом дослідження, а не інструментом для розв'язання практичних задач;
- одна й та ж група людей брала участь і в проектуванні, і в експлуатації, і у програмуванні ЕОМ;
- програмування здійснювалося винятково машинною мовою;
- не було ніякого системного програмного забезпечення, крім бібліотек математичних і службових підпрограм;
- операційні системи (ОС) ще не з'явилися, всі завдання організації обчислювального процесу вирішувалися вручну кожним програмістом з пульта керування.

З середини 50-х років почався наступний період у розвитку обчислювальної техніки, пов'язаний з появою нової технічної бази – напівпровідникових елементів. У цей період:

- виросла швидкодія процесорів, збільшилися обсяги оперативної та зовнішньої пам'яті;
- комп'ютери стали надійнішими;
- з'явилися перші алгоритмічні мови, і до бібліотек математичних і службових підпрограм додався новий тип системного програмного забезпечення – транслятори;
- були розроблені перші системні керувальні програми-монітори, які автоматизували всю послідовність дій оператора для організації обчислювального процесу.

Програмні монітори були прообразом сучасних операційних систем, вони стали першими системними програмами, призначеними не для оброблення даних, а для керування обчислювальним процесом.

У ході реалізації моніторів була розроблена формалізована мова керування завданнями, за допомогою якої програміст повідомляв системі та оператору, які дії й у якій послідовності він хотів би виконати на ЕОМ. Типовий набір директив, зазвичай, містив ознаку початку окремої роботи, виклик транслятора, виклик завантажувача, а також ознаки початку й кінця вихідних даних.

Оператор складав пакет завдань, які потім без його участі послідовно запускалися на виконання монітором. Крім того, монітор був здатний самостійно обробляти найпоширеніші аварійні ситуації, що виникали при роботі програм користувачів (наприклад, відсутність вихідних даних, переповнення регістрів, ділення на нуль, звернення до неіснуючої області пам'яті тощо)

Наступний важливий період розвитку ОС відноситься до 1965-1975 років. Тоді в технічній базі ЕОМ відбувся перехід від окремих напівпровідникових елементів (транзисторів) до інтегральних мікросхем, що відкрило шлях до появи наступного покоління комп'ютерів.

У цей період були реалізовані практично всі основні механізми, влас­тиво сучасним ОС: мультипрограмування, мультипроцесування, підтрим­ка багатотермінального багатокористувацького режиму, віртуальна пам'ять, файлові системи, розмежування доступу та мережева робота. В ці роки починає інтенсивно розвиватися системне програмування.

В умовах значного збільшення обчислювальних потужностей комп'ютерів, пов'язаних з обробленням та зберіганням даних, виконання тільки однієї програми в кожний момент часу виявилось вкрай неефектив­ним. Почались розробки в області мультипрограмування.

Мультипрограмування – це спосіб організації обчислювального про­цесу, при якому в пам'яті комп'ютера перебуває одночасно кілька програм, що поперемінно виконуються на одному процесорі. Мультипрограмування було реалізовано у двох варіантах:

- пакетне оброблення;
- розподіл часу.

Системи пакетного оброблення призначалися для розв'язання задач об­числювального характеру, які не потребують швидкого одержання резуль­татів. Головною метою й критерієм ефективності систем пакетного оброб­лення є максимальна пропускна здатність, тобто розв'язання максимального числа задач за одиницю часу.

Для досягнення цієї мети в системах пакетного оброблення викорис­товується така схема функціонування (рис. 1.2)

(рис. 1.2) [1]: на початку роботи формується пакет завдань. Кожне завдання містить вимоги до систе­мних ресурсів. З цього пакета завдань формується мультипрограмний на­бір (певна кількість одно­часно виконуваних за­вдань). Для одночасного виконання вибираються завдання з різними вимо­гами до ресурсів, так, щоб забезпечити збалан­соване завантаження усіх пристроїв ЕОМ. Напри­клад, в мультипрограмному наборі бажана присутність і обчислювальних завдань, і завдань з інтенсивним введенням-виведенням. Вибір нового за­вдання з пакета завдань залежить від ситуації, що складається в системі, тобто вибирається „вигідне” завдання. Отже, в обчислювальних системах,

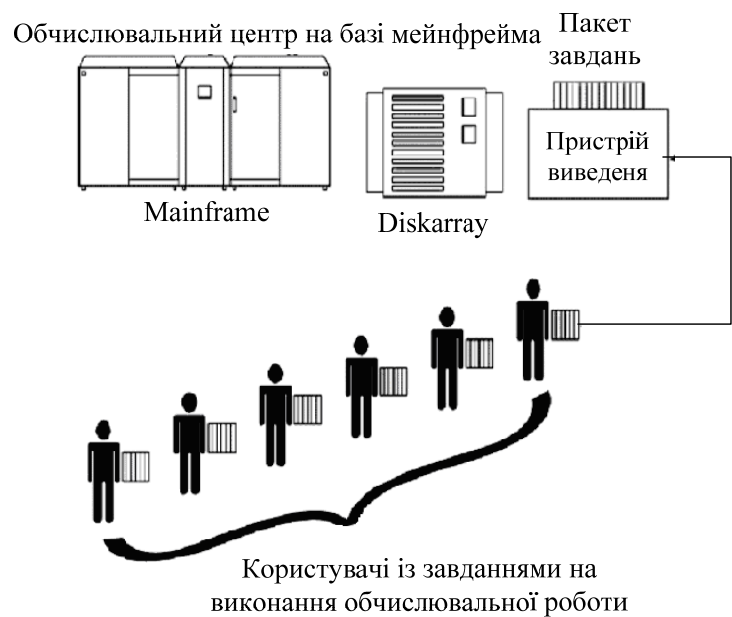


Рисунок 1.2 – Централізований характер обчислень у системах пакетного оброблення

Наприклад, в мультипрограмному наборі бажана присутність і обчислювальних завдань, і завдань з інтенсивним введенням-виведенням. Вибір нового за­вдання з пакета завдань залежить від ситуації, що складається в системі, тобто вибирається „вигідне” завдання. Отже, в обчислювальних системах,

що працюють під керуванням пакетних ОС, неможливо гарантувати виконання того або іншого завдання протягом певного періоду часу.

В системах пакетного оброблення перемикання процесора з одного завдання на інше відбувається з ініціативи самого активного завдання. Наприклад, коли воно „відмовляється” від послуг процесора внаслідок необхідності виконати операції введення-виведення. Тому існує висока ймовірність того, що одне завдання може надовго зайняти процесор, і виконання інтерактивних завдань стане неможливим. Взаємодія користувача з ЕОМ, на якій встановлена система пакетного оброблення, зводиться до того, що користувач приносить завдання, віддає його оператору. А потім – наприкінці дня, після виконання усього пакета завдань одержує результат. Очевидно, що такий порядок підвищує ефективність функціонування апаратури, але знижує ефективність роботи користувача.

В системах розподілу часу користувачам (або користувачу) надається можливість інтерактивної роботи відразу з декількома додатками. Для цього кожний додаток повинний регулярно взаємодіяти з користувачем. Але в пакетних системах можливості діалогу користувача з додатком обмежені. Дана проблема вирішується за рахунок того, що ОС примусово періодично припиняє додатки, не чекаючи, коли вони самі звільнять процесор. Усім додаткам поперемінно виділяється квант процесорного часу. Отже, користувачі, що запустили програми на виконання, одержують можливість підтримувати з ними діалог.

Системи розподілу часу призначені для виправлення основного недоліку систем пакетного оброблення – ізоляції користувача-програміста від процесу виконання завдань. Кожному користувачу в цьому випадку надається термінал, з якого він може вести діалог зі своєю програмою. Оскільки кожному завданню виділяється тільки квант процесорного часу, жодне завдання не займає процесор надовго, і час відповіді виявляється прийнятним. Якщо квант невеликий – то в усіх користувачів, що одночасно працюють на одній машині, складається враження, що кожний з них використовує машину одноосібно.

Цілком зрозуміло, що системи розподілу часу мають меншу пропускну здатність, ніж системи пакетного оброблення, оскільки на виконання приймається кожне запущене користувачем завдання, а не те, яке „вигідне” системі. Крім того, продуктивність системи знижується внаслідок додаткових витрат обчислювальної потужності на більш часте переключення процесора з одного завдання на інше. Критерієм ефективності систем розподілу часу є не максимальна пропускну здатність, а зручність і ефективність роботи користувача. Разом з тим, мультипрограмне виконання інтерактивних додатків підвищує й пропускну здатність комп'ютера (нехай і не в такій мірі, як пакетні системи). Апаратура завантажується краще, оскільки поки один додаток чекає повідомлення користувача, інші додатки можуть оброблятися процесором.

Термінали, вийшовши за межі обчислювального центра, розташувались по всьому підприємству. Багатотермінальний режим використовувався не тільки в системах розподілу часу, а й у системах пакетного оброблення. При цьому не тільки оператор, а й усі користувачі одержували можливість формувати свої завдання й керувати їх виконанням зі свого терміналу. Такі ОС одержали назву *систем віддаленого введення завдань*.

Термінальні комплекси могли розташовуватися на великій відстані від процесорних стояків, з'єднуючись з ними за допомогою різних глобальних зв'язків – модемних з'єднань телефонних мереж або виділених каналів. Для підтримки віддаленої роботи терміналів в ОС з'явилися спеціальні програмні модулі, що реалізують різні протоколи зв'язку. Такі обчислювальні системи з віддаленими терміналами, зберігаючи централізований характер оброблення даних, деякою мірою були прообразом сучасних комп'ютерних мереж (рис. 1.3), а відповідне системне програмне забезпечення – прообразом мережевих ОС.

Багатотермінальні централізовані системи вже мали всі зовнішні ознаки локальних комп'ютерних мереж (ЛКМ), однак, ще зберігали сутність централізованого оброблення даних автономно працюючого комп'ютера.

Дійсно, рядовий користувач роботу за терміналом мейнфрейму сприймав приблизно так, як зараз сприймає роботу за приєднаним до мережі персональним комп'ютером (ПК). Користувач міг одержати доступ до загальних файлів і периферійних пристроїв, при цьому в нього створювалася повна ілюзія одноособового користування комп'ютером, тому що він міг запустити потрібну програму в будь-який момент і майже відразу одержати результат.

Хоча теоретичні роботи зі створення концепцій мережевої взаємодії проводились майже з моменту появи ЕОМ, значні практичні результати об'єднання комп'ютерів у мережі були отримані лише наприкінці 60-х, коли за допомогою глобальних зв'язків і техніки комутації пакетів вдалося реалізувати взаємодію машин класу мейнфреймів і суперкомп'ютерів (рис. 1.4). Ці дорогі комп'ютери зберігали унікальні дані й програми, обмін якими дозволив підвищити ефективність їхнього використання.

Ще до реалізації зв'язків „комп'ютер-комп'ютер”, було вирішено більш просте завдання – організація зв'язку „віддалений термінал-комп'ютер”. Термінали, що розташовані від комп'ютера на відстані бага-

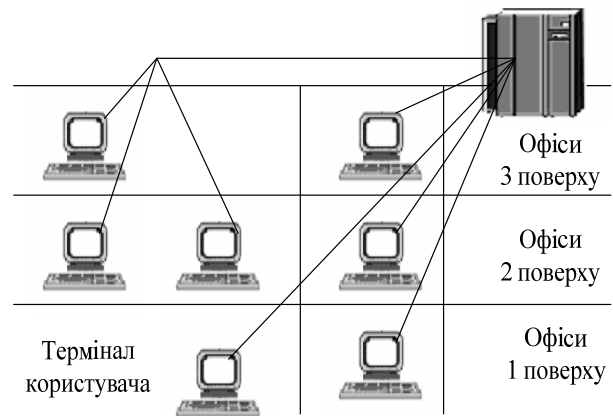


Рисунок 1.3 – Багатотермінальна система – прообраз КМ

тьох сотень і тисяч кілометрів, з'єднувалися з комп'ютерами через телефонні мережі за допомогою модемів. Такі мережі дозволяли користувачам отримувати віддалений доступ до виділених ресурсів кількох потужних комп'ютерів класу супер-ЕОМ.

Потім були розроблені засоби обміну даними між комп'ютерами в автоматичному режимі. На осно-

ві цього механізму в перших мережах були реалізовані служби обміну файлами, синхронізації баз даних, електронної пошти та ін.

В 1969 році міністерство оборони США ініціювало роботи з об'єднання в загальну мережу суперкомп'ютерів оборонних і науково-дослідних центрів. Ця мережа, що одержала назву ARPANET послужила відправною точкою для створення першої й найвідомішої нині глобальної мережі – Internet. Мережа ARPANET об'єднувала комп'ютери різних типів, що працювали під керуванням різних ОС із додатковими модулями, що реалізують комунікаційні протоколи, загальні для всіх комп'ютерів мережі. Такі ОС можна вважати першими мережевими операційними системами (МОС).

МОС на відміну від багатотермінальних дозволяли не тільки розосередити користувачів, а й організувати розподілене зберігання й оброблення даних між кількома комп'ютерами, зв'язаними електричними зв'язками. Будь-яка МОС, з одного боку, виконує всі функції локальної ОС, а з іншого боку, має деякі додаткові засоби, що дозволяють їй взаємодіяти по мережі з ОС інших комп'ютерів. Програмні модулі, що реалізують мережеві функції, з'являлися в ОС поступово, із розвитком мережеских технологій, апаратної бази комп'ютерів і виникнення нових завдань, що вимагають мережевого оброблення.

В 1974 році компанія IBM оголосила про створення власної мережевої архітектури SNA (System Network Architecture, системна мережева архітектура) для своїх мейнфреймів. У цей же час у Європі активно проводились роботи зі створення й стандартизації мереж X.25.

Таким чином, *хронологічно першими з'явилися глобальні мережі*, тобто мережі, що об'єднують територіально розосереджені комп'ютери, які можуть розташовуватись у різних містах і країнах. Саме при побудові глобальних мереж були вперше запропоновані й відпрацьовані багато основних ідей і концепцій сучасних КМ. Такі, наприклад, як багаторівнева побудова комунікаційних протоколів, технологія комутації пакетів і маршрутизація пакетів у складених мережах.

Глобальні комп'ютерні мережі (ГКМ) дуже багато чого успадкували від інших, більш старих глобальних мереж – телефонних. Головним ре-



Рисунок 1.4 – Об'єднання віддалених супер-ЕОМ глобальними зв'язками

зультатом створення перших ГKM була відмова від принципу комутації каналів, який протягом багатьох десятиріч років успішно використовувався у телефонних мережах.

Складений канал, виділений на весь час сеансу зв'язку, з постійною швидкістю не міг ефективно використовуватися трафіком комп'ютерних даних, що пульсує (у якого періоди інтенсивного обміну чергуються із тривалими паузами). Експерименти й математичне моделювання показали, що пульсуючий і значною мірою не чутливий до затримок комп'ютерний трафік набагато ефективніше передається мережами, що використовують принцип комутації пакетів. Тобто, коли дані розділяються на невеликі порції, які самостійно переміщуються мережею за рахунок вбудовування адреси кінцевого вузла у заголовки пакета.

Оскільки прокладання високоякісних ліній зв'язку (ЛЗ) на великі відстані обходиться дуже дорого, у перших ГKM часто використовувалися вже існуючі канали зв'язку, призначені зовсім для інших цілей. Наприклад, протягом багатьох років глобальні мережі будувалися на основі телефонних каналів тональної частоти, здатних у кожний момент часу вести передавання тільки однієї розмови в аналоговій формі. Оскільки швидкість передавання дискретних комп'ютерних даних по таких каналах була дуже низькою (десятки кілобіт за секунду), набір надаваних послуг у глобальних мережах такого типу, зазвичай, обмежувався передаванням файлів, переважно у фоновому режимі, і електронною поштою.

Крім низької швидкості такі канали мають ще й інший недолік – вони вносять значні викривлення у сигнали, що передаються. Тому протоколи глобальних мереж, побудованих з використанням каналів зв'язку низької якості, відрізняються складними процедурами контролю та відновлення даних. Типовим прикладом таких мереж є мережі X.25, розроблені ще на початку 70-х років, коли низькошвидкісні аналогові канали, орендовані у телефонних компаній, були переважним типом каналів, що з'єднують комп'ютери та комутатори ГKM.

Розвиток технології ГKM багато в чому визначався прогресом телефонних мереж. З кінця 60-х років у телефонних мережах все частіше стало застосовуватись передавання голосу в цифровій формі. Це привело до появи високошвидкісних цифрових каналів, які з'єднують АТС і дозволяють одночасно передавати сотні розмов. Була розроблена спеціальна технологія плезіохронної цифрової ієрархії (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH), призначена для створення так званих первинних або опорних мереж. Такі мережі не надають послуг кінцевим користувачам, а є фундаментом, на якому будуються швидкісні цифрові канали „точка-точка”, які з'єднують обладнання іншої мережі, яка вже працює на кінцевого користувача.

Спочатку технологія PDH, що підтримує швидкості до 140 Мбіт/с, була внутрішньою технологією телефонних компаній. Однак згодом ці компанії стали здавати частину своїх каналів PDH в оренду підприємствам, які

використали їх для створення власних телефонних і глобальних комп'ютерних мереж.

З'явившись наприкінці 80-х років, технологія синхронної цифрової ієрархії (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) розширила діапазон швидкостей цифрових каналів до 10 Гбіт/с, а технологія спектрального мультиплексування DWDM (Dense Wave Division Multiplexing) – до сотень Гбіт/с і навіть декількох терабіт за секунду.

В наш час ГKM за різноманітністю і якістю послуг наздогнали локальні комп'ютерні мережі (ЛKM), які довгий час були лідером за кількістю послуг, хоча й з'явилися значно пізніше.

1.2 Конвергенція мереж

Взагалі конвергенція (лат. convergo – сходжуся) – це процес зближення, компромісу, стабілізації. В контексті мереж – це об'єднання різних технологій ЛKM та ГKM, радіо-, телевізійних- та телефонних мереж.

Наприкінці 80-х років відмінності між ЛKM та ГKM проявлялися досить чітко [1]:

- *довжина і якість ЛЗ.* ЛKM за означенням відрізняються від ГKM невеликими відстанями між вузлами мережі. Це взагалі дає можливість в ЛKM більш якісних ліній зв'язку;
- *складність методів передавання даних.* В умовах низької надійності фізичних каналів у ГKM потрібні складніші, ніж в ЛKM методи передавання даних і відповідне обладнання;
- *швидкість обміну даними* в ЛKM (10, 16 і 100 Мбіт/с) в той час була істотно вища, ніж в ГKM (від 2,4 Кбіт/с до 2 Мбіт/с);
- *різноманітність послуг.* Високі швидкості обміну даними породили в ЛKM широкий набір послуг (наприклад, різні види послуг: файлової служби, друку, баз даних, електронна пошта тощо), в той час як ГKM, як правило, надавали поштові, а іноді файлові послуги з обмеженими можливостями;
- *масштабованість.* „Класичні” ЛKM мають погану масштабованість внаслідок негнучкості базових топологій, що визначають спосіб приєднання станцій і довжину лінії. При цьому характеристики мережі різко погіршуються при досягненні певної межі за кількістю вузлів або довжини ліній зв'язку. ГKM властива гарна масштабованість, оскільки вони розроблялися розраховуючи на роботу з довільними топологіями і, дуже великою кількістю абонентів.

Поступово різниця між локальними та глобальними типами мережевих технологій стала зменшуватись. Ізольовані раніше ЛKM почали об'єднуватися одна з одною, при цьому як середовище з'єднання використовувалися ГKM. Тісна інтеграція ЛKM і ГKM привела до значного взаємопроникнення відповідних технологій. Зближення в методах передавання даних

відбувається на платформі цифрового (немодульованого) передавання даних по волоконно-оптичним ЛЗ. Це середовище передавання даних використовують практично усі технології ЛКМ для швидкісного обміну інформацією на відстанях понад 100 м, на ній же побудовані сучасні магістралі первинних мереж SDH і DWDM, які надають свої цифрові канали для об'єднання обладнання ГKM.

Висока якість цифрових каналів змінила вимоги до протоколів ГKM. На перший план замість процедур забезпечення надійності вийшли процедури забезпечення гарантованої середньої швидкості доставки інформації користувачам, а також механізми пріоритетного оброблення пакетів особливо чутливого до затримок трафіку (наприклад, голосового). Ці зміни знайшли відбиток в нових технологіях ГKM, таких як Frame Relay і АТМ. В цих мережах передбачається, що викривлення бітів відбувається настільки рідко, що помилковий пакет вигідніше просто знищити, а всі проблеми, пов'язані з його втратою, доручити програмному забезпеченню більш високого рівня, що безпосередньо не входить до складу мереж Frame Relay і АТМ.

Значний внесок у зближення ЛКМ і ГKM внесло домінування протоколу IP. Цей протокол сьогодні використовується для будь-яких технологій ЛКМ і ГKM – Ethernet, Token Ring, АТМ, Frame Relay – для створення з різних підмереж єдиної складної мережі.

ГKM 90-х років, що працюють на основі швидкісних цифрових каналів, істотно розширили набір своїх послуг і наздогнали ЛКМ. Стало можливим створення служб, робота яких пов'язана з доставкою користувачу більших обсягів інформації в реальному часі (зображень, відеофільмів, голосу), тобто мультимедійної інформації. Найяскравіший приклад – гіпертекстова інформаційна служба World Wide Web, що стала основним постачальником інформації в Інтернеті. Її інтерактивні можливості перевершили можливості багатьох аналогічних служб ЛКМ, так що розробникам локальних мереж довелося просто запозичити цю службу в ГKM. Процес переносу служб і технологій із глобальної мережі Інтернет у локальні придбав такий масовий характер, що з'явився навіть спеціальний термін – intranet-технології (intra – внутрішній).

І, нарешті, з'являються нові технології, призначені для обох видів мереж. Яскравим представником нового покоління технологій є технологія АТМ, яка може бути основою як ГKM, так і ЛКМ, ефективно поєднуючи всі існуючі типи трафіку в одній транспортній мережі. Іншим прикладом може служити сімейство технологій Ethernet, що має „локальне” коріння. Новий стандарт Ethernet 10G, що дозволяє передавати дані зі швидкістю 10 Гбіт/с, призначений для магістралей як глобальних, так і великих локальних мереж.

Одним із проявів зближення ЛКМ і ГKM є поява мереж масштабу великого міста, що займають проміжне положення між ЛКМ та ГKM. Міські

мережі, або мережі мегаполісів (Metropolitan Area Networks, MAN), призначені для обслуговування території великого міста. Ці мережі використовують цифрові ЛЗ, часто оптоволоконні, зі швидкостями на магістралі від 155 Мбіт/с і вище. Вони забезпечують економічне з'єднання ЛКМ між собою, а також вихід у ГKM. Ці мережі спочатку були розроблені для передавання даних, але зараз вони підтримують і такі послуги, як відеоконференції та інтегральне передавання голосу і тексту. Для мереж мегаполісів навіть був розроблений спеціальний протокол – SMDS (Switched Multimegabit Data Services), але пізніше він був витиснений потужнішою технологією АТМ. Сучасні мережі типу MAN відрізняються різноманітністю послуг, дозволяючи своїм клієнтам поєднувати комунікаційне обладнання різного типу, в тому числі й офісні АТС.

Яскраво виражена останнім часом тенденція зближення різних типів мереж характерна не тільки для ЛКМ і ГKM, а й для телекомунікаційних мереж інших типів. На сьогоднішній день до телекомунікаційних мереж можна віднести:

- телефонні мережі;
- радіомережі;
- телевізійні мережі;
- комп'ютерні мережі.

У всіх цих мережах ресурсом, що надається клієнтам, є інформація. Розподіл виду послуг і форми подання інформації у мережах різного типу наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Послуги і форми подання інформації у мережах різного типу

| Вид телекомунікаційної мережі | Вид послуг | Вид подання інформації |
|-------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Телефонні мережі | Інтерактивні послуги | Тільки голосова інформація |
| Радіомережі | Широкомовні послуги | Тільки голосова інформація |
| Телевізійні мережі | Широкомовні послуги | Голос і зображення |
| Комп'ютерні мережі | | Алфавітно-цифрове |

Телефонні мережі надають інтерактивні послуги (interactive services), оскільки два (або більше, якщо це конференція) абоненти, що беруть участь у розмові, поперемінно проявляють активність.

Радіо- та телевізійні мережі надають ширококомовні послуги (broadcast services), при цьому інформація поширюється тільки в одну сторону – з мережі до абонентів за схемою „один до багатьох” (point-to-multipoint).

Сьогодні конвергенція йде за багатьма напрямками різних видів телекомунікаційних мереж. Незважаючи на те, що різниці між комп'ютерними, телефонними, телевізійними та первинними мережами досить істотні, всі

ці мережі на високому рівні абстракції мають подібні структури.

Телекомунікаційна мережа (рис. 1.5) у загальному випадку має такі компоненти:

- *мережа доступу* (access network) – призначена для концентрації інформаційних потоків, що надходять по численних каналах зв'язку від обладнання користувачів, у порівняно невеликій кількості вузлів магістральної мережі;
- *магістраль* (backbone або core network) – поєднує окремі мережі доступу, забезпечуючи транзит трафіку між ними по високошвидкісних каналах;
- *інформаційні центри* або центри керування сервісами (data centers або services control point) – це власні інформаційні ресурси мережі, на основі яких здійснюється обслуговування користувачів.

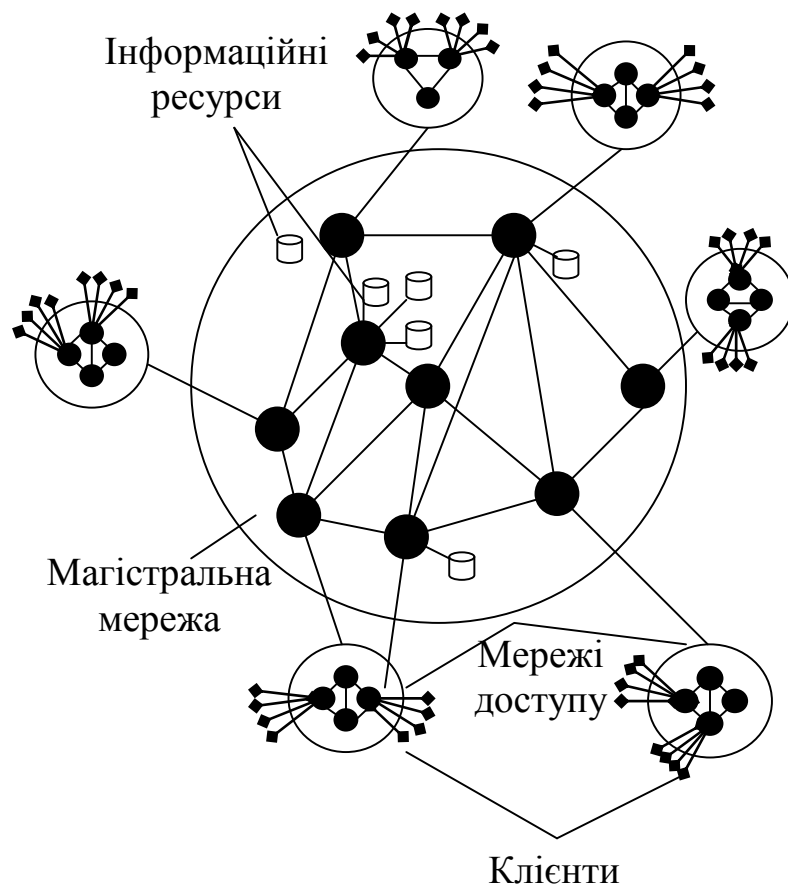


Рисунок 1.5 – Структура телекомунікаційної мережі

І мережа доступу, і магістральна мережа будуються на базі комутаторів. Кожен комутатор має деяку кількість портів, які з'єднуються з портами інших комутаторів каналами зв'язку.

Мережа доступу є нижнім рівнем ієрархії телекомунікаційної мережі.

До цієї мережі приєднуються кінцеві (термінальні) вузли – обладнання, встановлене у користувачів (абонентів, клієнтів) мережі. У випадку КМ кінцевими вузлами є комп'ютери, телефонної – телефонні апарати, а телевізійної або радіомережі – відповідно теле- і радіоприймачі. Основне призначення мережі доступу – концентрація інформаційних потоків, що надходять по численних каналах зв'язку від обладнання користувачів, у порівняно невеликій кількості вузлів магістральної мережі.

Мережа доступу, як і телекомунікаційна мережа в цілому, може складатись з кількох рівнів. Комутатори, встановлені у вузлах нижнього рівня, мультиплексують інформацію, що надходить з багатьох абонентських каналів і передають її комутаторам верхнього рівня. Останні в свою чергу передають її комутаторам магістралі. Кількість рівнів мережі доступу залежить від її розміру: невелика мережа доступу може складатися з одного рівня, велика – з двох-трьох. Наступні рівні здійснюють подальшу концентрацію трафіку, збираючи його та мультиплексуючи в більш швидкісні канали.

Магістральна мережа поєднує окремі мережі доступу, виконуючи функції транзиту трафіку між ними по високошвидкісних каналах. Комутатори магістралі можуть оперувати не тільки інформаційними з'єднаннями між окремими користувачами, а й агрегованими інформаційними потоками, що переносять дані багатьох користувацьких з'єднань. В результаті інформація за допомогою магістралі надходить в мережу доступу одержувачів, демультіплексується там і комутується таким чином, що на вхідний порт обладнання користувача надходить тільки та інформація, яка йому адресована. В тому випадку, коли абонент-одержувач приєднаний до того ж комутатора доступу, що й абонент-відправник (безпосередньо або через підлеглі за ієрархією зв'язки), останній виконує необхідну операцію комутації самостійно.

Інформаційні центри, центри керування сервісами – це власні інформаційні ресурси мережі, на основі яких здійснюється обслуговування користувачів. В таких центрах може зберігатися інформація двох типів [1]:

- користувацька інформація (дані, які безпосередньо цікавлять користувачів мережі);
- допоміжна службова інформація (дозволяє надавати користувачам деякі послуги).

Прикладом інформаційних ресурсів першого типу можуть служити Web-портали, на яких розташована різна довідкова інформація, новини, інформація електронних магазинів тощо. У телефонних мережах роль таких центрів відіграють служби екстреного виклику (наприклад, міліції, швидкої допомоги) і довідкові служби різних організацій і підприємств – вокзалів, аеропортів, магазинів тощо. У телевізійних мережах такими центрами є телестудії, що поставляють „живу” картинку або ж відтворюють раніше записані сюжети або фільми.

До ресурсів другого типу відносяться, наприклад, різні системи аутентифікації та авторизації користувачів, за допомогою яких організація, якій належить мережа, перевіряє права користувачів на одержання тих чи інших послуг; системи білінга, які в комерційних мережах підраховують оплату за надані послуги; бази даних облікової інформації користувачів, що зберігають імена й паролі, а також переліки послуг, на які підписаний кожен користувач. В телефонних мережах є центри керування сервісами (Services Control Point, SCP), де встановлені комп'ютери, на яких зберігаються програми нестандартного оброблення телефонних викликів користувачів, наприклад, викликів безкоштовних довідкових служб комерційних підприємств (так звані служби 800) або викликів при проведенні телеголосування. Ще одним з розповсюджених видів допоміжного інформаційного центра є централізована система керування мережею, що являє собою програмне забезпечення, яке працює на одному або кількох комп'ютерах.

У мереж кожного типу є багато особливостей, проте, їх структура в цілому відповідає вищеописаній. Однак в залежності від призначення та розміру мережі, деякі складові узагальненої структури у ній можуть бути відсутні або ж мати несуттєве значення. Наприклад, у невеликій ЛКМ немає явно виражених мереж доступу та магістралей – вони зливаються в загальну досить просту структуру. У корпоративній мережі, як правило, система білінга відсутня, оскільки послуги співробітникам підприємства надаються не на комерційній основі. У деяких телефонних мережах можуть біти відсутні інформаційні центри, а телевізійні мережі доступу набувають вигляду розподіленої мережі, оскільки інформація в ній поширюється тільки в одному напрямку – від мережі до абонентів.

1.3 Класифікація комп'ютерних мереж

На сьогоднішній день існує багато способів класифікації КМ. В основу таких класифікацій покладено різні критерії. Розглянемо одну з таких класифікацій [1, 4, 17].

За способом організації мережі поділяються на реальні та штучні. *Штучні мережі* (псевдомережі) дозволяють з'єднувати комп'ютери разом через послідовні або паралельні порти та не мають потреби в додаткових пристроях. Іноді зв'язок у такій мережі називають зв'язком за нуль-модемом (модем не використовується). Штучні мережі використовуються коли необхідно надіслати інформацію з одного комп'ютера на інший. Основний їх недолік – низька швидкість передавання даних і можливість з'єднання лише двох комп'ютерів.

Реальні мережі дозволяють з'єднувати комп'ютери за допомогою спеціальних пристроїв комутації та фізичного середовища передавання даних. Основний їх недолік – необхідність у додаткових пристроях.

Надалі вживаючи термін КМ будемо мати на увазі реальні мережі.

Всю різноманітність КМ можна класифікувати за такими групами ознак:

- територіальна поширеність;
- відомча належність;
- швидкість передавання інформації;
- тип середовища передавання;
- топологія;
- організація взаємодії комп'ютерів.

За територіальною поширеністю мережі можуть бути локальними, глобальними, і регіональними. У класифікації мереж існує два основних терміни: LAN і WAN.

Локальні LAN (Local Area Network) – це мережі, що покривають невеликі території не більші ніж 1000-2000 м². В загальному випадку ЛКМ є комунікаційною системою, що належить одній організації. Внаслідок коротких відстаней в ЛКМ є можливість використання відносно дорогих високоякісних ліній зв'язку, які дозволяють, застосовуючи прості методи передавання даних, досягати високих швидкостей обміну даними (до 100Мбіт/с і вище). У зв'язку з цим послуги, що надаються локальними мережами, відрізняються широкою різноманітністю і зазвичай передбачають реалізацію в режимі on-line.

Глобальні WAN (Wide Area Network) – розташовані на території держави або групи держав. ГКМ покриває великі географічні регіони, що містять як ЛКМ, так і інші телекомунікаційні мережі та пристрої. Приклад WAN – мережа з комутацією пакетів (Frame relay), через яку можуть „розмовляти” між собою різні комп'ютерні мережі.

Регіональні (міські) MAN (Metropolitan Area Network) – розташовані на території міста або області і призначені для їх обслуговування. ЛКМ найкраще підходять для розділення ресурсів на малих відстанях, а ГКМ забезпечують роботу на великих відстанях, але з обмеженою швидкістю і невеликим набором послуг, міські комп'ютерні мережі (МКМ) займають проміжне місце. Вони використовують цифрові магістральні лінії зв'язку (часто оптоволоконні), зі швидкостями від 45 Мбіт/с, і призначені для зв'язку ЛКМ в масштабах міста та з'єднання локальних мереж з глобальними. Спочатку МКМ були розроблені для передавання даних, але зараз вони підтримують і такі послуги, як відеоконференції та інтегральне передавання голосу і тексту. Розвиток технології МКМ здійснювався місцевими телефонними компаніями і щоб зайняти гідне місце у світі КМ, місцеві підприємства зв'язку зайнялися розробленням мереж на основі найсучасніших технологій, наприклад, технології комутації комірок SMDS або ATM.

Термін „корпоративна мережа” також використовується в літературі для позначення об'єднання кількох мереж, кожна з яких може бути побудована на різних технічних, програмних та інформаційних принципах.

ЛКМ є мережами закритого типу. Доступ до них дозволений тільки обмеженому колу користувачів, для яких робота в такій мережі безпосередньо пов'язана з їх професійною діяльністю. ГКМ є відкритими й орієнтованими на обслуговування будь-яких користувачів.

За належністю розрізняють відомчі та державні мережі. *Відомчі* належать одній організації та розташовуються на її території. *Державні* мережі – використовуються у державних структурах.

За швидкістю передавання інформації КМ поділяються на:

- низькошвидкісні (до 10 Мбіт/с);
- середньошвидкісні (до 100 Мбіт/с);
- високошвидкісні (понад 100 Мбіт/с).

Для визначення швидкості передавання даних у мережі широко використовується *бод*.

Бод – одиниця швидкості передавання сигналу, вимірюється числом дискретних переходів або подій за секунду. Якщо кожна подія є одним бітом, бод еквівалентний біт/сек (bits per second, bps). В реальних комунікаціях це часто не виконується (на відміну від бодів бітами за секунду вимірюється ефективний об'єм інформації без врахування службових бітів (стартові біти, стопові, біти парності), які використовуються у випадку асинхронного передавання). Тому термін „бод” часто неправильно використовують у значенні „біт/сек.” В дійсності, швидкість зміни сигналу залежить від типу модуляції. Наприклад, у модемах використовується квадратурна модуляція, і однією зміною рівня сигналу може кодуватися кілька (до 16) бітів інформації. Наприклад, при швидкості зміни сигналу 2400 бод, швидкість передавання може дорівнювати 9600 біт/с, завдяки тому, що в кожному часовому інтервалі надсилається 4 біти.

За типом середовища передавання мережі поділяються на:

- *провідні* – коаксіальні, на скрученій парі, оптоволоконні;
- *безпровідні* – з передаванням інформації з радіоканалів, в інфрачервоному діапазоні.

За топологією КМ поділяють на повнозв'язні та неповнозв'язні. Останні, в свою чергу можуть бути коміркові типу „загальна шина”, „зірка”, „кільце”, а також змішаного типу. Оскільки топології КМ є окремою, досить важливою темою – детальніше це питання розглядається у підрозділі 2.1 даного посібника.

За організацією взаємодії комп'ютерів мережі поділяють на однорангові (Peer-to-Peer Network) і з виділеним сервером (Dedicated Server Network).

Всі комп'ютери однорангової мережі рівноправні. Будь-який користувач мережі може одержати доступ до даних, що зберігається на будь-якому

іншому комп'ютері. Однорангові мережі можуть бути організовані за допомогою таких ОС, як LANtastic, Windows 3.11, Novell Netware Lite. Зазначені програми працюють як з DOS, так і з Windows. Однорангові мережі можуть бути організовані також на базі всіх сучасних 32-розрядних ОС – Windows 9x\ME\2k, Windows NT workstation, OS/2) тощо.

Переваги однорангових мереж:

- найпростіші в установленні та експлуатації;
- ОС DOS і Windows мають всі необхідні функції, що дозволяють будувати однорангову мережу.

До недоліку можна віднести ускладнення питань захисту інформації. Отже, даний спосіб організації мережі використовується для мереж з невеликою кількістю (зазвичай, до 10) комп'ютерів і там, де питання захисту даних не є принциповим.

В ієрархічній мережі при інсталяції мережі заздалегідь виділяються один або кілька комп'ютерів (серверів), які керують обміном даних по мережі та розподілом ресурсів. Будь-який комп'ютер, що має доступ до послуг сервера називають клієнтом мережі або робочою станцією. Сам сервер може бути клієнтом тільки сервера більш високого рівня ієрархії. Тому ієрархічні мережі іноді називаються мережами з виділеними серверами.

До недоліків ієрархічної мережі, у порівнянні з одноранговими мережами, відносять:

- необхідність додаткової ОС для сервера;
- більше висока складність установлення й модернізації мережі;
- необхідність виділення окремого комп'ютера як сервер.

Розрізняють дві технології використання сервера: технологію *файл-сервера* та архітектуру *клієнт-сервер*.

У першій моделі використовується *файловий сервер*, на якому зберігається більшість програм і даних. На вимогу користувача йому надсилається необхідна програма та дані. Оброблення інформації виконується на робочій станції.

В системах з архітектурою клієнт-сервер обмін даними здійснюється між *додатком-клієнтом* (front-end) і *додатком-сервером* (back-end). Зберігання даних і їх оброблення здійснюється на потужному сервері, що виконує також контроль за доступом до ресурсів і даних. Робоча станція одержує тільки результати запиту. Розробники додатків з оброблення інформації, зазвичай, використовують цю технологію.

1.4 Вимоги до комп'ютерних мереж

Головною вимогою, що висувається до КМ, є виконання мережею її основної функції – забезпечення користувачам можливості доступу до ресурсів усіх розділюваних комп'ютерів, що входять до її складу. Всі інші вимоги, такі як *продуктивність, надійність, сумісність, керованість, за-*

хищеність, розширюваність і масштабованість пов'язані з якістю виконання цієї основної задачі [1].

Хоч усі ці вимоги досить важливі, часто поняття якості обслуговування КМ трактується вужче – воно враховує лише дві найважливіші характеристики мережі *продуктивність і надійність*.

Незалежно від вибраного показника якості обслуговування КМ є два підходи до його забезпечення.

Перший підхід полягає в тому, що мережа (точніше, обслуговуючий її персонал) гарантує користувачу дотримання деякої числової величини показника якості обслуговування. Наприклад, технології Frame Relay і АТМ дозволяють будувати мережі, що гарантують якість обслуговування та продуктивність.

Другий підхід полягає в тому, що якість обслуговування користувачів мереж залежить від їх пріоритетів. Якість обслуговування в цьому випадку не гарантується. Гарантується лише рівень привілеїв користувача. Таке обслуговування називається обслуговуванням з найбільшим зусиллям (*best effort*). Мережа намагається по можливості найкраще обслужити користувача, але нічого при цьому не гарантує. За таким принципом працюють, наприклад, ЛКМ, побудовані на комутаторах з привілеями кадрів.

Продуктивність. Потенційно висока продуктивність це одна з основних властивостей розподілених систем, до яких відносяться і КМ. Вона забезпечується можливістю розпаралелювання робіт між кількома КМ. Існує кілька основних характеристик продуктивності мережі:

- час реакції;
- пропускна спроможність;
- затримка передавання і варіація затримки передавання.

Час реакції мережі є інтегральною характеристикою продуктивності мережі з точки зору користувача. Він характеризує інтервал часу між виникненням запиту користувача до деякої мережевої служби і отриманням на неї відповіді. Значення часу реакції залежить від типу служби, до якої звертається користувач, від того, який користувач і до якого сервера звертається, від поточного стану завантаженості сегментів, комутаторів, маршрутизаторів, через які проходить запит та від завантаженості сервера. Тому доцільно використати також і *середньозважену оцінку часу реакції мережі*, усереднюючи цей показник за кількістю користувачів, за серверами і часом дня.

В загальному випадку до складу часу реакції входить час підготовки запитів на клієнтському комп'ютері, час їх передавання між клієнтом та сервером, час оброблення запитів сервером, час передавання відповідей від сервера клієнту і час оброблення відповідей сервера на комп'ютері клієнта.

Пропускна здатність характеризує обсяг даних, переданих мережею за одиницю часу. Вона говорить про швидкість виконання внутрішніх операцій мережі передавання пакетів даних між вузлами мережі через різні

комунікаційні пристрої. Вимірюється цей показник або в бітах за секунду, або в пакетах за секунду.

Пропускна здатність є *миттєва, максимальна і середня*.

Середня пропускна здатність обчислюється шляхом визначення відношення загального обсягу переданих даних до часу їх передавання. При цьому вибирається досить тривалий проміжок часу (наприклад, година, день, тиждень).

Миттєва пропускна здатність відрізняється від середньої тим, що для усереднення вибирається маленький проміжок часу (наприклад, 10мс, 1с).

Максимальна пропускна здатність – це найбільша миттєва пропускна здатність, зафіксована протягом періоду спостереження. Цей показник дозволяє оцінити можливості мережі з точки зору оброблення пікових навантажень.

Внаслідок послідовного характеру передавання пакетів різними елементами КМ, загальна пропускна спроможність її будь-якого складового шляху буде дорівнювати мінімальній з пропускних здатностей елементів, що складають даний маршрут.

Затримка передавання визначається як затримка між моментом надходження пакета на вхід певного мережевого пристрою (або частини мережі) і моментом його появи на виході цього пристрою. Цей параметр близький до часу реакції мережі, але відрізняється тим, що завжди характеризує тільки мережеві етапи оброблення даних, без затримок оброблення комп'ютерами мережі. Зазвичай, якість мережі характеризують величинами *максимальної затримки передавання* і *варіацією затримки*. Для одного виду трафіку (наприклад, для файлової служби, електронної пошти, служби друку тощо) ці величини не мають значення, а для іншого (мультимедійного) – відіграють вельми принципове значення.

Пропускна здатність і затримки передавання є незалежними параметрами.

Надійність КМ – це інтегральний показник, до складу якого зокрема входять:

- готовність;
- ймовірність доставки пакета без спотворень;
- безпека;
- відмовостійкість.

Готовність або коефіцієнт готовності (availability) означає тривалість часу, протягом якого система може бути використана. Вона може бути поліпшена шляхом введення надлишковості: головні елементи системи повинні існувати в кількох примірниках, щоб при відмові одного з них працювали інші.

Для того, щоб система була високонадійною вона повинна бути високоточною і забезпечувати збереження даних. Також повинна підтриму-

ватися несуперечність даних.

Оскільки мережа працює на основі механізму передавання пакетів між кінцевими вузлами, то однією з головних характеристик надійності є *ймовірність доставки пакета* вузлу призначення без спотворень.

Безпека (security) – це здатність системи захистити дані від несанкціонованого доступу.

Відмовостійкість (fault tolerance) – це здатність системи приховати від користувача відмову окремих її елементів

Розширюваність (extensibility) означає можливість порівняно легкого додання окремих елементів мережі (користувачів, комп'ютерів, додатків, служб), нарощування довжини сегментів мережі і заміни існуючої апаратури потужнішою. При цьому принципово важливо, що легкість розширення системи іноді може забезпечуватися в досить вузьких межах.

Масштабованість (scalability) означає, що мережа дозволяє нарощувати кількість вузлів і довжину зв'язків в досить широких межах без погіршення її продуктивності. Для забезпечення масштабованості КМ доводиться застосовувати додаткове комунікаційне обладнання і певним чином її структурувати.

Прозорість (transparency) КМ досягається в тому випадку, коли мережа подається користувачам не як певна множина окремих комп'ютерів, пов'язаних між собою складною системою кабелів, а як єдина традиційна обчислювальна машина з системою поділу часу.

Прозорість може бути досягнена на двох різних рівнях на рівні користувача і на рівні програміста. На рівні користувача прозорість означає, що для роботи з виділеними ресурсами він використовує ті ж команди та процедури, що і для роботи з локальними ресурсами. На програмному рівні прозорість полягає в тому, що для доступу до виділених ресурсів додатку потрібні ті ж виклики, що й для доступу до локальних ресурсів.

Підтримка різних видів трафіку. КМ в першу чергу, призначені для спільного доступу користувача до ресурсів комп'ютерів. Трафік, що створюється цими традиційними службами КМ, має свої особливості і істотно відрізняється від трафіку повідомлень в телефонних мережах або, наприклад, в мережах кабельного телебачення. Однак 90-і роки стали роками проникнення в КМ мультимедійного трафіку з жорсткими вимогами до синхронності повідомлень, що передаються (інакше будуть спостерігатись спотворення). Трафік комп'ютерних даних характеризується надто нерівномірною інтенсивністю надходження повідомлень у мережу при відсутності жорстких вимог до синхронності їх доставки.

Особливу складність має поєднання в одній мережі традиційного комп'ютерного і мультимедійного трафіків. Оскільки „співіснування” двох типів трафіку потребує протилежних вимог до якості обслуговування.

Керованість мережі означає можливість централізовано контролюва-

ти стан основних елементів мережі, виявляти і вирішувати проблеми, що виникають під час її роботи, виконувати аналіз продуктивності і планувати розвиток мережі.

Сумісність (інтегрованість) означає, що мережа здатна працювати з найрізноманітнішим програмним і апаратним забезпеченням, тобто в ній можуть бути різні ОС, які підтримують різні стеки комунікаційних протоколів, різні апаратні ресурси і додатки від різних виробників. Мережа, що складається з різнотипних елементів, називається неоднорідною (гетерогенною). Якщо гетерогенна мережа працює без проблем, то вона є інтегрованою.

1.5 Контрольні питання

1. Наведіть основні переваги та недоліки застосування КМ.
2. Наведіть основні причини виникнення КМ.
3. Які КМ з'явилися раніше глобальні чи локальні? Відповідь обґрунтуйте.
4. Наведіть основні етапи розвитку КМ.
5. Наведіть порівняльну характеристику локальних та глобальних КМ.
6. Наведіть означення конвергенції КМ.
7. Покажіть як відбувалась конвергенція мереж.
8. Наведіть основні ознаки за якими виконують класифікацію КМ.
9. Наведіть класифікацію КМ за територіальною поширеністю.
10. Наведіть класифікацію КМ за відомчою належністю.
11. Наведіть класифікацію КМ за швидкістю передавання інформації.
12. Наведіть класифікацію КМ за типом середовища передавання та топологією.
13. Наведіть класифікацію КМ за організацією взаємодії комп'ютерів.
14. Наведіть головну вимогу до КМ. Перерахуйте основні вимоги, що характеризують якість виконання основної вимоги.
15. Охарактеризуйте такі вимоги до КМ, як продуктивність, надійність та сумісність, керованість, захищеність, розширюваність та масштабованість.
16. В яких одиницях вимірюється швидкість передавання даних у мережі? В чому принципова відмінність бодів від біт/с?

2 ОСНОВИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ

2.1 Топології комп'ютерних мереж

Топологією КМ називають спосіб з'єднання в ній комп'ютерів (спосіб організації фізичних зв'язків). Іншими словами топологія – це конфігурація графу, вершинам якого відповідають комп'ютери мережі (іноді й інше обладнання, наприклад, концентратори), а ребрам – фізичні зв'язки між ними.

Вибір топології істотно впливає на ряд характеристик мережі. Наприклад, наявність резервних зв'язків підвищує її надійність і робить можливим балансування завантаження окремих каналів. Простота приєднання нових вузлів, яка властива деяким топологіям, робить КМ легко розширюваною. Економічні міркування часто приводять до вибору топологій, для яких характерна мінімальна сумарна довжина ЛЗ.

Класифікація топологій КМ наведена на рис. 2.1 [1, 2, 4, 6, 8, 9, 12].

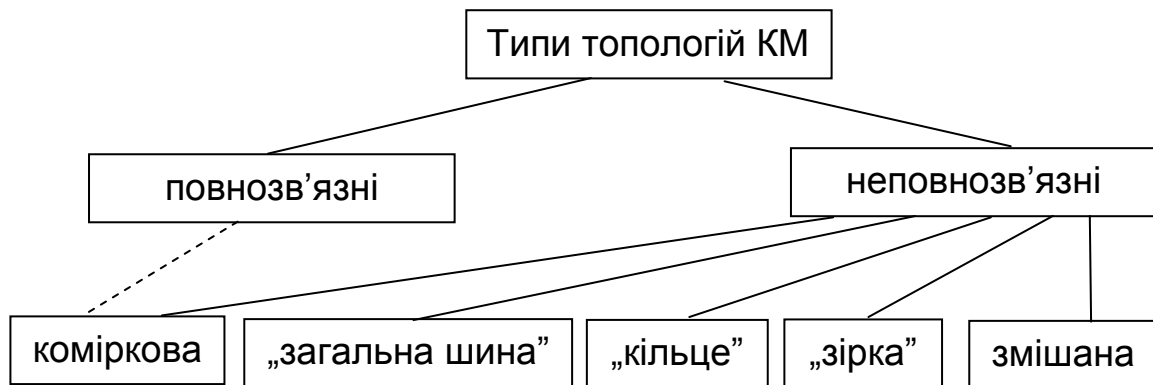


Рисунок 2.1 – Типи топологій КМ

Повнозв'язна топологія (рис. 2.2 а) відповідає мережі, в якій кожний комп'ютер мережі має зв'язки з усіма іншими її комп'ютерами. В загальному випадку це досить громіздкий і неефективний варіант КМ, оскільки потребує велику кількість комунікаційних портів для забезпечення такого зв'язку (кількість ЛЗ у такій КМ буде $n(n-1)/2$, де n – кількість вузлів у мережі). Повнозв'язна топологія застосовується дуже рідко. Найчастіше вона використовується в багатомашинних комплексах або ГКМ при невеликій кількості комп'ютерів.

Всі інші варіанти топологій засновані на неповнозв'язних структурах, коли для обміну даними між двома комп'ютерами може бути потрібна проміжне передавання даних через інші вузли мережі.

Коміркова топологія (*mesh*) виходить з повнозв'язної шляхом видалення деяких можливих зв'язків (рис. 2.2 б). У мережі з комірковою топологією зв'язуються лише ті комп'ютери, між якими відбувається інтенсивний обмін даними. Для обміну даними між комп'ютерами, не з'єднаними прямими ЛЗ, використовуються транзитні передавання через проміжні вуз-

ли. Коміркова топологія допускає з'єднання великої кількості комп'ютерів і характерна, як правило, для ГКМ.

Загальна шина (рис. 2.2 в) донедавна була дуже поширеною топологією для ЛКМ. Тут комп'ютери під'єднуються до одного коаксіального кабелю за схемою "монтажного АБО". Інформація, що надсилається, може розповсюджуватись в обидві сторони. Застосування загальної шини знижує вартість проведення, уніфікує приєднання різних модулів, забезпечує можливість майже миттєвого широкомовного звернення до всіх станцій мережі.

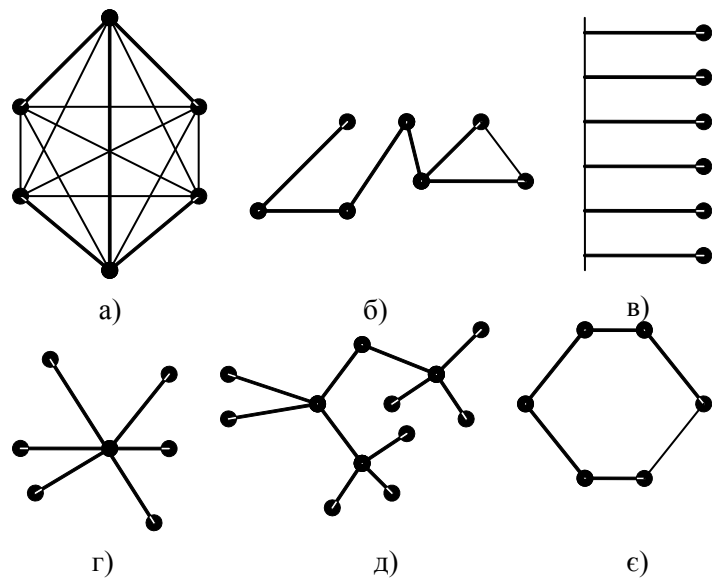


Рисунок 2.2 – Типові топології КМ

Основними перевагами такої схеми є дешевизна і простота прокладання кабелю по приміщеннях. Основні недоліки – низька надійність (будь-який дефект кабелю або будь-якого з роз'ємів повністю паралізує всю КМ), невисока продуктивність (оскільки в кожний момент часу тільки один комп'ютер може надсилати дані у мережу). Тому пропускна спроможність каналу зв'язку тут завжди ділиться між усіма вузлами мережі.

Топологія „зірка” (рис. 2.2 г). У цьому випадку кожний комп'ютер приєднується окремим кабелем до загального пристрою – концентратора, який знаходиться в центрі мережі і надсилає інформацію, що передається комп'ютером одному або всім іншим комп'ютерам мережі. Головна перевага цієї топології перед загальною шиною – набагато більша надійність (будь-які проблеми з кабелем стосуються лише того комп'ютера, до якого цей кабель приєднаний, і тільки несправність концентратора може вивести з ладу всю КМ). Крім того, концентратор може відігравати роль інтелектуального фільтра інформації, що надходить від вузлів у мережу, і при необхідності блокувати заборонені адміністратором передачі.

До недоліків топології типу „зірка” відноситься більш висока вартість мережевого обладнання (внаслідок необхідності придбання концентратора). Крім того, можливості нарощування кількості вузлів у мережі обмежуються кількістю портів концентратора. Іноді доцільно будувати мережу з використанням кількох концентраторів, ієрархічно з'єднаних між собою у вигляді зірки (рис. 2.2 д).

В наш час ієрархічна (розширена) зірка є найпоширенішим типом то-

пології зв'язків як в локальних, так і глобальних КМ.

В мережах з *кільцевою* конфігурацією (рис. 2.2, е) дані передаються по кільцю від одного комп'ютера до іншого, як правило, в одному напрямку. Якщо комп'ютер розпізнає дані як "свої", то він копіює їх у свій внутрішній буфер. У мережі з кільцевою топологією слід вживати спеціальних заходів, щоб у разі виходу з ладу або вимкнення будь-якої станції не розривався канал зв'язку між іншими станціями. Кільце є дуже зручною конфігурацією для створення зворотного зв'язку: дані, зробивши повний обіг, повертаються до вузла-джерела. Тому останній може контролювати процес доставляння даних адресату. Часто ця властивість кільця використовується для тестування зв'язаності мережі і пошуку вузла, який працює некоректно. Для цього у мережу посилаються спеціальні тестові повідомлення.

В той час коли невеликі КМ, як правило, мають типову топологію „зірка”, „кільце” або „загальна шина”, для великих мереж характерна наявність довільних зв'язків між комп'ютерами. В таких мережах можна виділити окремі довільно зв'язані фрагменти (підмережі), що мають типову топологію, тому їх називають мережами зі змішаною *топологією* (рис. 2.3).

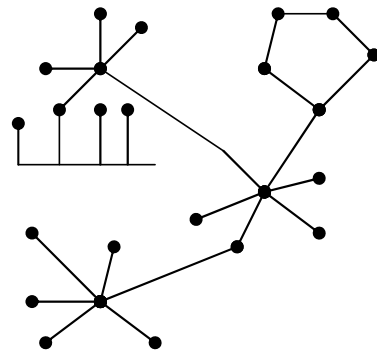


Рисунок 2.3 – Змішана топологія

2.2 Комутація каналів і пакетів

Серед багатьох можливих підходів до розв'язання задачі комутації абонентів у мережах виділяють два основних [1 – 3, 4, 6, 9]:

- комутація каналів (circuit switching);
- комутація пакетів (packet switching).

Зовні обидві ці схеми відповідають наведеній на рисунку 1.6 структурі мережі, однак, їх можливості та властивості різні.

Мережі з комутацією каналів (КК) мають більш багату історію, вони походять від перших телефонних мереж. Мережі з комутацією пакетів (КП) порівняно молоді, вони з'явилися наприкінці 60-х років як результат експериментів з першими ГКМ. Кожна з цих схем має свої переваги та недоліки, але технологія КП більш гнучка та універсальна.

Комутація каналів

При КК комутаційна мережа утворює між кінцевими вузлами безперервний складений фізичний канал, з послідовно з'єднаних комутаторами, проміжних каналних ділянок. Умовою того, що кілька фізичних каналів при послідовному з'єднанні утворюють єдиний фізичний канал, є рівність швидкостей передавання даних у кожному зі складових фізичних каналів.

Така рівність означає, що комутатори даної мережі не повинні буферизувати дані, які надсилаються [1].

У мережі з КК до передавання даних завжди необхідно виконати процедуру встановлення з'єднання, у процесі якої і створюється складений канал. Наприклад, якщо мережа, зображена на рисунку 2.4 побудована за технологією КК, то вузол 1, щоб передати дані вузлу 7, спочатку повинен передати спеціальний запит на встановлення з'єднання комутатору А, вказавши адресу призначення 7. Комутатор А повинен вибрати маршрут утворення складеного каналу, а потім передати запит наступному комутатору, в даному випадку Е. Потім комутатор Е надсилає запит комутатору F, а той, в свою чергу – вузлу 7. Якщо вузол 7 приймає запит на встановлення з'єднання, він надсилає по вже встановленому каналу відповідь вихідному вузлу, після чого складений канал вважається скомутованим, і вузли 1 і 7 можуть обмінюватися по ньому даними.

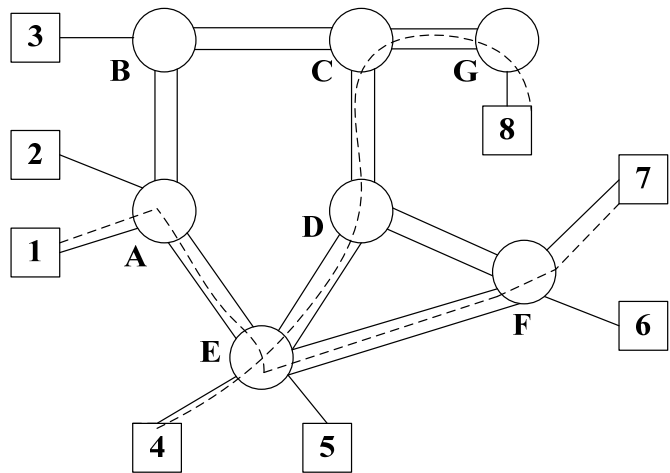


Рисунок 2.4 – Загальна структура мережі з комутацією абонентів

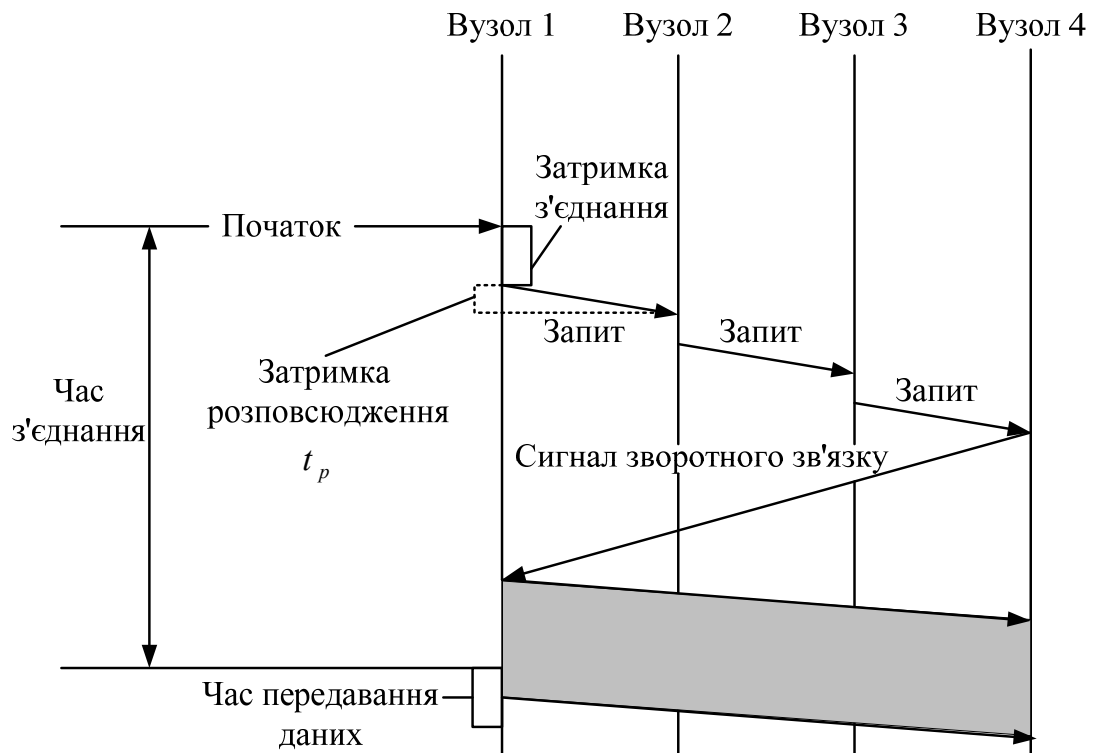


Рисунок 2.5 – Встановлення складеного каналу

Техніка КК має свої переваги та недоліки [1 – 4].

Переваги КК

1. Постійна та відома швидкість передавання даних по встановленому між кінцевими вузлами каналу. Це дає користувачу мережі можливості, на основі заздалегідь зробленої оцінки, необхідної для якісного передавання даних пропускної здатності, встановити у мережі канал потрібної швидкості.

2. Низький і постійний рівень затримки передавання даних через мережу. Це дозволяє якісно передавати дані, чутливі до затримок (такі дані називають трафіком реального часу) – голос, відео, різну технологічну інформацію.

Недоліки КК

1. Відмова мережі в обслуговуванні запиту на встановлення з'єднання. Така ситуація може скластися через те, що на певній ділянці мережі з'єднання слід встановити вздовж каналу, через який вже проходить максимально можлива кількість інформаційних потоків. Відмова може трапитися і на кінцевій ділянці складеного каналу. Наприклад, якщо абонент здатний підтримувати тільки одне з'єднання, що характерно для багатьох телефонних мереж.

2. Нераціональне використання пропускної здатності фізичних каналів. Та частина пропускної здатності, що приділяється складеному каналу після встановлення з'єднання, надається йому на весь час, поки з'єднання не буде розірвано. Проте абонентам не завжди потрібна пропускна здатність каналу під час з'єднання, наприклад, у телефонній розмові можуть бути паузи. Взаємодія комп'ютерів у часі часто буває ще більш нерівномірною. Неможливість динамічного перерозподілу пропускної здатності є принциповим обмеженням мережі з КК, оскільки одиницею комутації тут є інформаційний потік в цілому.

3. Обов'язкова затримка перед передаванням даних внаслідок фази встановлення з'єднання.

Переваги та недоліки будь-якої мережевої технології відносні. У певних ситуаціях на перший план виходять переваги, а недоліки стають несуттєвими. Так, технологія КК добре працює в тих випадках, коли потрібно передавати тільки трафік телефонних розмов. Тут можна миритися з неможливістю „вирізати” паузи з розмови і більш раціонально використовувати магістральні фізичні канали між комутаторами. А при передаванні дуже нерівномірного комп'ютерного трафіку ця нераціональність вже виходить на перший план.

Комутація пакетів

Ця техніка комутації була розроблена спеціально для ефективного передавання комп'ютерного трафіку. Перші кроки на шляху створення КМ на основі техніки КК показали, що цей вид комутації не дозволяє досягти

високої загальної пропускної здатності мережі. Типові мережеві додатки генерують трафік досить нерівномірно, з високим рівнем пульсації швидкості передавання даних. Наприклад, при зверненні до вилученого файлового сервера користувач спочатку переглядає вміст його каталогу, що породжує передавання невеликого обсягу 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 дані. Після відображення кількох сторінок файла користувач якийсь час працює з ними локально, що взагалі не вимагає передавання даних по мережі, а потім повертає модифіковані копії сторінок на сервер – і це знову породжує інтенсивне передавання даних по мережі [1 – 4, 17].

Коефіцієнт пульсації трафіку окремого користувача мережі (дорівнює відношенню середньої інтенсивності обміну даними до максимально можливого), може досягати 1:50 або навіть 1:100. Якщо для описаної сесії організувати комутацію каналу між комп'ютером користувача й сервером, то більшу частину часу канал буде простоювати. У той же час комутаційні можливості мережі будуть закріплені за даною парою абонентів і будуть недоступні іншим користувачам мережі.

При застосуванні КП усі передані користувачем повідомлення розбиваються у вихідному вузлі на порівняно невеликі частини – пакети (нагадаємо, що повідомленням називається логічно завершена порція даних – запит на передавання файла, відповідь на цей запит, що містить весь файл тощо). Повідомлення можуть мати довільну довжину, від кількох байтів до сотень мегабайтів. Пакети, зазвичай, теж можуть мати змінну довжину, але у вузьких межах (наприклад, від 46 до 1500 байт). Кожний пакет забезпечується заголовком, у якому вказуються, зокрема, адресна інформація, необхідна для доставлення пакета на вузол призначення та номер пакета, що буде використовуватись вузлом призначення для збирання повідомлення (рис. 2.6). Пакети транспортуються мережею як незалежні інформаційні блоки. Комутатори мережі приймають пакети від кінцевих вузлів і на підставі адресної інформації передають їх один одному, і в остаточному підсумку – вузлу призначення.

Комутатори пакетної мережі відрізняються від комутаторів каналів тим, що вони мають внутрішню буферну пам'ять для тимчасового зберігання пакетів, якщо вихідний порт комутатора в момент прийняття пакета зайнятий передаванням іншого пакета (рис. 2.6). В цьому випадку пакет перебуває деякий час у черзі пакетів у буферній пам'яті вихідного порту, а коли до нього дійде черга, він передається наступному комутатору. Така схема передавання даних дозволяє згладжувати пульсацію трафіку на магістральних зв'язках між комутаторами і тим самим найбільш ефективно використати їх для підвищення пропускної здатності мережі в цілому.

Дійсно, для пари абонентів найбільш ефективним було б надання їм в користування зкомутованого каналу зв'язку, як це робиться в мережах з

КК. В такому випадку час взаємодії цієї пари абонентів було б мінімальним, оскільки дані без затримок передавались би від одного абонента іншому. Простої каналу під час пауз передавання абонентів не цікавлять, для них важливо швидше вирішити своє завдання. Мережа з КП сповільнює процес взаємодії конкретної пари абонентів, оскільки їх пакети можуть очікувати в комутаторах, поки по магістральних зв'язках передаються інші пакети, які надійшли в комутатор раніше.

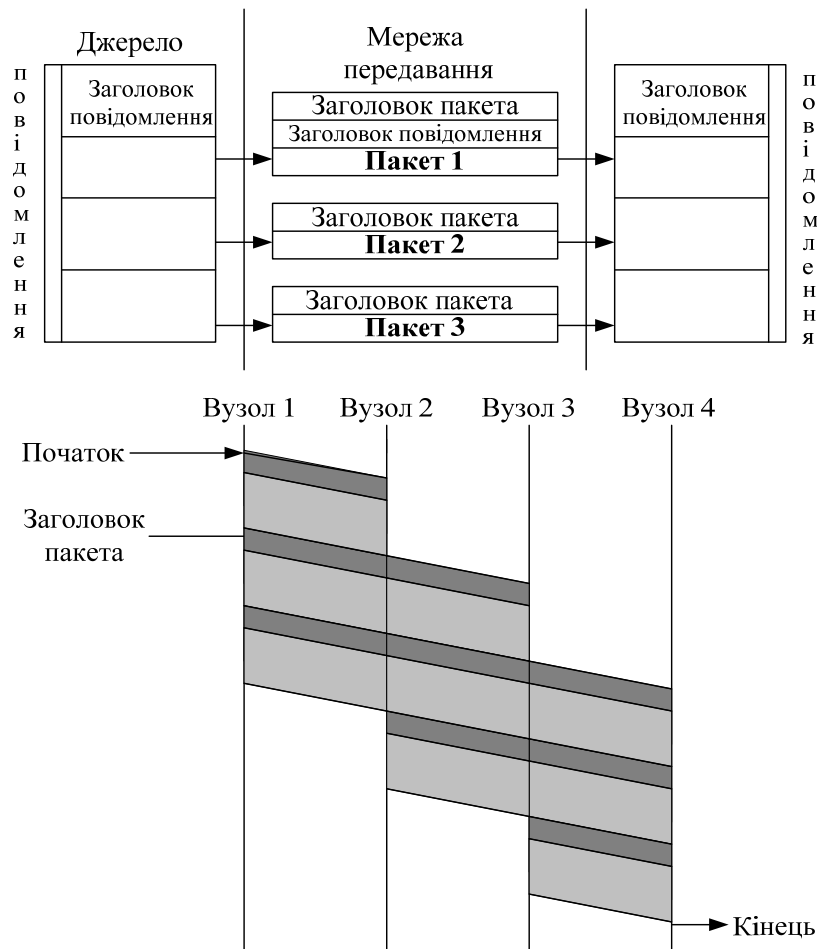


Рисунок 2.6 – Розбивання повідомлення на пакети

Проте загальний обсяг переданих мережею комп'ютерних даних за одиницю часу у випадку застосування технології КП буде більший, ніж у випадку застосування технології КК. Це відбувається тому, що пульсації трафіку окремих абонентів відповідно до закону великих чисел розподіляються за часом так, що їх піки не збігаються. Тому комутатори постійно й досить рівномірно завантажені роботою, якщо число абонентів, які вони обслуговують, дійсно велике. На рис. 2.7 показано, що трафік, який надходить від кінцевих вузлів на комутатори, розподілений у часі дуже нерівномірно. Однак комутатори більш високого рівня ієрархії, які обслуговують з'єднання між комутаторами нижнього рівня, завантажені більш рівномір-

но, і потік пакетів у магістральних каналах, що з'єднує комутатори верхнього рівня, має майже максимальний коефіцієнт використання. Застосування буферизації згладжує пульсації, тому коефіцієнт пульсацій на магістральних каналах набагато нижчий, ніж на каналах абонентського доступу – він може дорівнювати 1:10 або навіть 1:2.

Більш висока ефективність мереж з КП порівняно з мережами з КК (при однаковій пропускній здатності каналів зв'язку) була доведена в 60-і роки як експериментально, так і за допомогою імітаційного моделювання. Тут доречна аналогія з мультипрограмами ОС. Кожна окрема

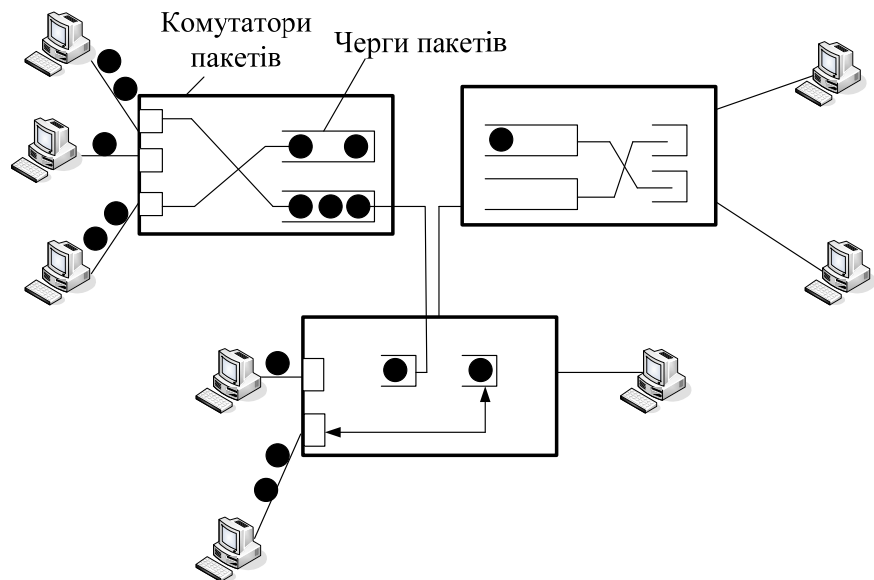


Рисунок 2.7 – Згладжування пульсацій трафіку у мережі з КП

програма в такій системі виконується довше, ніж в однопрограми системі, коли програмі виділяється весь процесорний час, поки її виконання не завершиться. Однак загальне число програм, виконуваних за одиницю часу, у мультипрограми системі більше, ніж в однопрограми системі.

Мережа з КП сповільнює процес взаємодії конкретної пари абонентів, але підвищує пропускну здатність мережі в цілому.

Затримки у джерелі передавання:

- час на передавання заголовків;
- затримки, викликані інтервалами між передаванням кожного наступного пакета.

Затримки в кожному комутаторі:

- час буферизації пакета;
- час комутації, що складається з:
 - часу очікування пакета у черзі (змінна величина);
 - часу переміщення пакета у вихідний порт.

Переваги КП

1. Висока загальна пропускну здатність мережі при передаванні пульсуючого трафіку.

2. Можливість динамічно перерозподіляти пропускну здатність фізичних каналів зв'язку між абонентами відповідно до реальних потреб їх трафіку.

Недоліки КП

1. Невизначеність швидкості передавання даних між абонентами мережі, обумовлена тим, що затримки в чергах буферів комутаторів мережі залежать від загального завантаження мережі.

2. Змінна величина затримки пакетів даних, що може бути досить тривалою у моменти миттєвих перевантажень мережі.

3. Можливі втрати даних внаслідок переповнення буферів.

Сьогодні активно розробляються та впроваджуються методи, що дозволяють уникнути зазначених недоліків, які особливо гостро проявляються для чутливого до затримок трафіку, що вимагає при цьому постійної швидкості передавання. Такі методи називаються методами забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS).

Мережі з КП, в яких реалізовані методи забезпечення якості обслуговування, дозволяють одночасно передавати різні види трафіку, в тому числі й такі важливі як телефонний і комп'ютерний. Тому методи КП сьогодні вважаються найбільш перспективними для побудови конвергентної мережі, що забезпечить комплексні якісні послуги для абонентів будь-якого типу. Проте не можна не враховувати й методи КК. Сьогодні вони не тільки з успіхом працюють у традиційних телефонних мережах, а й широко застосовуються для утворення високошвидкісних постійних з'єднань у так званих первинних (опорних) мережах технологій SDH і DWDM, які використовуються для створення магістральних фізичних каналів між комутаторами телефонних або комп'ютерних мереж.

Пропускна здатність мереж з КП

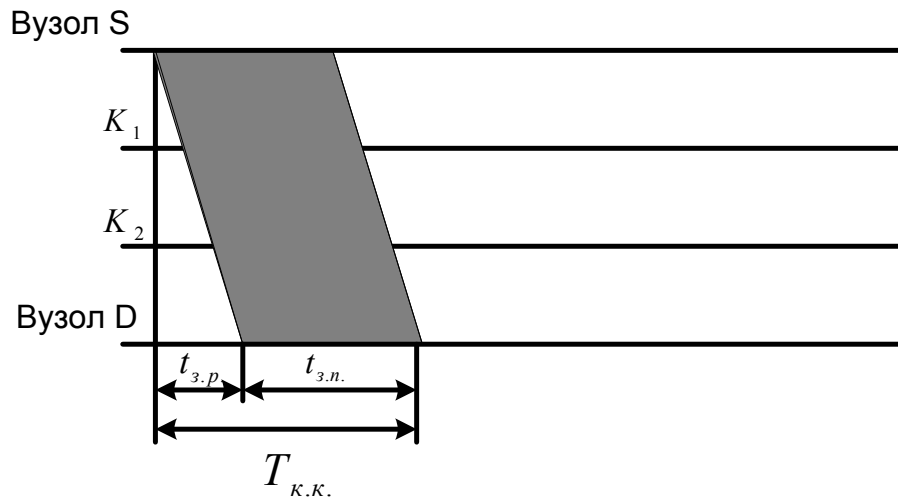
Однією з відмінностей методу комутації пакетів від методу комутації каналів є невизначеність пропускну здатності з'єднання між двома абонентами. У методі КК після утворення складеного каналу пропускна здатність мережі при передаванні даних між кінцевими вузлами відома – це пропускна здатність каналу. Дані після затримки, зв'язаної із встановленням каналу, починають передаватися на максимальній для каналу швидкості (рис. 2.8, а). Час передавання повідомлення у мережі з КК ($T_{к.к}$) можна визначити за формулою [1]

$$T_{к.к} = T_{з.р.} + T_{з.п.}$$

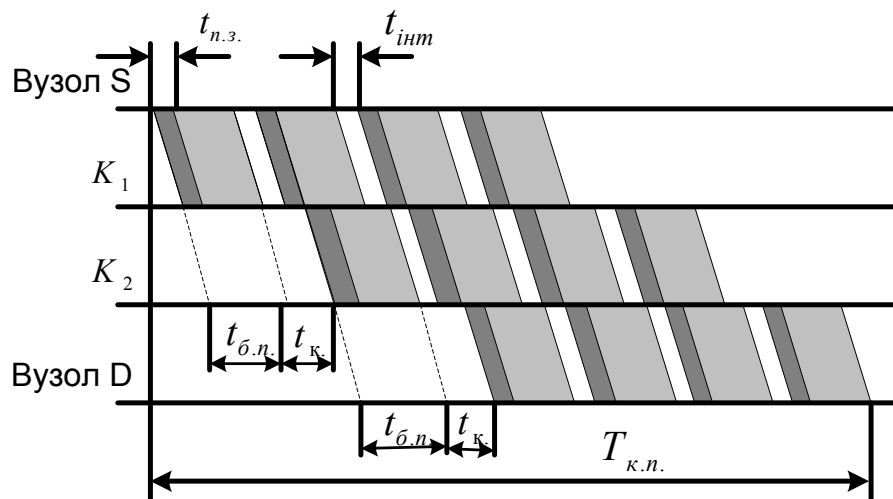
де $T_{з.р.}$ – час затримки розповсюдження сигналу по ЛЗ (залежить від швидкості розповсюдження електромагнітних хвиль у конкретному фізичному середовищі та коливається від 0,6 до 0,9 швидкості світла у вакуумі); $T_{з.п}$ – час затримки передавання повідомлення

$$T_{з.п} = V/C,$$

де V – обсяг повідомлення у бітах; C – пропускна здатність каналу у бітах за секунду.



а)



б)

Рисунок 2.8 – Затримки передавання у мережах: з КК (а), з КП (б)

У мережі з КП ситуація інша. Процедура встановлення з'єднання в цих мережах (якщо вона використовується), займає приблизно такий же час, як і у мережах з КК, тому будемо порівнювати тільки час передавання даних. На рис. 2.8, б наведено приклад передавання у мережі з КП. Передбачається, що у мережу передається повідомлення того ж обсягу, що і повідомлення, наведено на рис. 2.8. а, проте воно розділене на пакети, кожний з яких має заголовок. Час передавання повідомлення у мережі з КП позначений на рис. $T_{к.п.}$. При передаванні цього повідомлення, розбитого на пакети, по мережі з КП виникають додаткові часові затримки. По-перше, це затримки у джерелі передавання, що, крім передачі повідомлення, витрачає додатковий час на передавання заголовків $t_{п.з.}$, плюс до цього додаються затримки $t_{инт}$, викликані інтервалами між передаванням кожного наступного пакета (цей час іде на формування чергового пакета стеком протоколів).

По-друге, додатковий час витрачається у кожному комутаторі. Тут затримки складаються з часу буферизації пакета $t_{б.п.}$ (комутатор не може почати передавання пакета, не прийнявши його у свій буфер) і часу комутації t_k . Час буферизації дорівнює часу приймання пакета з бітовою швидкістю протоколу. Час комутації складається з часу чекання пакета у черзі і часу переміщення пакета у вихідний порт. Якщо час переміщення пакета фіксований і, зазвичай, невеликий (від декількох мікросекунд до декількох десятків мікросекунд), то час чекання пакета у черзі коливається в дуже широких межах і заздалегідь невідомий, оскільки залежить від поточного завантаження мережі пакетами.

Проведемо грубе оцінювання затримки передавання даних у мережах з КП у порівнянні з мережами з КК на найпростішому прикладі. Нехай [1]:

- тестове повідомлення, яке потрібно передати в обох видах мереж, складає 200 Кбайт;
- відправник знаходиться від одержувача на відстані 5000 км;
- пропускна здатність ЛЗ складає 2 Мбіт/с.

Тоді час передавання даних по мережі з КК складається з часу розповсюдження сигналу, що для відстані 5000 км можна оцінити приблизно у 25 мс, і часу передавання повідомлення, який при пропускній здатності 2 Мбіт/с і довжині повідомлення 200 Кбайт дорівнюватиме приблизно 800 мс, тобто всього передавання даних займе 825 мс.

Оцінимо додатковий час, який потрібен для передавання цього повідомлення по мережі з КП. Будемо вважати, що шлях від відправника до одержувача проходить через 10 комутаторів. Вихідне повідомлення розбивається на пакети в 1 Кбайт, отже, всього маємо 200 пакетів. Спочатку оцінимо затримку, яка виникає у вихідному вузлі. Припустимо, що частка службової інформації, розміщеної у заголовках пакетів, стосовно загального обсягу повідомлення складає 10 %. Отже, додаткова затримка, зв'язана з передаванням заголовків пакетів, складає 10% від часу передавання цілого повідомлення, тобто 80 мс. Якщо прийняти інтервал між відправленням пакетів рівним 1 мс, тоді додаткові втрати за рахунок інтервалів складуть 200 мс. Разом, у вихідному вузлі через пакетування повідомлення при передаванні виникає додаткова затримка у 280 мс.

Кожний з 10 комутаторів вносить затримку комутації, яка може мати великий розкид, від десятих долей до тисяч мілісекунд. У даному прикладі приймемо, що на комутацію в середньому витрачається 20 мс. Крім того, при проходженні повідомлень через комутатор виникає затримка буферизації пакета. Ця затримка при величині пакета 1 Кбайт і пропускної здатності ЛЗ 2 Мбіт/с дорівнює 4 мс. Загальна затримка, внесена 10 комутаторами, складе приблизно 240 мс. В результаті додаткова затримка, внесена мережею з КП, складатиме 520 мс. З огляду на те, що все передавання даних у мережі з КК дорівнювало 825 мс, цю додаткову затримку можна вважати досить істотною [1].

Даний розрахунок дуже приблизний, але він робить більш зрозумілими причини, які приводять до того, що процес передавання для певної пари абонентів у мережі з КП повільніший, ніж у мережі з КК.

Невизначена пропускна здатність мережі з КП – це плата за її загальну ефективність при деякому обмеженні інтересів окремих абонентів. Аналогічно, у мультипрограмній операційній системі час виконання застосування точно прогнозувати заздалегідь неможливо, оскільки він залежить від кількості інших застосувань, з якими дане застосування ділить процесор.

На ефективність роботи мережі істотно впливають розміри пакетів, що передає мережа. Занадто великі розміри пакетів наближають мережу з КП до мережі з КК. Занадто маленькі пакети помітно збільшують частку службової інформації, оскільки кожен пакет несе із собою заголовок фіксованої довжини, а кількість пакетів, на які розбиваються повідомлення, буде різко зростати при зменшенні розміру пакета. Існує деяка золота середина, що забезпечує максимальну ефективність роботи мережі, однак, її важко визначити точно, оскільки вона залежить від багатьох факторів, деякі з них до того ж постійно змінюються в процесі роботи мережі. Тому розробники протоколів для мереж з КП вибирають межі, у яких може знаходитися довжина пакета, а точніше його поле даних, оскільки заголовок, як правило, має фіксовану довжину. Зазвичай, нижня межа поля даних вибирається рівною нулю, що дозволяє передавати службові пакети без даних користувача, а верхня межа не перевищує чотирьох кілобайтів. Застосування під час передавання даних намагаються зайняти максимальний розмір поля даних, щоб швидше виконати обмін даними, а невеликі пакети, зазвичай, використовуються для квитанцій про доставку пакета.

При виборі розміру пакета необхідно враховувати також і інтенсивність бітових помилок каналу. На ненадійних каналах необхідно зменшувати розміри пакетів, оскільки це зменшує обсяг повторно переданих даних при спотвореннях пакетів [1].

2.3 Структуризація як засіб побудови великих мереж

У мережах з невеликою (10 – 30) кількістю комп'ютерів найчастіше використовується одна з типових топологій – „загальна шина”, „кільце”, „зірка” або повнозв'язна мережа. Усі ці топології мають властивість однорідності, тобто усі комп'ютери в такій КМ мають однакові права доступу до інших комп'ютерів (за винятком центрального комп'ютера при з'єднанні типу „зірка”). Така однорідність структури спрощує процедуру нарощування числа комп'ютерів, полегшує обслуговування та експлуатацію мережі [1 – 4, 7, 14].

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

- обмеження на довжину зв'язку між вузлами;
- обмеження на кількість вузлів у мережі;
- обмеження на інтенсивність трафіку, що генерують вузли мережі.

Наприклад, технологія Ethernet на тонкому коаксіальному кабелі дозволяє використати кабель довжиною не більше 185 метрів, до якого можна приєднати не більше ніж 30 комп'ютерів. Однак якщо комп'ютери інтенсивно обмінюються інформацією, іноді доводиться знижувати їх кількість до 20, а то й до 10, щоб кожному комп'ютеру діставалася прийнятна частка загальної пропускної здатності мережі.

Для зняття цих обмежень використовуються особливі методи структуризації мережі та спеціальне комунікаційне обладнання – повторювачі, концентратори, мости, комутатори, маршрутизатори.

Розрізняють:

- топологію фізичних зв'язків (фізичну структуру мережі). В цьому випадку конфігурація фізичних зв'язків визначається електричними з'єднаннями комп'ютерів, тобто ребрам графу відповідають відрізки кабелю, що зв'язують пари вузлів;

- топологію логічних зв'язків (логічну структуру мережі). Тут як логічні зв'язки виступають маршрути передавання даних між вузлами мережі, які утворюються шляхом відповідного настроювання комунікаційного обладнання.

Фізична структуризація мережі

Найпростіший з комунікаційних пристроїв – повторювач (repeater) – використовується для фізичного з'єднання різних сегментів кабелю ЛКМ з метою збільшення її загальної довжини. Повторювач передає сигнали, що надходять з одного сегмента мережі, в її інші сегменти (рис. 2.9). Він дозволяє усунути обмеження на довжину ЛЗ шляхом поліпшення якості переданого сигналу – відновлення його потужності та амплітуди, поліпшення фронтів тощо [1, 3, 4, 17].

Повторювач, що має більше одного порту і з'єднує кілька фізичних сегментів називають концентратором (concentrator) або хабом (hub). Ці назви кажуть про те, що в даному пристрої зосереджені усі зв'язки між сегментами мережі. Використання концентраторів характерно практично для усіх базових технологій локальних мереж – Ethernet, ArcNet, Token Ring, FDDI, Fast Ethernet та Gigabit Ethernet.

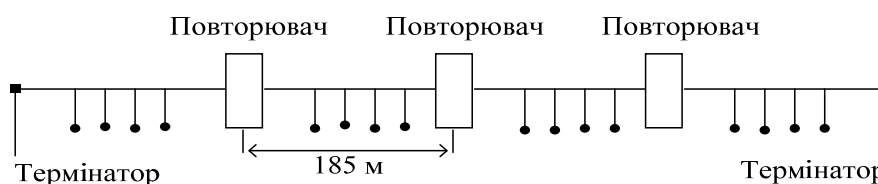


Рисунок 2.9 – Застосування повторювачів у КМ

В роботі будь-яких концентраторів багато спільного – вони повторюють сигнали, що надійшли до одного з їх портів на інші. Різниця полягає в тому, на яких саме портах повторюються вхідні сигнали. Так, концентратор Ethernet повторює вхідні сигнали на всіх своїх портах, крім того, з якого сигнали надходять (рис. 2.10 а). Концентратор Token Ring (рис. 2.10 б) повторює вхідні сигнали, що надходять з деякого порту, тільки на один порт – на той, до якого приєднаний наступний у кільці комп'ютер.

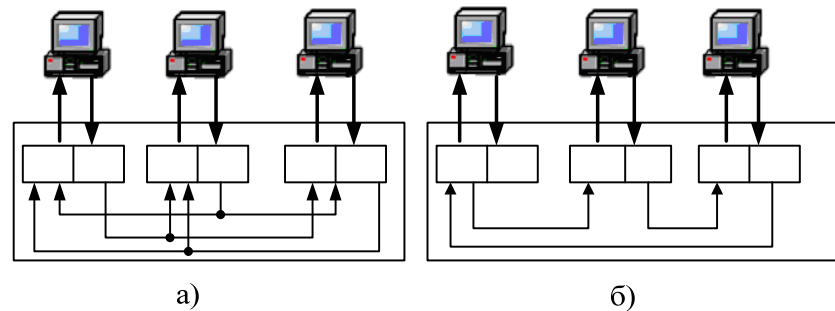


Рисунок 2.10 – Концентратори: а) Ethernet, б) Token Ring

Додання у мережу концентратора завжди змінює фізичну топологію (ФТ) мережі, але при цьому залишає без змін її логічну топологію (ЛТ).

В багатьох випадках ФТ і ЛТ мережі збігаються. Наприклад, мережа, наведена на рис. 2.11 б, має ФТ „кільце”. Комп'ютери такої мережі одержують доступ до кабелів кільця за рахунок передавання один одному спеціального кадру – маркера. Такий маркер також надсилається послідовно від комп'ютера до комп'ютера в тому ж порядку, в якому комп'ютери утворюють фізичне кільце. Тобто комп'ютер А надсилає маркер комп'ютеру В, комп'ютер В – комп'ютеру С тощо.

Мережа, наведена на рис. 2.11 б, демонструє приклад розбіжності фізичної й логічної топології. Фізично комп'ютери з'єднані за

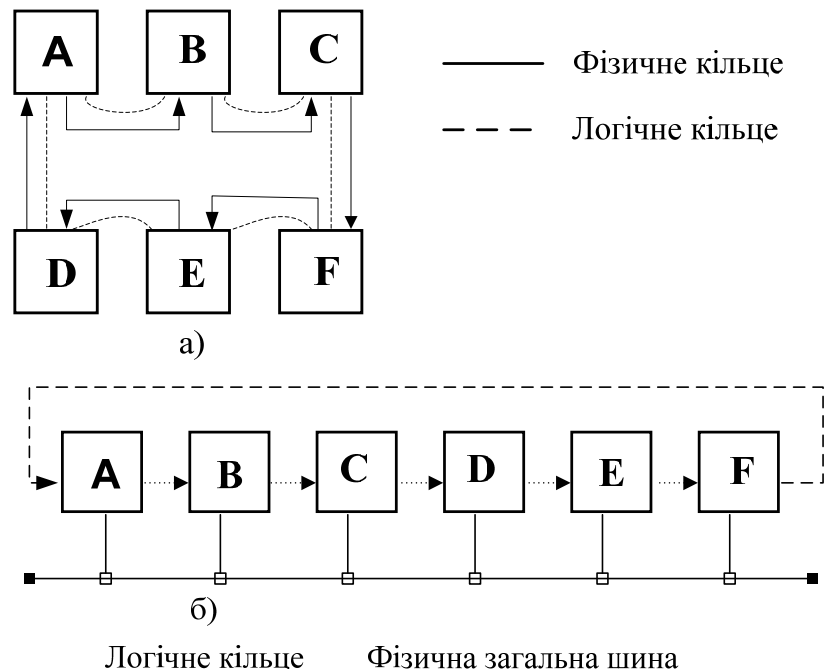


Рисунок 2.11 – Логічна та фізична структури

а) ЛТ і ФТ мережі збігаються;

б) ЛТ і ФТ мережі збігаються

розбіжності фізичної й логічної топології. Фізично комп'ютери з'єднані за

топологією „загальна шина”. Доступ до шини відбувається не за алгоритмом випадкового доступу, який застосовується в технології Ethernet, а шляхом передавання маркера в кільцевому порядку. Тут порядок передавання маркера вже не повторює фізичні зв’язки, а визначається логічним конфігуруванням драйверів мережевих адаптерів.

Ще одним прикладом розбіжності фізичної й логічної топології мережі є вже розглянута мережа Ethernet. Тут концентратор підтримує ФТ „зірка”. Однак ЛТ мережі залишилася без змін – це „загальна шина”.

Фізична структуризація мережі за допомогою концентраторів корисна не тільки для збільшення відстані між вузлами мережі, а й для підвищення її надійності. Наприклад, якщо деякий комп’ютер мережі Ethernet з фізичною загальною шиною через збій починає безперервно передавати дані по загальному кабелю – уся мережа виходить з ладу і треба вручну від’єднати кабель від цього комп’ютера. У мережі Ethernet, побудованій на основі концентратора, ця проблема може бути вирішена автоматично – шляхом вимикання відповідного порту концентратора.

Логічна структуризація мережі

Фізична структуризація (ФС) мережі корисна в багатьох відношеннях, однак, у ряді випадків, що, зазвичай, стосуються мереж великого й середнього розміру, без логічної структуризації (ЛС) мережі обійтись неможливо. Найважливішою проблемою, яку не можна розв’язати шляхом ФС, залишається проблема перерозподілу переданого трафіку між різними фізичними сегментами мережі [1 – 4, 17].

У великій мережі виникає неоднорідність інформаційних потоків. В одних випадках найінтенсивніший обмін даними спостерігається між комп’ютерами, що належать одній підмережі, і тільки невелика частина обігів відбувається до ресурсів комп’ютерів, що перебувають поза локальними робочими групами. В інших випадках – навпаки. Але незалежно від розподілу зовнішнього і внутрішнього трафіку, для підвищення ефективності роботи мережі неоднорідність інформаційних потоків слід враховувати. Мережа з типовою топологією („шина”, „кільце”, „зірка”), в якій усі фізичні сегменти розглядаються як одне розділюване середовище, виявляється неадекватною структурі інформаційних потоків у великій мережі. Наприклад, у мережі із загальною шиною взаємодія будь-якої пари комп’ютерів займає її на весь час обміну, і при збільшенні кількості комп’ютерів у мережі шина стає вузьким місцем. Комп’ютери одного відділу змушені чекати, коли завершить обмін пара комп’ютерів іншого відділу. Такий випадок проілюстровано на рис. 2.12. Нехай комп’ютер А, що розташований в одній підмережі з комп’ютером В, надсилає йому дані. Незважаючи на розгалужену фізичну структуру мережі, концентратори надсилають будь-який кадр до усіх її сегментів. І доти поки комп’ютер В не одержить адресований йому кадр, жоден з комп’ютерів усієї цієї мережі не

зможє передавати дані.

Така ситуація виникає тому, що логічна структура даної КМ залишилася однорідною (загальною шиною) і не враховує можливість локального оброблення трафіку усередині відділу. Для вирішення задачі слід відмовитись від ідеї єдиного однорідного розділюваного середовища (рис. 2.13). Наприклад, у даному випадку слід зробити так, щоб кадри, які передають комп'ютери відділу 1, виходили б за його межі лише тоді, коли ці кадри спрямовані комп'ютеру з інших відділів. З іншого боку, у мережу кожного з відділів повинні попадати тільки ті кадри, які адресовані вузлам цієї мережі. При такій організації роботи мережі її продуктивність істотно підвищиться, оскільки комп'ютери одного відділу не будуть простоювати в той час, коли обмінюються даними комп'ютери інших відділів.

Зазначимо, що пропускна здатність ліній зв'язку між відділами не повинна збігатися з пропускною здатністю середовища усере-

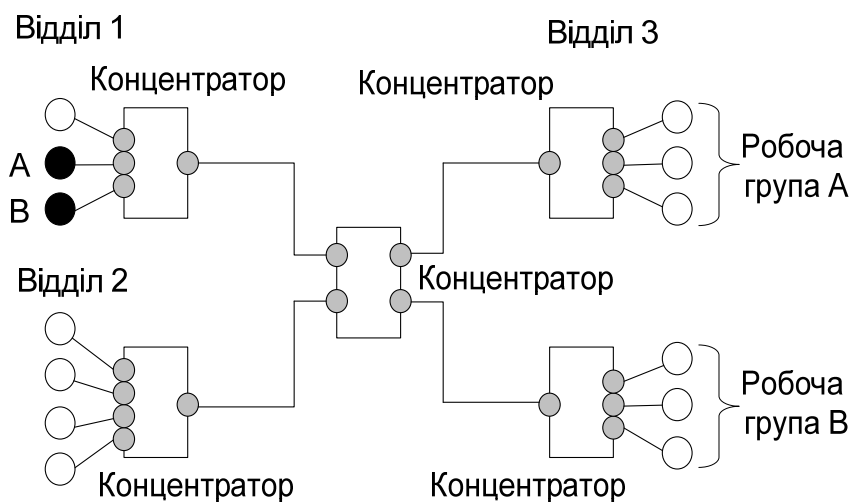


Рисунок 2.12 – Фізична структуризація на основі концентраторів

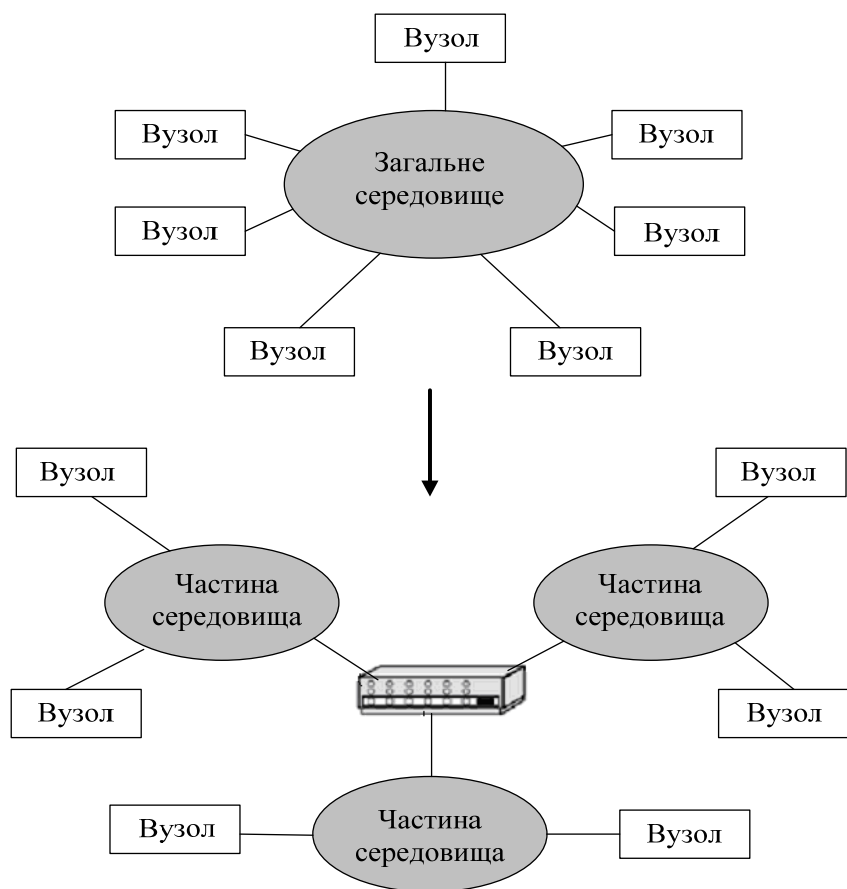


Рисунок 2.13 – Відмова від єдиного розділюваного середовища

дині відділів. Цей факт слід враховувати під час проектування такої мережі.

Розповсюдження трафіку, призначеного для комп'ютерів деякого сегмента мережі, тільки у межах цього сегмента, називається *локалізацією трафіку* [1].

Логічна структуризація мережі – це процес поділу мережі на сегменти з локалізованим трафіком. Для логічної структуризації мережі використовуються мости, комутатори, маршрутизатори та шлюзи [1 – 4].

Міст (bridge) ділить розділюване середовище передавання мережі на частини (логічні сегменти), передаючи інформацію з одного сегмента в іншій лише тоді, коли таке передавання дійсно необхідне (тобто коли адреса комп'ютера призначення належить іншій підмережі). Тим самим міст ізолює трафік однієї підмережі від трафіку іншої, підвищуючи загальну продуктивність передавання даних у мережі. Локалізація трафіку не тільки заощаджує пропускну здатність, а й зменшує можливість несанкціонованого доступу до даних, оскільки кадри не виходять за межі свого сегмента, і зловмиснику складніше перехопити їх. Кажуть також, що міст ділить розділюване середовище передавання мережі на окремі колізійні домени. *Колізійний домен (Collision domain)* – це сегмент мережі, у якому станції використовують загальне середовище передавання даних. Усі пристрої у межах цього домену розпізнають колізію, незалежно від місця її виникнення.

Кожен порт моста утворює такий окремий колізійний домен. Проте усі сегменти, що з'єднані мостом, утворюють єдину область ширококомовлення або єдиний ширококомовний домен.

Широкомовний домен (Broadcast domain) – це логічна ділянка КМ, в якій кожен пристрій може надсилати дані безпосередньо будь-якому іншому пристрою, використовуючи ширококомовну адресу канального рівня моделі OSI.

На рис. 2.14 наведено мережу, яка була отримана із мережі з центральним концентратором (див. рис. 2.12) шляхом його заміни на міст. Отримана таким чином мережа буде мати один великий ширококомовний домен і чотири колізійних домени (по одному на кожен порт моста). У випадку хаба мережа мала один ширококомовний і колі-

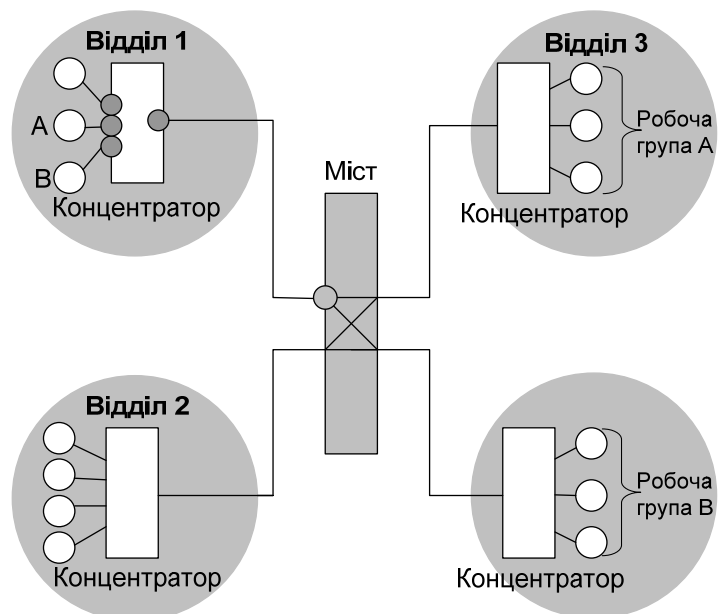


Рисунок 2.14 – Логічна структуризація мережі за допомогою моста

зійний домени. Мережі першого та другого відділів складаються з окремих логічних сегментів, а мережа третього відділу – з двох логічних сегментів. Кожен логічний сегмент побудований на базі концентратора та має найпростішу фізичну структуру, утворену відрізками кабелю, що зв'язують комп'ютери з портами концентратора. Якщо користувач комп'ютера А надішле дані користувачу комп'ютера В, який перебуває в одному з них сегментів, то ці дані будуть повторені лише на тих мережевих інтерфейсах, які позначені на рисунку заштрихованими кружками [1].

Мости використовують для локалізації трафіку апаратні адреси комп'ютерів. Це ускладнює розпізнавання належності того чи іншого комп'ютера до певного логічного сегмента (сама адреса не містить подібної інформації). Тому міст спрощено являє собою розподіл мережі на сегменти – він запам'ятовує, через який порт на нього надійшов кадр даних від кожного комп'ютера мережі, і потім надсилає кадри, призначені для даного комп'ютера, на цей порт. Точної топології зв'язків між логічними сегментами міст не знає. Через це застосування мостів приводить до значних обмежень на конфігурацію зв'язків мережі – сегменти повинні бути з'єднані так, щоб у мережі не утворювалися замкнені контури [1 – 4].

Комутатор (switch) за принципом обробки кадрів від мосту практично не відрізняється. Єдина відмінність полягає в тому, що він є комунікаційним мультипроцесором, оскільки кожний його порт має спеціалізовану мікросхему, що обробляє кадри за алгоритмом моста незалежно від мікросхем інших портів. Тому загальна продуктивність комутатора, зазвичай, набагато вища продуктивності традиційного моста, який має один процесорний блок. Можна сказати, що комутатори – це мости нового покоління, які обробляють кадри в паралельному режимі [1, 4, 14].

Обмеження, пов'язані із застосуванням мостів та комутаторів привели до того, що в ряду комунікаційних пристроїв з'явився ще один тип обладнання – маршрутизатор (router). Маршрутизатори надійніше та ефективніше ніж мости ізолюють трафік окремих частин мережі один від одного. Вони утворюють логічні сегменти за допомогою явної адресації, оскільки використовують не плоскі апаратні, а складені числові адреси, в яких є поле номера мережі і всі комп'ютери, у яких значення цього поля однакове, належать одному сегменту або підмережі (subnet) [1, 4, 10, 15].

Крім локалізації трафіку, маршрутизатори виконують й багато інших корисних функцій. Так, маршрутизатори можуть працювати у мережі із замкненими контурами, при цьому вони здійснюють вибір найраціональнішого маршруту з кількох можливих.

Іншою дуже важливою функцією маршрутизаторів є їх здатність зв'язувати в єдину мережу підмережі, побудовані з використанням різних мережевих технологій, наприклад, Ethernet та X.25.

Крім перерахованих пристроїв, окремі частини мережі може з'єднувати шлюз (gateway). Основною причиною його використання є не-

обхідність об'єднати мережі з різними типами системного й прикладного програмного забезпечення, а не бажання локалізувати трафік. Проте шлюз також забезпечує локалізацію трафіку як деякий побічний ефект.

Великі мережі практично ніколи не будуються без логічної структуризації. Для окремих сегментів і підмережі характерні типові однорідні топології базових технологій, і для їх об'єднання завжди використовується обладнання, яке забезпечує локалізацію трафіку.

У таблиці 2.1 наведено кількість колізійних та ширококомовних доменів, створених різним мережевим обладнанням [14].

Таблиця 2.1 – Деякі властивості комунікаційних мережевих пристроїв

| Пристрій | Кількість доменів колізій | Кількість ширококомовних доменів |
|---------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Повторювач | Один | Один |
| Міст | Багато | Один |
| Маршрутизатор | Багато | Багато |
| Комутатор | Багато | Багато, але може бути сконфігуровано |

2.4 Контрольні питання

1. Що розуміють під топологією КМ? На які характеристики мережі впливає її топологія?
2. Наведіть класифікацію топологій КМ.
3. Наведіть переваги та недоліки повнозв'язної топології.
4. Охарактеризуйте топологію типу „загальна шина” та наведіть її переваги і недоліки.
5. Охарактеризуйте топологію типу „зірка” та наведіть її переваги і недоліки.
6. Охарактеризуйте топологію типу „кілець” та наведіть її переваги і недоліки.
7. Наведіть приклади топології змішаних типів.
8. Охарактеризуйте мережу з комутацією каналів.
9. Охарактеризуйте мережу з комутацією пакетів.
10. Поясніть, чому в КМ при передаванні повідомлень, останні доцільно розбивати на окремі частини.
11. Наведіть порівняльний аналіз мереж на основі комутації пакетів та каналів.
12. Поясніть термін „структуризація комп'ютерних мереж”.
13. Поясніть, з якою метою виконують структуризацію комп'ютерних мереж. Наведіть переваги та недоліки структуризації.

14. В чому полягає фізична структуризація мережі? Наведіть відповідні приклади та пояснення.
15. В чому полягає логічна структуризація мережі? Наведіть відповідні приклади та пояснення.
16. Чи існує зв'язок між фізичною та логічною структуризаціями мережі? Відповідь обґрунтуйте.
17. Наведіть приклади мереж у яких фізична та логічна структуризації збігаються і не збігаються.
18. Наведіть означення колізійного та широкомовного доменів? Яка різниця між цими доменами?
19. Наведіть основні засоби, призначені для фізичної структуризації КМ.
20. Наведіть основні засоби, призначені для логічної структуризації КМ.
21. Поясніть, яким чином мости, комутатори та маршрутизатори дозволяють виконувати логічну структуризацію.
22. Порівняйте структуризацію мереж, виконану на базі комутаторів та маршрутизаторів.

2.5 Завдання

1. На рисунку 2.15 наведено частину комп'ютерної мережі. Тут: К1 – К5 – комунікаційні пристрої (концентратори, комутатори або маршрутизатори); В1 – В11 – вузли, які передають та приймають інформаційні кадри.

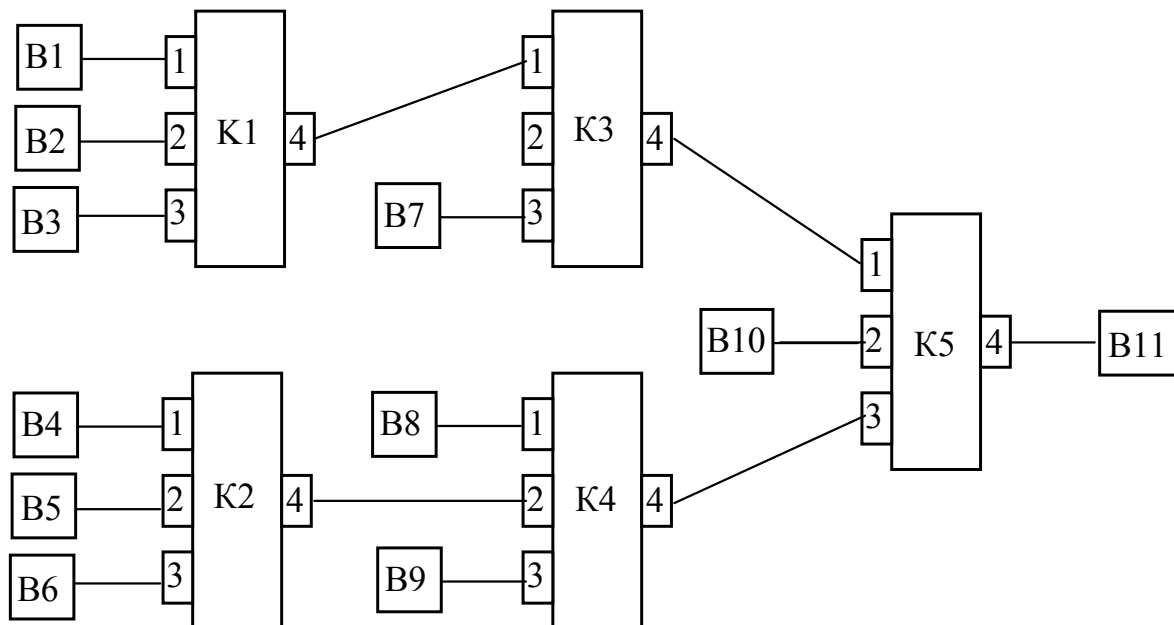


Рисунок 2.15 – Фрагмент комп'ютерної мережі

Дайте відповідь на такі питання:

а) скільки ширококомовних та колізійних доменів буде містити зображений фрагмент мережі, якщо тип комутаційного обладнання К1 – К5 заданий у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Типи комутаційного обладнання для фрагмента КМ

| Варіант | Комунаційне обладнання | | | | | Активний вузол |
|---------|------------------------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| | К1 | К2 | К3 | К4 | К5 | |
| 1 | Hub | Hub | Hub | Hub | Hub | B11 |
| 2 | Switch | Switch | Switch | Switch | Switch | B11 |
| 3 | Router | Router | Router | Router | Router | B11 |
| 4 | Hub | Hub | Switch | Switch | Router | B11 |
| 5 | Hub | Hub | Hub | Hub | Router | B11 |
| 6 | Switch | Switch | Switch | Switch | Router | B8 |
| 7 | Hub | Switch | Hub | Switch | Router | B8 |
| 8 | Hub | Hub | Hub | Hub | Router | B8 |
| 9 | Hub | Hub | Router | Router | Switch | B8 |
| 10 | Switch | Switch | Router | Router | Switch | B8 |
| 11 | Hub | Hub | Router | Router | Hub | B2 |
| 12 | Switch | Switch | Router | Router | Hub | B2 |
| 13 | Switch | Switch | Switch | Switch | Hub | B2 |
| 14 | Hub | Switch | Hub | Switch | Hub | B2 |
| 15 | Hub | Switch | Hub | Switch | Switch | B2 |
| 16 | Switch | Switch | Router | Router | Router | B5 |
| 17 | Hub | Hub | Router | Router | Router | B5 |
| 18 | Switch | Hub | Router | Router | Router | B5 |
| 19 | Switch | Switch | Router | Switch | Switch | B5 |
| 20 | Hub | Switch | Switch | Router | Switch | B5 |
| 21 | Hub | Hub | Router | Router | Router | B10 |
| 22 | Switch | Hub | Router | Router | Router | B10 |
| 23 | Switch | Switch | Router | Switch | Switch | B10 |
| 24 | Hub | Switch | Switch | Router | Switch | B10 |

б) які комунаційні пристрої Ви пропонуєте використовувати як К1 – К5 для уникнення колізій у межах вищенаведеного фрагмента мережі?

в) на яких портах комутаційних пристроїв К1 – К5 з'явиться кадр, у випадку його передавання від вузла В11 до вузла В1 (тип комутаційного обладнання К1 – К5 заданий у таблиці 2.2);

г) розв'яжіть попередню задачу (в) у випадку передавання кадру від вузла В2 до вузла В9;

д) які вузли можуть одночасно передавати дані з активним вузлом заданим у таблиці 2.2, без виникнення колізій? Тип комутаційного обладнання К1 – К5 заданий у таблиці 2.2.

2. Визначте час передавання даних у мережах з комутацією каналів та комутацією пакетів для даних наведених у таблиці 2.3. Тут:

V – загальний обсяг даних для передавання; L – сумарна довжина каналу зв'язку; U_c – швидкість розповсюдження сигналу; C – пропускна здатність каналу; V_p – розмір пакета без врахування заголовка; $V_{з.п.}$ – розмір заголовка пакета; $t_{інт}$ – міжпакетний інтервал; N_k – кількість проміжних комутаторів; t_k – час комутації.

Таблиця 2.3 – Варіанти завдань до задачі №2

| Варіант | V , Гбайт | L , км | U_c , км/с | C , Мбіт/с | V_p , кбайт | $V_{з.п.}$, байт | $t_{інт}$, мс | N_k , штук | t_k , мс |
|---------|----------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------------|-------------------|-----------------|---------------|
| 1 | 0,5 | 10^4 | $28 \cdot 10^4$ | 100 | 1,5 | 30 | 0,5 | 10 | 15 |
| 2 | 0,75 | 10^3 | $25 \cdot 10^4$ | 120 | 4 | 70 | 0,8 | 6 | 17 |
| 3 | 1 | 10^4 | $27 \cdot 10^4$ | 80 | 3 | 50 | 0,6 | 12 | 16 |
| 4 | 10 | 10^2 | $24 \cdot 10^4$ | 95 | 1,5 | 60 | 0,55 | 3 | 20 |
| 5 | 3 | 50 | $28 \cdot 10^4$ | 150 | 1 | 30 | 0,7 | 10 | 14 |
| 6 | 7 | 30 | $22 \cdot 10^4$ | 200 | 4 | 70 | 0,4 | 3 | 18 |
| 7 | 6 | 10^5 | $23 \cdot 10^4$ | 180 | 3 | 50 | 0,65 | 20 | 11 |
| 8 | 0,06 | 10 | $24 \cdot 10^4$ | 15 | 4,5 | 80 | 0,45 | 3 | 25 |
| 9 | 0,8 | 10^4 | $27 \cdot 10^4$ | 100 | 1,5 | 30 | 0,53 | 12 | 16 |
| 10 | 2 | 10^3 | $20 \cdot 10^4$ | 120 | 0,8 | 20 | 0,8 | 8 | 17 |
| 11 | 4 | 10^4 | $21 \cdot 10^4$ | 80 | 1,1 | 50 | 0,6 | 15 | 10 |
| 12 | 33 | 10^2 | $22 \cdot 10^4$ | 600 | 4,5 | 100 | 0,55 | 5 | 21 |
| 13 | 17 | 10^4 | $23 \cdot 10^4$ | 350 | 0,75 | 25 | 0,5 | 15 | 13 |
| 14 | 23 | 10^3 | $24 \cdot 10^4$ | 400 | 0,5 | 18 | 0,34 | 7 | 12 |
| 15 | 13 | 10^4 | $25 \cdot 10^4$ | 80 | 0,6 | 25 | 0,42 | 20 | 14 |
| 16 | 0,7 | 10^2 | $26 \cdot 10^4$ | 95 | 1 | 65 | 0,9 | 4 | 20 |
| 17 | 0,08 | 10^4 | $28 \cdot 10^4$ | 20 | 1,5 | 28 | 0,56 | 10 | 15 |
| 18 | 5 | 10^3 | $27 \cdot 10^4$ | 140 | 2 | 55 | 0,7 | 9 | 17 |
| 19 | 4 | 10^4 | $25 \cdot 10^4$ | 85 | 3 | 72 | 0,6 | 12 | 12 |
| 20 | 8 | 10^2 | $23 \cdot 10^4$ | 100 | 4 | 95 | 0,5 | 3 | 18 |
| 21 | 0,7 | 10^2 | $26 \cdot 10^4$ | 95 | 1 | 65 | 0,9 | 4 | 20 |
| 22 | 0,08 | 10^4 | $28 \cdot 10^4$ | 20 | 1,5 | 28 | 0,56 | 10 | 15 |
| 23 | 5 | 10^3 | $27 \cdot 10^4$ | 140 | 2 | 55 | 0,7 | 9 | 17 |
| 24 | 4 | 10^4 | $25 \cdot 10^4$ | 85 | 3 | 72 | 0,6 | 12 | 12 |

3. Визначте максимальну можливу пропускну здатність лінії зв'язку в бітах за секунду, якщо ширина її смуги пропускання дорівнює F (таблиця 2.4), потужність сигналу передавача складає P_c , а потужність шуму – $P_{ш}$. В скільки разів необхідно підвищити потужність сигналу передавача P_c для збільшення пропускну здатності на 10%? В скільки разів збільшиться пропускну здатність лінії зв'язку, якщо значення P_c зросте на порядок? В скільки разів зменшиться пропускну спроможність лінії, якщо значення $P_{ш}$ зросте удвічі?

Таблиця 2.4 – Варіанти завдань для задачі №3

| Варіант | F , МГц | P_c , мкВт | $P_{ш}$, мкВт |
|---------|-----------|--------------|----------------|
| 1 | 0,3 | 100 | 0,30 |
| 2 | 0,4 | 200 | 0,25 |
| 3 | 0,5 | 300 | 0,52 |
| 4 | 0,6 | 400 | 0,83 |
| 5 | 0,7 | 600 | 1,24 |
| 6 | 0,8 | 800 | 0,57 |
| 7 | 0,9 | 700 | 0,45 |
| 8 | 1 | 1000 | 2,05 |
| 9 | 1,1 | 500 | 3,10 |
| 10 | 1,2 | 80 | 1,50 |
| 11 | 0,35 | 150 | 0,25 |
| 12 | 0,45 | 250 | 0,11 |
| 13 | 0,55 | 350 | 0,52 |
| 14 | 0,65 | 450 | 0,83 |
| 15 | 0,75 | 650 | 1,24 |
| 16 | 0,85 | 850 | 0,57 |
| 17 | 0,95 | 750 | 0,45 |
| 18 | 1,6 | 1500 | 2,05 |
| 19 | 1,3 | 200 | 3,00 |
| 20 | 1,1 | 80 | 0,05 |
| 21 | 0,08 | 750 | 0,45 |
| 22 | 0,07 | 1500 | 2,05 |
| 23 | 0,06 | 200 | 0,30 |
| 24 | 0,05 | 350 | 0,75 |

3 ПРОТОКОЛИ ТА АРХІТЕКТУРИ

В комп'ютерних мережах універсальна теза про користь стандартизації набуває особливого значення. Тут ідеологічною основою стандартизації є багаторівневий підхід до розроблення засобів мережевої взаємодії. Саме на основі цього підходу була розроблена стандартна семирівнева модель взаємодії відкритих систем.

3.1 Багаторівневий підхід. Протокол. Інтерфейс. Стек протоколів

Організація взаємодії між пристроями у мережі є складною задачею, для розв'язання якої використовується універсальний прийом декомпозиції – розбиття складної задачі на простіші задачі-модулі. При цьому слід чітко визначити функції кожного модуля, які вирішують окрему задачу та інтерфейсів між ними. В результаті досягається логічне спрощення задачі та з'являється можливість модифікації окремих модулів без зміни іншої частини системи [1, 3, 4, 12, 16].

При декомпозиції часто використовують багаторівневий підхід. Він полягає в тому, що всю множину модулів розбивають на рівні, які утворюють ієрархію. Кожен рівень, сформований так, що для виконання своїх задач він звертається із запитом тільки до своїх сусідніх модулів, що розташовані на рівень вище та нижче даного. Результати роботи модуля певного рівня можуть бути передані тільки модулям сусіднього вищерозташованого рівня. Така ієрархічна декомпозиція задачі передбачає чітке визначення функції кожного рівня та інтерфейсів між рівнями. Інтерфейс визначає набір функцій, які нижчерозташований рівень надає вищерозташованому. Внаслідок ієрархічної декомпозиції досягається відносна незалежність рівнів, а отже і можливість їх легкої заміни.

Засоби мережевої взаємодії також можуть бути подані у вигляді ієрархічно організованої множини модулів. При цьому модулі нижнього рівня можуть, наприклад, вирішувати всі питання, пов'язані з надійним передаванням електричних сигналів між двома сусідніми вузлами. Модулі вищих рівнів організують транспортування повідомлень в межах всієї мережі, користуючись для цього засобами нижнього рівня. А на верхньому рівні працюють модулі, що надають користувачам доступ до різних служб [1, 4].

Засоби мережевої взаємодії мають свою специфіку, пов'язану з тим, що в процесі обміну повідомленнями беруть участь *два* комп'ютери, а отже в цьому випадку необхідно організувати узгоджену роботу двох „ієрархій”. При передаванні повідомлень обидва учасники мережевого обміну повинні прийняти ряд угод, наприклад, стосовно рівнів і форм електричних сигналів, способу визначення довжини повідомлень, методи контролю достовірності тощо. Іншими словами, угоди повинні бути прийняті для всіх рівнів, починаючи з найнижчого рівня передавання бітів до найвищого, який реалізує сервіс для користувачів мережі.

На рис. 3.1 наведено модель взаємодії двох вузлів. З кожної сторони засоби взаємодії подані чотирма рівнями. Процедура взаємодії цих двох вузлів може бути описана у вигляді набору правил взаємодії кожної пари відповідних рівнів обох сторін, що беруть участь. Формалізовані правила, що визначають послідовність і формат повідомлень, якими обмінюються мережеві компоненти, що розташовані на одному рівні, але в різних вузлах, називаються *протоколом* [1, 17]

Модулі, які реалізують протоколи сусідніх рівнів в межах одного вузла, також взаємодіють один з одним відповідно чітко визначених правил і за допомогою стандартизованих форматів повідомлень. Ці правила називають *інтерфейсом*. Він визначає набір сервісів (послуг), що надається даним рівнем сусідньому.

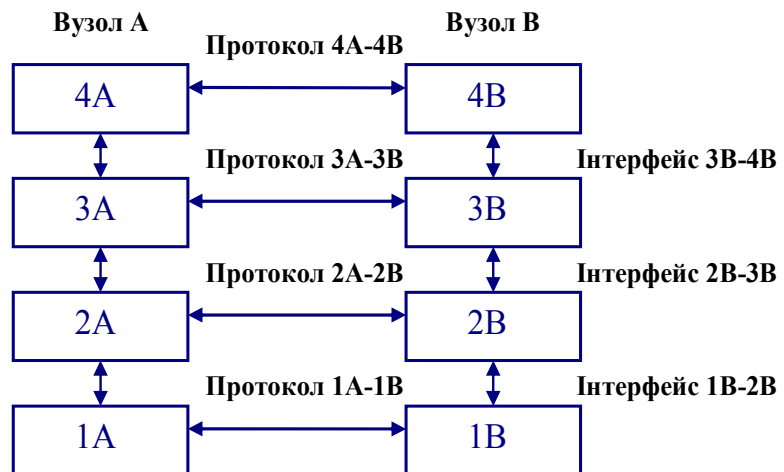


Рисунок 3.1 – Модель взаємодії двох вузлів

По суті, протокол та інтерфейс виражають одне і те ж поняття, але традиційно у мережах за ними закріпили різні області дії: протоколи визначають правила взаємодії модулів одного рівня в різних вузлах, а інтерфейси – модулів сусідніх рівнів в одному вузлі.

Ієрархічно організований набір протоколів, достатній для організації взаємодії вузлів мережі, називається *стеком комунікаційних протоколів*.

Комунікаційні протоколи можуть бути реалізовані як програмно, так і апаратно. Протоколи нижніх рівнів часто реалізуються комбінуванням програмних і апаратних засобів, а протоколи верхніх рівнів як правило, лише програмними засобами.

Програмний модуль, що реалізує деякий протокол, часто скорочено також називають „протоколом”. При цьому співвідношення між протоколом – формально певною процедурою і протоколом – програмним модулем, що реалізує цю процедуру, аналогічне співвідношенню між алгоритмом розв’язання деякої задачі і програмою, що розв’язує цю задачу.

Протокол може мати декілька програмних реалізацій, тому при порівнянні протоколів слід враховувати не тільки логіку роботи, а й якість програмних рішень. Взагалі, на ефективність взаємодії пристроїв у мережі впливає якість всієї сукупності протоколів, що складають стек, зокрема, наскільки раціонально розподілені функції між протоколами різних рівнів і наскільки добре визначені інтерфейси між ними [1].

3.2 Модель взаємодії відкритих систем ISO/OSI

З того, що протокол є угодою, прийнятою двома об'єктами, що взаємодіють в цьому випадку двома працюючими в мережі комп'ютерами, зовсім не впливає, щоб він обов'язково був стандартним. Але на практиці при реалізації мереж намагаються використати стандартні протоколи. Це можуть бути фірмові, національні або міжнародні стандарти [1].

На початку 80-х років ряд міжнародних організацій зі стандартизації ISO, ITU-T та деякі інші розробили модель, яка відіграла значну роль у розвитку мереж. Ця модель називається *моделлю взаємодії відкритих систем* (Open System Interconnection, OSI) або моделлю OSI. Модель OSI визначає різні рівні взаємодії систем, дає їм стандартні імена і вказує, які функції повинен виконувати кожний рівень. Ця модель була розроблена на основі великого досвіду, отриманого при створенні КМ, в основному глобальних, у 70-ті роки. Повний опис цієї моделі займає більше за 1000 сторінок тексту [1 – 4, 8, 12].

У моделі OSI (рис. 3.2) засоби взаємодії діляться на сім рівнів: *прикладний, представницький, сеансовий, транспортний, мережевий, канальний та фізичний*.

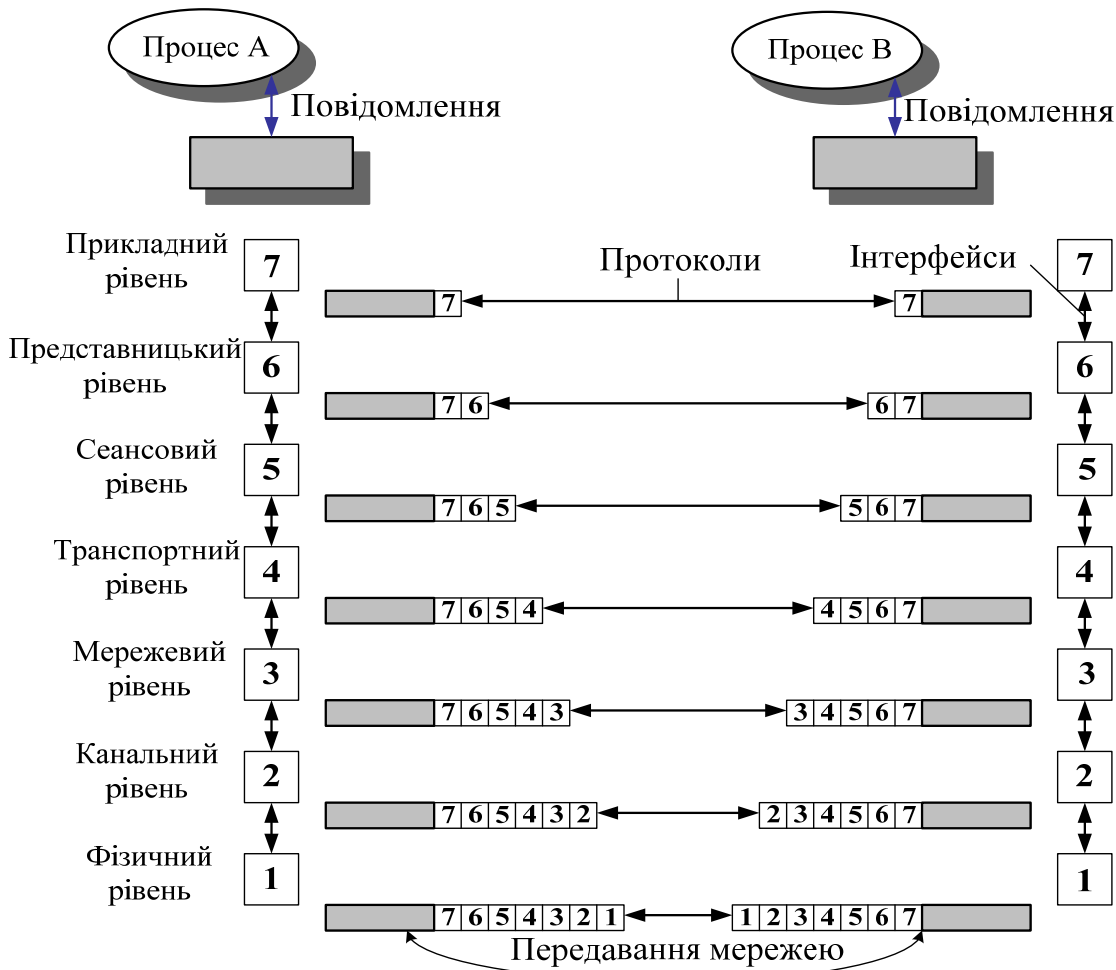


Рисунок 3.2 – Модель взаємодії відкритих систем ISO/OSI

Кожний рівень має справу з одним певним аспектом взаємодії мережевих пристроїв [1].

Модель OSI описує тільки системні засоби взаємодії, що реалізуються операційною системою, системними утилітами, системними апаратними засобами. Модель не включає засоби взаємодії додатків кінцевих користувачів. Свої власні протоколи взаємодії застосування реалізують, звертаючись до системних засобів. Тому необхідно розрізняти рівень взаємодії додатків і прикладний рівень або рівень застосувань.

Застосування може взяти на себе функції деяких верхніх рівнів моделі OSI. Наприклад, деяка система керування базою даних має вбудовані засоби віддаленого доступу до файлів. В цьому випадку додаток, виконуючи доступ до віддалених ресурсів, не використовує системну файлову службу; він обходить верхні рівні моделі OSI і звертається напряму до системних засобів, що відповідають за транспортування повідомлень по мережі і розташовуються на нижніх рівнях моделі OSI.

Отже, нехай додаток звертається із запитом до прикладного рівня, наприклад, до файлової служби. На основі цього запиту програмне забезпечення прикладного рівня формує повідомлення стандартного формату. Звичайне повідомлення складається із заголовка і поля даних. Заголовок містить службову інформацію, яку слід передати мережею прикладному рівню комп'ютеру призначення, щоб повідомити йому, яку роботу треба виконати. У нашому випадку заголовок, повинен містити інформацію про місцезнаходження файла і тип операції, яку слід виконати над ним. Поле даних повідомлення може бути пустим або містити деякі дані, наприклад ті, які необхідно записати у віддалений файл. Але для того, щоб доставити цю інформацію за призначенням, треба вирішити ще багато задач, які покладені на рівні, що розташовані нижче.

Після формування повідомлення рівень застосувань надсилає його вниз по стеку до представницького рівню. Протокол представницького рівня на основі інформації, отриманої із заголовка прикладного рівня, виконує потрібні дії і додає до повідомлення власну службову інформацію – заголовок представницького рівня, в якому містяться вказівки протоколу представницького рівня вузлу призначення. Це повідомлення передається вниз сеансовому рівню, який додає свій заголовок і т. д. (Деякі реалізації протоколів додають службову інформацію не лише на початку повідомлення а й в кінці, у вигляді кінцевика). Нарешті, повідомлення досягає нижнього, фізичного рівня, який і передає його по лініях зв'язку до комп'ютера призначення. До цього моменту повідомлення “накопичує” заголовки усіх рівнів (рис. 3.3). Такий процес називається *інкапсуляцією*.

Коли повідомлення по мережі надходить на комп'ютер призначення, воно приймається її фізичним рівнем і поступово піднімається до вищих рівнів. Кожний рівень аналізує і обробляє заголовок свого рівня, виконує відповідні йому функції, а потім вилучає цей заголовок і передає це пові-

домлення наступному, вищерозташованому рівню. Такий процес називається *декапсуляцією* [4].

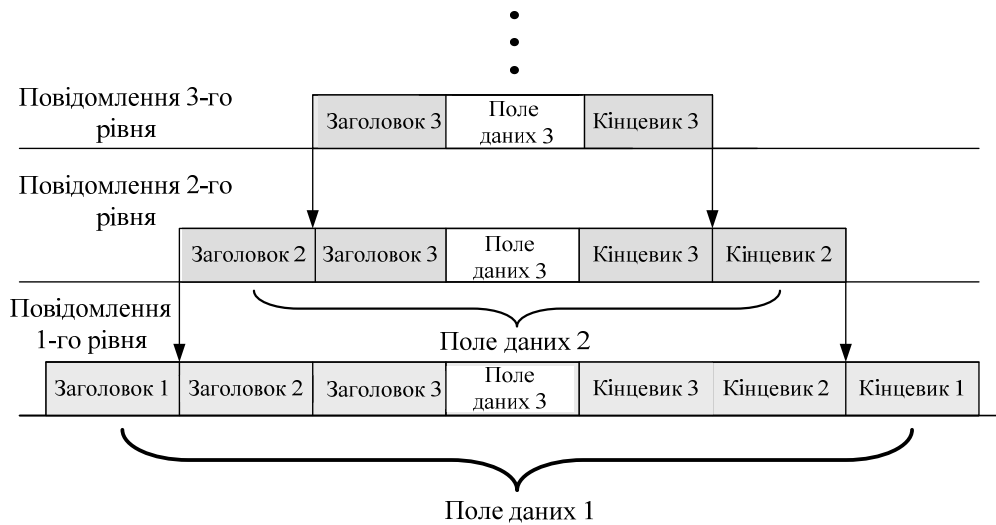


Рисунок 3.3 – Вкладеність повідомлень різних рівнів

Поряд з терміном *повідомлення (message)* використовують й інші терміни для позначення одиниць даних в процедурах обміну. У стандартах ISO для позначення одиниць даних, з якими мають справу протоколи різних рівнів, використовується загальна назва *протокольний блок даних (Protocol Data Unit, PDU)*. Для позначення блоків даних певних рівнів використовуються спеціальні назви:

- сегмент (segment) – PDU транспортного рівня (TCP-сегмент);
- дейтаграма (datagram) – PDU транспортного рівня (UDP-дейтаграма);
- пакет (packet) – PDU мережевого рівня;
- кадр (frame) – PDU канального рівня.

Отже, TCP-сегмент або UDP-дейтаграма інкапсулюється у пакет, а пакет – у кадр.

В моделі OSI розрізняються два основних типи протоколів:

- *із встановленням з'єднання (connection-oriented)* – тут перед обміном даними відправник і одержувач повинні спочатку встановити з'єднання і, можливо, вибрати деякі параметри протоколу, що будуть використовуватись під час обміну даними. Після завершення діалогу вузли повинні розірвати це з'єднання. Як приклад взаємодії, заснований на встановленні з'єднання, можна навести телефон [1].

- *без попереднього встановлення з'єднання (connectionless)* або *дейтаграмні протоколи* – тут відправник просто надсилає повідомлення, коли воно готове. Як приклад зв'язку без попереднього встановлення з'єднання можна навести опускання листа у поштову скриньку.

Під час взаємодії комп'ютерів використовуються протоколи обох типів.

3.3 Рівні моделі OSI

Фізичний рівень (*Physical layer*) має справу з передаванням бітів по фізичних ЛЗ. До цього рівня мають відношення характеристики фізичних середовищ передавання даних, такі як смуга пропускання, завадостійкість, хвильовий опір тощо. Тут визначаються характеристики електричних сигналів, що передають дискретну інформацію, наприклад, крутизна фронтів імпульсів, рівні напруги або струму сигналу, що передається, тип кодування, швидкість передавання сигналів. Крім цього, тут стандартизуються типи роз'ємів і призначення їх кожного контакту [1 – 4, 8, 16].

Функції фізичного рівня реалізуються в усіх пристроях, приєднаних до мережі. З боку комп'ютера функції фізичного рівня виконуються мережевим адаптером або послідовним портом.

Прикладом протоколу фізичного рівня може служити специфікація 100Base-TX технології Ethernet, котра визначає як використовуваний кабель неекрановану скручену пару (НСП) п'ятої категорії, роз'єм RJ-45, максимальну довжину фізичного сегмента – 100 метрів, код для подання даних в кабелі – 4В/5В, та деякі інші характеристики середовища передавання та електричних сигналів.

Канальний рівень (*Data Link layer*) призначений для розв'язання задач перевірки доступності середовища передавання та реалізації механізмів виявлення і корекції помилок. Для цього біти групуються у набори – *кадри* (*frames*). Канальний рівень забезпечує коректність передавання кожного кадру, вміщуючи спеціальну послідовність бітів у початок та кінець кожного кадру для його виділення і додаючи до нього контрольну суму. Коли кадр приходить одержувачу – останній знов обчислює контрольну суму отриманих даних та порівнює результат з контрольною сумою з кадру. Якщо вони збігаються – кадр вважається правильним і приймається, в протилежному випадку фіксується помилка.

Канальний рівень може не лише виявляти помилки, а й виправляти їх за рахунок повторного передавання пошкоджених кадрів. Функція виправлення помилок необов'язкова для канального рівня, тому в деяких протоколах цього рівня вона відсутня (наприклад, в Ethernet і Frame Relay).

У протоколах канального рівня, що використовуються в ЛКМ, закладена певна структура зв'язків між комп'ютерами і способи їх адресації. До таких типових топологій, що підтримуються протоколами канального рівня ЛКМ, відносяться загальна шина, кільце і зірка, а також структури, отримані з них за допомогою мостів і комутаторів. Прикладами протоколів канального рівня є протоколи Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN [1 – 4, 8, 16].

В ЛКМ протоколи канального рівня використовуються мостами, комутаторами і маршрутизаторами. У комп'ютерах функції канального рівня реалізуються мережевими адаптерами та їх драйверами.

В ГКМ, які рідко мають регулярну топологією, каналний рівень часто забезпечує обмін повідомленнями тільки між двома сусідніми комп'ютерами, з'єднаними індивідуальною ЛЗ. Прикладами протоколів "точка-точка" (Point-to-Point) можуть служити PPP та LAR-B. У таких випадках для доставляння з'єднань між кінцевими вузлами через всю мережу використовуються засоби і мережевого рівня. Саме так організовані мережі X.25. Іноді в ГКМ функції каналного рівня в чистому вигляді виділити важко, оскільки в одному і тому ж протоколі вони об'єднуються з функціями мережевого рівня. Прикладами такого підходу можуть служити протоколи технологій ATM і Frame Relay.

Взагалі каналний рівень реалізує потужний і закінчений набір функцій по пересиланні повідомлень між вузлами мережі. В деяких випадках протоколи каналного рівня є самодостатніми транспортними засобами і можуть допускати роботу над ними безпосередньо протоколів прикладного рівня або додатків, без залучення засобів мережевого і транспортного рівнів. Наприклад, існує реалізація протоколу керування мережею SNMP, безпосередньо без Ethernet, хоч стандартно цей протокол працює на основі мережевого протоколу IP і транспортного UDP.

Для забезпечення якісного транспортування повідомлень у мережах будь-яких топологій і технологій функцій каналного рівня недостатньо, тому в моделі OSI розв'язання цієї задачі покладається на два наступних рівні – мережевий і транспортний.

Мережевий рівень (*Network layer*) служить для утворення єдиної транспортної системи, що об'єднує кілька мереж, причому ці мережі можуть використати абсолютно різні принципи передавання повідомлень між кінцевими вузлами і мати довільну структуру зв'язків.

Протоколи каналного рівня ЛКМ забезпечують доставляння даних між будь-якими вузлами тільки у мережі з відповідною типовою топологією, (наприклад, топологією ієрархічної зірки). Це дуже жорстке обмеження, яке не дозволяє будувати, наприклад, мережі з розвиненою структурою, що об'єднують кілька мереж підприємства у єдину мережу. Можна було б ускладнювати протоколи каналного рівня для розв'язання подібних задач, але принцип розділення обов'язків між рівнями приводить до іншого розв'язання. Щоб з одного боку зберегти простоту процедур передавання даних для типових топологій, а з іншою допустити використання довільних топологій, вводиться додатковий мережевий рівень.

На мережевому рівні термін „мережа” має специфічне значення. Всередині мережі доставляння даних забезпечується відповідним каналним рівнем. Доставлянням даних між мережами займається мережевий рівень, який підтримує можливість правильного вибору маршруту передавання повідомлення навіть коли структура зв'язків між мережами має характер, відмінний від прийнятого у протоколах каналного рівня.

Мережі з'єднуються маршрутизаторами, які збирають інформацію про

топологию міжмережових з'єднань і на її основі пересилають пакети мережевого рівня у мережу призначення. Для передавання повідомлення від відправника з одної мережі, одержувачу з іншої мережі, слід здійснити деяку кількість транзитних передавань між мережами або хопів (hop – стрибок), кожний раз вибираючи відповідний маршрут, тобто послідовність маршрутизаторів, через які проходить пакет.

Проблема вибору найкращого шляху називається *маршрутизацією*, і її розв'язання є однією з головних задач мережевого рівня. Крім того, мережевий рівень вирішує також задачі узгодження різних технологій, спрощення адресації у великих мережах і створення надійних та гнучких бар'єрів на шляху небажаного трафіку між мережами.

Повідомлення мережевого рівня прийнято називати *пакетами (packets)*. При організації доставляння пакетів на мережевому рівні використовується поняття “номер мережі”. В цьому випадку адреса одержувача складається з старшої частини номера мережі і молодшої – номера вузла в цій мережі [1 – 4, 8, 16].

На мережевому рівні визначаються два види протоколів. *Мережеві протоколи (routed protocols)* реалізують передавання пакетів по мережі. Ці протоколи мають на увазі, коли кажуть про протоколи мережевого рівня. Однак до цього рівня відносять й інший вид протоколів – протоколи обміну маршрутною інформацією або просто протоколи *маршрутизації (routing protocols)*. За допомогою цих протоколів маршрутизатори збирають інформацію про топологию міжмережових з'єднань. Протоколи мережевого рівня реалізуються програмними модулями ОС, а також програмними і апаратними засобами маршрутизаторів [4].

На мережевому рівні працюють протоколи ще одного типу, які відповідають за відображення адреси вузла, що використовується на мережевому рівні, на локальну адресу мережі. Такі протоколи називають *протоколами дозволу адрес* Address Resolution Protocol (ARP). Іноді їх відносять не до мережевого рівня, а до каналного.

Прикладами протоколів мережевого рівня є протокол міжмережевої взаємодії IP стека TCP/IP і протокол міжмережевого обміну пакетами IPX стека Novell.

Транспортний рівень (Transport layer). На шляху від відправника до одержувача пакети можуть бути викривлені або загублені. Деякі додатки мають власні засоби оброблення помилок, а деякі потребують надійне з'єднання. Даний рівень забезпечує додаткам або верхнім рівням стека моделі OSI (прикладному і сеансовому) передавання даних з таким ступенем надійності, який їм потрібен.

Транспортний рівень надає п'ять класів сервісу. Ці класи відрізняються якістю послуг: терміновістю, можливістю відновлення перерваного зв'язку, наявністю засобів мультиплексування декількох з'єднань між різ-

ними прикладними протоколами через загальний транспортний протокол, а головне здібністю до виявлення і виправлення помилок передавання, таких як викривлення, втрата і дублювання пакетів.

Вибір класу сервісу визначається, з одного боку, тим, в якій мірі задача забезпечення надійності вирішується самими додатками і протоколами вищих, ніж транспортний, рівнів. З іншого боку, цей вибір залежить від того, наскільки надійною є система транспортування даних у мережі, що забезпечується рівнями, розташованими нижче транспортного (мережевим, каналним і фізичним). Так, наприклад, якщо якість каналів передавання зв'язку є дуже високою і ймовірність виникнення помилок, не виявлених протоколами нижчих рівнів невелика – доцільно скористатися одним з полегшених сервісів транспортного рівня. Якщо ж транспортні засоби нижніх рівнів дуже ненадійні – слід звернутися до більш розвиненого сервісу транспортного рівня.

Як правило, усі протоколи, починаючи з транспортного рівня і вище, реалізуються програмними засобами кінцевих вузлів мережі. Як приклад транспортних протоколів можна привести протоколи TCP і UDP стека TCP/IP та протокол SPX стека Novell [1 – 4, 8, 16].

Протоколи нижніх чотирьох рівнів узагальнено називають транспортною підсистемою, оскільки вони повністю вирішують задачу транспортування повідомлень із заданим рівнем якості в складних мережах з довільною топологією і різними технологіями. Три верхніх рівні вирішують задачі надання прикладних сервісів на основі транспортної підсистеми, що існує.

Сеансовий рівень (*Session layer*) забезпечує керування діалогом: фіксує, яка із сторін є активною в даний момент та надає засоби синхронізації. Останні дозволяють вставляти контрольні точки у довгі передачі, щоб у разі відмови можна було повернутись назад до останньої контрольної точки, а не починати все з початку. На практиці сеансовий рівень використовують небагато додатків, і рідко реалізовується у вигляді окремих протоколів, хоча функції цього рівня часто об'єднують з функціями прикладного рівня та реалізують в одному протоколі [1 – 4, 8, 16].

Представницький рівень (*Presentation layer*) має справу з формою подання інформації, що надсилається у мережу, не змінюючи при цьому її змісту. За рахунок цього рівня інформація, що передається прикладним рівнем однієї системи, завжди зрозуміла прикладному рівню іншої системи. За допомогою засобів даного рівня протоколи прикладних рівнів можуть подолати синтаксичні відмінності у поданні даних або ж відмінності у кодах символів (наприклад, кодів ASCII і EBCDIC). На цьому рівні може виконуватись шифрування і дешифрування даних, завдяки якому секретність обміну даними забезпечується відразу для всіх прикладних служб. Прикладом такого протоколу є протокол Secure Socket Layer (SSL), який забез-

печує секретний обмін повідомленнями для протоколів прикладного рівня стека TCP/IP [1 – 4, 8, 16].

Прикладний рівень або **рівень застосувань** (*Application layer*) – це набір різних протоколів, за допомогою яких користувачі мережі отримують доступ до розділюваних ресурсів (наприклад, файли, принтери, гіпертекстові Web-сторінки), а також організують свою спільну роботу, наприклад, за допомогою протоколу електронної пошти. Одиниця даних, якою оперує прикладний рівень, звичайно, називається *повідомленням* (*message*).

Існує дуже велика кількість служб прикладного рівня, наприклад, NCP в операційній системі Novell NetWare, SMB в Microsoft Windows NT, NFS, FTP і TFTP, що входять в стек TCP/IP [1 – 4, 8, 16].

Мережезалежні та мереженезалежні рівні

Функції усіх рівнів моделі OSI можуть бути віднесені до однієї з двох груп: або до функцій, що залежать від конкретної технічної реалізації мережі, або до функцій, орієнтованих на роботу з додатками [1 – 4, 8].

Три нижніх рівні – фізичний, каналний і мережевий є мережезалежними. Тобто протоколи цих рівнів тісно пов'язані з технічною реалізацією мережі і використанням комунікаційним обладнанням. Наприклад, перехід з обладнання Ethernet обладнання FDDI означає повну зміну протоколів фізичного і каналного рівнів в усіх вузлах мережі.

Три верхніх рівні – прикладний, представницький і сеансовий орієнтовані на додатки і мало залежать від технічних особливостей побудови мережі. На протоколи цих рівнів не впливають зміни у топології мережі, заміна обладнання або перехід на іншу мережеву технологію. Так, перехід від Ethernet на високошвидкісну технологію 100VG-AnyLAN не потребує ніяких змін у програмних засобах, що реалізують функції прикладного, представницького та сеансового рівнів.

Транспортний рівень є проміжним, він приховує всі деталі функціонування нижніх рівнів від верхніх. Це дозволяє розробляти додатки, що не залежать від технічних засобів безпосереднього транспортування повідомлень.

Комп'ютер зі встановленою операційною системою взаємодіє з іншим комп'ютером за допомогою протоколів усіх семи рівнів. Цю взаємодію комп'ютери здійснюють через різні комунікаційні пристрої: концентратори (хаби), модеми, мости, комутатори (свічі), маршрутизатори, мультиплексоори. В залежності від типу комунікаційний пристрій може працювати або тільки на фізичному рівні (повторювач), або на фізичному і каналному (міст), або на фізичному, каналному і мережевому, іноді захоплюючи і транспортний рівень (маршрутизатор). У таблиці 3.1 наведено відповідність функцій різних комунікаційних пристроїв рівням моделі OSI.

Модель OSI дуже важлива, але вона лише одна з багатьох моделей комунікацій. Ці моделі та пов'язані з ними стеки протоколів можуть відрі-

знятися кількістю рівнів, їх функціями, форматами повідомлень, службами, що підтримується на верхніх рівнях, та іншими параметрами.

Таблиця 3.1 – Відповідність функцій мережевих пристроїв рівням моделі OSI

| Мережевий пристрій | Працює на рівнях моделі OSI | З'єднує |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Повторювач, концентратор | 1 | Фізичні сегменти |
| Міст, комутатор | 1, 2 | Логічні сегменти |
| Маршрутизатор | 1, 2, 3 і частково 4 | Мережі, підмережі |
| Шлюз | 1 – 7 | Міжнародні мережі |

3.4 Поняття відкритої системи

Модель OSI (Open System Interconnection) описує взаємозв'язки відкритих систем. В широкому значенні *відкритою* може бути будь-яка система (комп'ютер, обчислювальна мережа, операційна система, програмний пакет, інші апаратні і програмні продукти), яка побудована відповідно до відкритих специфікацій. Під терміном “специфікація” в обчислювальній техніці розуміють формалізований опис апаратних або програмних компонентів, способів їх функціонування, взаємодії з іншими компонентами, умов експлуатації, обмежень і особливих характеристик. Під відкритими специфікаціями розуміються опубліковані, загальнодоступні специфікації, відповідні стандартам і прийняті в результаті досягнення згоди після всебічного обговорення всіма зацікавленими сторонами [1].

Використання при розробленні систем відкритих специфікацій дозволяє третім сторонам розробляти для цих систем різні апаратні або програмні засоби розширення і модифікації, а також створювати програмно-апаратні комплекси з продуктів різних виробників. Чим більше відкритих специфікацій використано при розробленні системи, тим більше відкритою є ця система.

Модель OSI стосується лише одного аспекту відкритості – відкритості засобів взаємодії пристроїв, що складають обчислювальну мережу. Тут під відкритою системою розуміється мережевий пристрій, готовий взаємодіяти з іншими мережевими пристроями з використанням стандартних правил, що визначають формат, зміст і значення повідомлень, які надсилаються та приймаються.

Якщо дві мережі побудовані з дотриманням принципів відкритості – це дає такі переваги:

- можливість побудови мережі з апаратних і програмних засобів різних виробників, що дотримуються одного і того ж стандарту;
- можливість легкої заміни окремих компонентів мережі іншими,

більш досконалими, що дозволяє мережі розвиватися з мінімальними витратами;

- можливість легкого з'єднання однієї мережі з іншою;
- простота освоєння і обслуговування мережі.

Яскравим прикладом відкритої системи є міжнародна мережа Internet. Вона розвивалась у повній відповідності до вимог, що висуваються до відкритих систем. У розробленні її стандартів брали участь тисячі фахівців-користувачів цієї мережі з різних університетів, наукових організацій і фірм-виробників обчислювальної апаратури і програмного забезпечення, що працюють в різних країнах. Сама назва стандартів, що визначають роботу мережі Internet Request For Comments (RFC), (у перекладі – запит на коментарі), показує відкритий характер стандартів, що приймаються. Як наслідок – мережа Internet зуміла об'єднати в собі різне обладнання і програмне забезпечення величезної кількості мереж, розкиданих по всьому світу.

3.5 Стандарти стеки комунікаційних протоколів

Найважливішим напрямом стандартизації в області обчислювальних мереж є стандартизація комунікаційних протоколів. В наш час використовується велика кількість стеків комунікаційних протоколів. Найпопулярнішими є стеки [1 – 5, 9, 11 – 13, 16]:

- TCP/IP;
- IPX/SPX;
- NetBIOS/SMB;
- DECnet;
- SNA;
- OSI.

Усі ці стеки, крім SNA на нижніх рівнях фізичному і каналному, використовують стандартизовані протоколи Ethernet, Token Ring, FDDI тощо, які дозволяють використати у всіх мережах одну й ту ж апаратуру. Проте на верхніх рівнях усі стеки працюють за своїми власними протоколами. Ці протоколи часто не відповідають розбиттю на рівні, що рекомендується моделлю OSI. Зокрема, функції сеансового і представницького рівня, як правило, об'єднані з прикладним рівнем. Така невідповідність пов'язана з тим, що модель OSI з'явилась як результат узагальнення вже існуючих стеків, які реально використовуються, а не навпаки [1].

Стек OSI

Потрібно чітко розрізняти модель OSI і стек OSI. В той час як модель OSI є концептуальною схемою взаємодії відкритих систем, стек OSI – це набір цілком конкретних специфікацій протоколів. На відміну від інших стеків протоколів цей стек повністю відповідає моделі OSI. Він включає специфікації протоколів для усіх семи рівнів взаємодії, визначених в цій

моделі. На нижніх рівнях стек OSI підтримує Ethernet, Token Ring, FDDI, протоколи глобальних мереж, X.25 та ISDN, тобто використовує розроблені поза стеком протоколи нижніх рівнів, як і усі інші стеки. Протоколи мережевого, транспортного і сеансового рівнів стека OSI специфіковані та реалізовані різними виробниками, але поширені мало. Найпопулярнішими протоколами стека OSI є, наприклад, такі прикладні протоколи:

- передавання файлів FTAM;
- емуляції терміналу VTP;
- довідкової служби X.500;
- електронної пошти X.400.

Протоколи стека OSI відрізняє велика складність і неоднозначність специфікацій. Ці властивості були результатом загальної політики розробників стека, що прагнули врахувати у своїх протоколах всі випадки життя і усі існуючі технології, а також спадок великої кількості політичних компромісів.

Внаслідок складності протоколи OSI вимагають значних витрат обчислювальної потужності центрального процесора. А це накладає певні обмеження на їх застосування.

Стек OSI – це міжнародний, незалежний від виробників стандарт. Його підтримує уряд США у своїй програмі GOSIP (Government Open Systems Interconnectivity Protocol), відповідно до якої усі комп'ютерні мережі, які встановлюються в урядових установах США після 1990 року, повинні або безпосередньо підтримувати стек OSI, або забезпечувати засоби для переходу на цей стек у майбутньому.

Більшість організацій поки що лише планують перехід до стека OSI, і дуже небагато хто приступив до створення пілотних проектів. З тих, хто працює в цьому напрямі, можна назвати Військово-морське відомство США і мережу NFSNET. Одним з найбільших виробників, підтримуючих OSI, є компанія AT&T, її мережа Stargroup повністю базується на цьому стеку.

Стек TCP/IP був розроблений з ініціативи Міністерства оборони США (Department of Defence, DoD) більше ніж 25 років тому для зв'язку експериментальної мережі ARPAnet з іншими мережами як набір загальних протоколів для різноманітного обчислювального середовища [1, 4, 16]. Великий внесок у розвиток стека TCP/IP вніс університет Берклі, реалізувавши протоколи стека в своїй версії ОС UNIX. Популярність цієї операційної системи привела до широкого застосування TCP, IP та інших протоколів стека. Сьогодні цей стек використовується для зв'язку комп'ютерів всесвітньої інформаційної мережі Internet, а також у величезному числі корпоративних мереж. Можна назвати три причини такої популярності протоколу TCP/IP [1, 4].

1. У 1980-х роках набір протоколів TCP/IP знаходився у робочому стані

на відміну від пакета ISO. Після очевидного вибору на користь TCP/IP прийняття архітектури OSI почали стримувати вартість і технічний ризик зміни парку обладнання.

2. Набір протоколів TCP/IP розроблявся як воєнно-наукова робота, що фінансувалася Міністерством оборони США. На той час продукти, основані на архітектурі OSI вимоги міністерства не задовольняли і воно наказало застосовувати протоколи TCP/IP.

3. На основі набору протоколів TCP/IP була створена Інтернет. І її стрімке зростання призвело до повної перемоги TCP/IP над OSI.

Стек TCP/IP на нижньому рівні підтримує усі популярні стандарти фізичного і каналного рівнів: для ЛКМ це Ethernet, Token Ring, FDDI, для ГКМ – протоколи роботи на аналогових комутованих і виділених лініях SLIP, PPP, протоколи територіальних мереж X.25 та ISDN.

Основними протоколами стека є IP та TCP. До протоколів прикладного рівня відносяться такі популярні протоколи, як FTP, telnet, SMTP, WWW тощо.

Сьогодні стек TCP/IP є одним з найпоширеніших стеків транспортних протоколів обчислювальних мереж. Оскільки він спочатку створювався для ГКМ Internet – в ньому є багато особливостей, які дають йому перевагу перед іншими протоколами, коли мова заходить про побудову КМ, що включають глобальні зв'язки. Зокрема, дуже корисною властивістю, що робить можливим застосування цього протоколу у великих мережах, є його здатність фрагментувати пакети.

Іншою особливістю технології TCP/IP є гнучка система адресації, що дозволяє простіше (порівняно з іншими протоколами аналогічного призначення) включати в інтермережу мережі інших технологій. Ця властивість також сприяє застосуванню стека TCP/IP для побудови великих гетерогенних мереж.

У стеку TCP/IP дуже економно використовуються можливості ширококомовного розсилання. Ця властивість дуже потрібна при роботі на повільних ЛЗ, характерних для територіальних мереж.

Однак реалізація протоколів стека TCP/IP висуває високі вимоги до ресурсів і складність адміністрування IP-мереж. Гнучка система адресації і відмова від ширококомовних розсилок приводять до наявності в IP-мережі різних централізованих служб типу DNS, DHCP тощо. Кожна з цих служб спрямована на полегшення адміністрування мережі, конфігурування обладнання і вимагає пильної уваги з боку адміністраторів.

Стек IPX/SPX – є оригінальним стеком протоколів фірми Novell, розробленим для мережевої ОС NetWare на початку 80-х років. Протоколи мережевого і сеансового рівнів Internetwork Packet Exchange (IPX) та Sequenced Packet Exchange (SPX) є прямою адаптацією протоколів XNS фірми Xerox. Популярність стека IPX/SPX безпосередньо пов'язана з ОС

Novell NetWare, яка є досить популярною [1, 4].

Багато особливостей стека IPX/SPX зумовлені орієнтацією ранніх версій ОС NetWare (до версії 4.0) на роботу в ЛКМ невеликих розмірів, що складаються з персональних комп'ютерів, які мають невеликі ресурси. Для таких комп'ютерів компанії Novell потрібні були протоколи, на реалізацію яких була б потрібна мінімальна кількість оперативної пам'яті і які б швидко працювали на процесорах невеликої обчислювальної потужності. В результаті протоколи стека IPX/SPX донедавна добре працювали в ЛКМ і не дуже у великих корпоративних мережах, оскільки вони дуже перевантажували повільні глобальні ЛЗ широкошовними пакетами, які інтенсивно використовуються кількома протоколами цього стека (наприклад, для встановлення зв'язку між клієнтами і серверами). Ця обставина, а також той факт, що стек IPX/SPX є власністю фірми Novell і на його реалізацію треба отримувати ліцензію, довгий час обмежували застосування його тільки мережами NetWare. Однак з моменту випуску версії NetWare 4.0 Novell внесла і продовжує вносити у свої протоколи серйозні зміни, спрямовані на їх адаптацію для роботи у корпоративних мережах. Сьогодні стек IPX/SPX реалізовано не лише в NetWare, а й у кількох інших популярних мережевих ОС, наприклад, SCO UNIX, Sun Solaris, Microsoft Windows NT тощо [1 – 4].

Стек NetBIOS/SMB широко використовується в продуктах компаній IBM і Microsoft. На фізичному і каналному рівнях цього стека використовуються усі найпоширеніші протоколи Ethernet, Token Ring, FDDI і інші. На верхніх рівнях працюють протоколи NetBEUI і SMB [1, 4, 12].

Протокол NetBIOS (Network Basic Input/Output System) з'явився у 1984 році як мережеве розширення стандартних функцій базової системи введення/виведення (BIOS) IBM PC для мережевої програми PC Network фірми IBM. Потім він був замінений протоколом призначеного для користувача розширеного інтерфейсу NetBEUI (NetBIOS Extended User Interface). Протокол NetBEUI розроблявся як ефективний протокол, що споживає небагато ресурсів і призначений для мереж, що нараховують не більше ніж 200 робочих станцій. Він містить багато корисних мережевих функцій, які можна віднести до мережевого, транспортного і сеансового рівнів моделі OSI, однак, з його допомогою неможлива маршрутизація пакетів. Це обмежує застосування протоколу NetBEUI ЛКМ, не розділеними на підмережі, і унеможлиблює його використання у складених мережах. Деякі обмеження NetBEUI знімаються реалізацією цього протоколу NBF (NetBEUI Frame), яка входить до складу ОС Windows NT [1 – 4, 8, 12].

Протокол SMB (Server Message Block) виконує функції сеансового, представницького і прикладного рівнів. На його основі реалізується файлова служба, а також служби друку і передавання з'єднань між додатками.

Стеки протоколів SNA фірми IBM, DECnet корпорації Digital Equipment та AppleTalk/AFP фірми Apple застосовуються, як правило, в ОС

і мережевому обладнанні цих фірм.

На рис. 3.4 наведена відповідність деяких протоколів рівням моделі OSI. Часто ця відповідність досить умовна, оскільки модель OSI це тільки керівництво до дії, причому досить загальне, а конкретні протоколи розроблялись для розв'язання специфічних задач, причому багато які з них з'явилися до розроблення моделі OSI. В більшості випадків розробники стеків віддавали перевагу швидкості роботи мережі у збиток модульності – жоден стек, крім стека OSI, не розбитий на сім рівнів. Частіше за все у стеку явно виділяються 3-4 рівні [1]:

- рівень мережевих адаптерів (в якому реалізуються протоколи фізичного і канального рівнів);
- мережевий рівень;
- транспортний рівень;
- рівень служб (містить функції сеансового, представницького та прикладного рівнів).

| Модель OSI | Стек OSI | TCP/IP | Novell | IBM /Microsoft |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|----------------|
| Прикладний | X.400, X.500, FTMA | Telnet, FTP, SNMP, WWW | NCP, SAP | SMB |
| Представницький | Представницький протокол OSI | | | |
| Сеансовий | Сеансовий протокол OSI | TCP | | NetBios |
| Транспортний | Транспортний протокол OSI | | SPX | |
| Мережевий | ES-ES, IS-IS | IP, RIP, OSPF | IP, RIP, NLSP | |
| Канальний | 802.3 (Ethernet), 802.5 (Token Ring), FDDI, Fast Ethernet, SLIP, 100VG-AnyLAN, X.25, ATM, LAP-B, LAP-D, PPP | | | |
| Фізичний | Коаксіальний кабель, екранована та неекранована скручені пари, оптоволоконний кабель, радіохвилі | | | |

Рисунок 3.4 – Відповідність деяких стеків протоколів моделі OSI

Контрольні питання

1. Поясніть, чому при розв'язанні задачі організації взаємодії між мережевими пристроями використовують прийом декомпозиції. В чому суть такого прийому?
2. Поясніть основну ідею багаторівневого підходу, що покладено в основу прийому декомпозиції.

3. Наведіть означення понять „протокол”, „інтерфейс” та „стек протоколів”.
4. Поясніть призначення моделі взаємодії відкритих систем ISO/OSI.
5. Поясніть значення термінів „інкапсуляція” та „декапсуляція”.
6. Поясніть значення термінів „повідомлення”, „протокольний блок даних”, „сегмент”, „дейтаграма”, „пакет” та „кадр”.
7. Наведіть два основні типи протоколів, що зустрічаються у моделі ISO/OSI. В чому принципова різниця між протоколами цих груп?
8. Перерахуйте рівні моделі ISO/OSI та вкажіть їх основні функції. Наведіть приклади протоколів цих рівнів.
9. Які два види протоколів визначаються на мережевому рівні? Наведіть основні функції та приклади таких протоколів.
10. Наведіть мережевозалежні рівні моделі ISO/OSI. Поясніть в чому полягає така залежність?
11. Наведіть мережевонезалежні рівні моделі ISO/OSI. Поясніть в чому полягає така незалежність? Наведіть приклад відкритої системи.
12. Поясніть, що розуміють під поняттям „відкрита система”. Поясніть, що нам дає дотриманням принципів відкритості.
13. Наведіть відомі Вам стандартні стеки комунікаційних протоколів.
14. Охарактеризуйте стек протоколів OSI.
15. Охарактеризуйте стек протоколів TCP/IP. Поясніть основні причини популярності та широкого застосування стеку протоколів TCP/IP.
16. Наведіть рівні стеку TCP/IP, їх призначення та функції. Наведіть приклади протоколів кожного такого рівня.
17. Наведіть стислу характеристику стеку протоколів IPX/SPX.
18. Охарактеризуйте стек протоколів NetBIOS/SMB.
19. Наведіть призначення протоколу NetBIOS.
20. Наведіть відповідність рівнів стеку TCP/IP рівням моделі OSI.

4 ОСНОВИ ПЕРЕДАВАННЯ ДИСКРЕТНИХ ДАНИХ

4.1 Типи та апаратура ліній зв'язку

Лінія зв'язку (ЛЗ) складається в загальному випадку з фізичного середовища, по якому передаються електричні інформаційні сигнали, апаратури передавання даних і проміжної апаратури. *Фізичне середовище передавання даних* (medium) може бути кабелем, земною атмосферою чи космічним простором [1, 4, 7].

В залежності від середовища передавання дані ЛЗ поділяють на:

- провідні (повітряні);
- кабельні (мідні і волоконно-оптичні);
- радіоканали наземного і супутникового зв'язку.

Провідні ЛЗ – це провід без ізоляції, прокладений між стовпами і висячий в повітрі. Використовуються для передавання телефонних та телеграфних сигналів. Швидкісні якості і завадостійкість таких ліній дуже погані.

Кабельні лінії складається з ізольованих провідників, захищених ізоляцією. Може бути кілька шарів ізоляції: електричної, електромагнітної, механічної, а також, можливо, кліматичної. В КМ застосовуються три основних типи кабелю:

- на основі скручених пар мідних проводів;
- коаксіальні кабелі з мідною жилою;
- волоконно-оптичні кабелі.

Скручена пара проводів (*twisted pair*) може бути виконана в таких варіантах [4]:

- екранованому (Shielded Twistedpair, STP) – коли кожна скручена пара обмотується окремим ізоляційним екраном;
- фольгованому (Foiled Twisted Pair, FTP) – коли кабель має загальний екран з фольги, однак, в кожній парі немає індивідуального захисту;
- фольговано-екранованому (Shielded Foiled twisted pair, SFTP) – коли кабель має загальний екран з фольги і кожна пара ще має свій власний екран;
- неекранованому (Unshielded Twistedpair, UTP) – коли ізоляційний екран відсутній.

Скручування пар проводів знижує вплив зовнішніх завад на корисні сигнали, що передаються кабелем.

Коаксіальний кабель (coaxial) має несиметричну конструкцію і складається з внутрішньої мідної жили та екрана, відділеного від жили шаром ізоляції. Є кілька типів коаксіального кабелю, що відрізняються характеристиками й областями застосування – для ЛКМ, ГКМ, кабельного телебачення тощо.

Волоконно-оптичний кабель (optical fiber) складається з тонких (5 – 60 мікрон) волокон, по яких надсилаються світлові сигнали. Це найкращий тип кабелю, який забезпечує передавання даних з досить високою швидкістю (до 10 Гбіт/с і вище) і має найкращий захист даних від зовнішніх завад [1 – 4, 8].

Радіоканали наземного і супутникового зв'язку утворюються за допомогою передавача і приймача радіохвиль. Існує велика кількість різних типів радіоканалів, що відрізняються як використанням частотним діапазоном, так і дальністю каналу. Діапазони коротких, середніх і довгих хвиль (КХ, СХ і ДХ), названі також діапазонами амплітудної модуляції (Amplitude Modulation, АМ) за типом використовуваного в них методу модуляції сигналу, забезпечують далекий зв'язок, але при невисокій швидкості передавання даних. Більш швидкісними є канали, що працюють у діапазонах ультракоротких хвиль (УКВ), для яких характерна частотна модуляція (Frequency Modulation, FM), а також у діапазонах надвисоких частот (СВЧ, microwaves). В діапазоні СВЧ (понад 4 ГГц) сигнали вже не відбиваються іоносферою Землі і для стійкого зв'язку потрібна наявність прямої видимості між передавачем і приймачем. Тому такі частоти використовують або супутникові канали, або радіорелейні канали, де ця умова виконується. В КМ застосовуються практично всі описані типи фізичних середовищ передавання даних, але найперспективнішими є волоконно-оптичні. Вони використовуються як в магістралях великих територіальних мереж, так і в високошвидкісних лініях зв'язку ЛКМ. Досить популярним середовищем є також скручені пари, які характеризуються відмінним співвідношенням якості до вартості та простотою монтажу. За допомогою скручених пар, зазвичай, приєднують кінцевих абонентів мереж. Супутникові канали і радіозв'язок використовуються найчастіше в тих випадках, коли кабельні зв'язки застосувати не можна – наприклад, при проходженні каналу через малонаселену місцевість або для зв'язку з мобільними користувачами мережі [1].

Апаратура ліній зв'язку

Апаратура передавання даних (Data Circuit terminating Equipment, DCE) безпосередньо зв'язує комп'ютери або ЛКМ користувача з ЛЗ. Традиційно апаратуру передавання даних включають до складу ЛЗ. Прикладами DCE є модеми, термінальні адаптери мереж ISDN, оптичні модеми, пристрої приєднання до цифрових каналів. Зазвичай, DCE працює на фізичному рівні, відповідаючи за передавання та приймання сигналу потрібної форми і потужності з фізичного середовища [1, 7].

Апаратура користувача ЛЗ, яка генерує дані для передавання по ЛЗ і, що приєднується безпосередньо до апаратури передавання даних, узагальнено називається кінцевим устаткуванням даних (*Data Terminal Equipment, DTE*). Прикладом DTE можуть бути комп'ютери, комутатори та маршрути-

затори. Цю апаратуру не включають до складу ЛЗ [1, 7].

Поділ обладнання на класи DCE і DTE в ЛКМ є досить умовним, наприклад, адаптер ЛКМ можна вважати як складовою комп'ютера, тобто DTE, так і складовою частиною ЛЗ, тобто DCE.

Проміжна апаратура, зазвичай, використовується на ЛЗ великої довжини. Проміжна апаратура вирішує дві основні задачі:

- поліпшення якості сигналу;
- утворення постійного складеного каналу зв'язку між двома абонентами мережі.

В ЛКМ проміжна апаратура може не використовуватись, якщо довжина фізичного середовища або кабелів радіоефіру дозволяє одному мережевому адаптеру приймати сигнали безпосередньо від іншого мережевого адаптера, без проміжного посилення. В протилежному випадку застосовуються пристрої типу повторювачів і концентраторів.

В ГКМ необхідно забезпечити якісне передавання сигналів на відстані у сотні і тисячі кілометрів. Тому підсилювачі сигналів тут необхідні. Крім того, в ГКМ необхідна також і проміжна апаратура іншого виду – мультиплексори, демультимплексори та комутатори. Ця апаратура вирішує другу зазначену задачу, тобто створює між двома абонентами мережі складений канал з відрізків фізичного середовища, що не комутуються – кабелів з підсилювачами.

Наявність проміжної комутаційної апаратури дозволяє раціонально використовувати ЛЗ, не прокладаючи останні для кожної пари вузлів мережі, що з'єднуються. Замість цього між мультиплексорами і комутаторами використовується високошвидкісне фізичне середовище, наприклад, волоконно-оптичний кабель, по якому передаються одночасно дані від великого числа порівняно низькошвидкісних абонентських ліній. А коли потрібно утворити постійне з'єднання між будь-якими двома кінцевими вузлами мережі, що знаходяться, наприклад, у різних містах – то мультиплексори, комутатори і демультимплексори налаштовуються відповідним чином оператором каналу. Високошвидкісний канал, зазвичай, називають ущільненим каналом.

Проміжна апаратура ЛЗ прозора (непомітна) для користувача. В залежності від її типу всі ЛЗ поділяються на аналогові і цифрові. В *аналогових лініях* проміжна апаратура призначена для посилення аналогових сигналів (аналогові сигнали мають нескінченну кількість станів). Для створення високошвидкісних каналів, що мультиплексують певну кількість низькошвидкісних аналогових абонентських каналів, при аналоговому підході, зазвичай, використовують техніку частотного мультиплексування (Frequency Division Multiplexing, FDM) [1].

В *цифрових* ЛЗ сигнали, що передаються мають кінцеве число станів. За допомогою таких сигналів передаються як комп'ютерні дані, так і оцифровані мова та зображення. В цифрових каналах зв'язку використовується-

ся проміжна апаратура, що поліпшує форму імпульсів і забезпечує їх ресинхронізацію (тобто відновлює період синхропослідовності). Проміжна апаратура утворення високошвидкісних цифрових каналів (мультиплексори, демюльтиплексори, комутатори) працює за принципом часового мультиплексування каналів (Time Division Multiplexing, TDM), коли кожному низькошвидкісному каналу виділяється визначена частка часу (тайм-слот, квант) високошвидкісного каналу.

Апаратура передавання дискретних комп'ютерних даних по аналогових і цифрових лініях зв'язку істотно відрізняється, тому що в першому випадку ЛЗ призначена для передавання сигналів довільної форми і не висуває ніяких вимог до способу подання одиниць і нулів апаратурою передавання даних, а в другому – всі параметри переданих лінією імпульсів стандартизовані.

Характеристики ліній зв'язку

До основних характеристик ЛЗ відносяться [1, 4, 7, 17]:

- амплітудно-частотна характеристика;
- смуга пропускання;
- згасання;
- завадостійкість;
- перехресні наведення на ближньому та дальньому кінцях лінії;
- пропускна здатність;
- вірогідність передавання даних;
- вартість.

Перш за все спеціалістів з КМ цікавлять пропускна здатність і вірогідність передавання даних, оскільки ці характеристики прямо впливають на продуктивність і надійність створюваної мережі. Вони характеризують як ЛЗ, так і спосіб передавання даних. Тому, якщо спосіб передавання (протокол) вже визначений – то відомі і ці характеристики. Наприклад, пропускна здатність цифрової ЛЗ завжди відома, тому що на ній визначений протокол фізичного рівня, що задає бітову швидкість передавання даних (наприклад, 10 Мбіт/с). Однак не можна говорити про пропускну здатність ЛЗ, до того як для неї визначений протокол фізичного рівня. В таких випадках дуже важливими є смуга пропускання, перехресні наведення, завадостійкість та інші характеристики.

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) показує, як знижується амплітуда синусоїди на виході ЛЗ порівняно з амплітудою на її вході для всіх можливих частот переданого сигналу. Замість амплітуди в цій характеристиці часто використовують також потужність сигналу.

Знання амплітудно-частотної характеристики реальної ЛЗ дозволяє визначити форму вихідного сигналу практично для будь-якого вхідного сигналу, проте, одержати її дуже важко. Адже для цього необхідно провести тестування лінії еталонними синусоїдами по всьому діапазону частот від

нуля до деякого максимального значення, що може зустрітися у вхідних сигналах. Тому, практично, замість АЧХ застосовуються інші, спрощені характеристики – смуга пропускання і згасання.

Смуга пропускання (bandwidth) – це безперервний діапазон частот, для якого відношення амплітуди вихідного сигналу до вхідного перевищує деяку заздалегідь задану межу (зазвичай, 0,5). Тобто вона визначає діапазон частот синусоїдального сигналу, при яких цей сигнал передається по ЛЗ без значних спотворень. Знання смуги пропускання дозволяє одержати з деяким ступенем наближення той же результат, що і знання АЧХ, а ширина смуги пропускання дуже впливає на максимально можливу швидкість передавання інформації по ЛЗ.

Згасання (attenuation) – це відносне зменшення амплітуди або потужності сигналу при передаванні по ЛЗ сигналу певної частоти. Зазвичай, воно вимірюється у децибелах (дБ., decibel – dB) і розраховується за формулою [1]:

$$A = 10 \cdot \lg(P_{\text{вих}}/P_{\text{вх}}),$$

де $P_{\text{вих}}$, $P_{\text{вх}}$ – потужності сигналу на виході та на вході ЛЗ, відповідно.

Оскільки потужність вихідного сигналу кабелю без проміжних підсилювачів завжди менша, ніж потужність вхідного сигналу, згасання кабелю завжди є негативною величиною. Наприклад, скручена пара п'ятої категорії характеризується згасанням не нижче -23,6 дБ для частоти 100 МГц при довжині кабелю 100 м. Частота 100 МГц обрана тому, що кабель цієї категорії призначений для високошвидкісного передавання даних, сигнали яких мають значимі гармоніки з частотою приблизно 100 МГц. Часто оперують з абсолютними значеннями згасання.

Абсолютний рівень потужності, наприклад, рівень потужності передавача, також вимірюється в децибелах. При цьому базове значення потужності сигналу, при якому вимірюється поточна потужність, приймає значення 1 мВт. Таким чином, рівень потужності p обчислюється за формулою [1]:

$$p = 10 \lg P/1\text{мВт} [\text{дБм}],$$

де P – абсолютна потужність сигналу в міліватах, а дБм (dBm) – це одиниця вимірювання відносного рівня потужності (децибел на 1мВт).

Таким чином, амплітудно-частотна характеристика, смуга пропускання і згасання є універсальними характеристиками, і їхнє знання дозволяє зробити висновок про те, що через ЛЗ будуть передаватися сигнали будь-якої форми. Смуга пропускання залежить від типу лінії і її довжини.

Пропускна здатність лінії

Пропускна здатність (throughput) характеризує максимально можливу швидкість передавання даних по ЛЗ і вимірюється у бітах за секунду (біт/с), а також у похідних одиницях (наприклад, Мбіт/с, Гбіт/с). Пропускна здатність ЛЗ залежить не тільки від її характеристик, таких як амплітуд-

но-частотна характеристика, а й від спектра сигналів, що передаються. Якщо значимі гармоніки сигналу (тобто ті гармоніки, амплітуди яких вносять основний вклад у результуючий сигнал) попадають у смугу пропускання лінії, то такий сигнал буде добре передаватися даною ЛЗ і приймач зможе правильно розпізнати інформацію, відправлену по лінії передавачем. В протилежному випадку сигнал буде значно спотворюватися, приймач буде помилятися при розпізнаванні інформації, а інформація не зможе передаватися із заданою пропускнуою здатністю [1].

Вибір способу подання дискретної інформації у вигляді сигналів, що подаються на ЛЗ, називається *фізичним* або *лінійним* кодуванням. Від вибраного способу кодування залежить спектр сигналів та пропускна здатність ЛЗ. Наприклад, скручена пара третьої категорії може передавати дані з пропускнуою здатністю 10 Мбіт/с при способі кодування стандарту фізичного рівня 10Base-T і 33 Мбіт/с при способі кодування стандарту 100Base-T4 [1].

Більшість способів кодування використовують зміну будь-якого параметра періодичного сигналу – частоти, амплітуди та фази синусоїди або знак потенціалу послідовності імпульсів. Періодичний сигнал, параметри якого змінюються, називають *несучим сигналом* чи *несучою частотою*, якщо як сигнал використовується синусоїда.

Якщо сигнал змінюється так, що можна розрізнити тільки два його стани, то будь-яка його зміна буде відповідати найменшій одиниці інформації – біту. Якщо сигнал може мати більш ніж два стани, які можна розрізнити – то будь-яка його зміна буде нести більше ніж біт інформації.

Кількість змін інформаційного параметра несучого періодичного сигналу за секунду вимірюється у *бодах* (*baud*). Період часу між сусідніми змінами інформаційного сигналу називається тактом роботи передавача.

Пропускна здатність лінії у бітах за секунду в загальному випадку не збігається з числом бодів. Вона може бути як більшою, так і меншою, ніж число бодів, і це співвідношення залежить від способу кодування. Якщо сигнал має більше двох станів, то пропускна здатність у бітах у секунду буде вища, ніж число бодів. Наприклад, якщо інформаційними параметрами є фаза та амплітуда синусоїди і розрізняються чотири стани фази (0, 90, 180 і 270 градусів) і два значення амплітуди сигналу, то інформаційний сигнал може мати вісім станів. В цьому випадку модем, що працює зі швидкістю 2400 бод (з тактовою частотою 2400 Гц) передає інформацію зі швидкістю 7200 біт/с, оскільки при одній зміні сигналу передається три біти інформації [1].

При використанні сигналів із двома станами може спостерігатися зворотна картина. Це пояснюється тим, що для надійного розпізнавання інформації приймачем, кожен біт у послідовності кодується за допомогою декількох змін інформаційного параметра несучого сигналу. Наприклад, при кодуванні одиничного значення біта імпульсом позитивної полярності, а

нульового значення біта – імпульсом негативної полярності фізичний сигнал двічі змінює свій стан при передаванні кожного біта. При такому кодуванні пропускна здатність ЛЗ в два рази нижча, ніж число бодів, передане по ній.

На пропускну здатність лінії впливає не лише фізичне, а й логічне кодування. *Логічне кодування* здійснюється до виконання фізичного кодування і полягає у заміні бітів вихідної інформації новою послідовністю бітів, яке несе ту ж інформацію, але має, крім цього, додаткові властивості, наприклад, можливість для приймальної сторони виявляти помилки у прийнятих даних. Як приклад логічного кодування можна навести шифрування даних для забезпечення конфіденційності. При логічному кодуванні найчастіше початкова послідовність бітів замінюється більш довгою послідовністю, тому пропускна здатність каналу стосовно корисної інформації при цьому зменшується.

Зв'язок між пропускну здатністю ЛЗ та її смугою пропускання

Чим вища частота несучого періодичного сигналу, тим більше інформації за одиницю часу передається по ЛЗ і тим вища пропускна здатність ЛЗ при фіксованому способі фізичного кодування. Однак, з іншого боку, зі збільшенням частоти періодичного несучого сигналу збільшується і ширина спектра цього сигналу, тобто різниця між максимальною і мінімальною частотами того набору синусоїд, що у сумі дадуть обрану для фізичного кодування послідовність сигналів. ЛЗ передає цей спектр синусоїд з тими спотвореннями, що визначаються її смугою пропускання. Чим більша невідповідність між смугою пропускання лінії і шириною спектра інформаційних сигналів, які передаються, тим більше сигнали спотворюються і тим ймовірніші помилки в розпізнаванні інформації приймальною стороною, а значить, швидкість передавання інформації насправді виявляється меншою, ніж можна було припустити.

Зв'язок між смугою пропускання лінії і її *максимально можливою пропускну здатністю* не залежить від прийнятого способу фізичного кодування, який встановив Клод Шеннон [1]:

$$C = F \cdot \log_2(1 + P_c/P_{ш}),$$

де C – максимальна пропускна здатність лінії у біт/с; F – ширина смуги пропускання лінії в герцах; P_c , $P_{ш}$ – потужності сигналу та шуму, відповідно.

З цього співвідношення видно, що хоча теоретичної межі пропускну здатності лінії з фіксованою смугою пропускання не існує, на практиці така межа існує. Дійсно, підвищити пропускну здатність ЛЗ можна за рахунок збільшення потужності передавача або зменшення потужності шуму (завад) на ЛЗ. Обидві ці складові піддаються зміні з великими зусиллями.

Близьким за змістом до формули Шеннона є співвідношення, отримане Найквістом, яке визначає максимально можливу пропускну здатність

ЛЗ, але без врахування шуму на лінії [1]:

$$C = 2 \cdot F \cdot \log_2 M,$$

де M – кількість станів інформаційного параметра, які можна розрізнити.

Якщо сигнал має два стани, то пропускна здатність дорівнює подвійному значенню ширини смуги пропускання ЛЗ. Якщо ж передавач використовує більш ніж два стійкі стани сигналу для кодування даних, то пропускна здатність ЛЗ підвищується, оскільки за один такт роботи передавач передає декілька бітів вихідних даних, наприклад, два біти при наявності чотирьох станів сигналу, що можна відрізнити (рис. 4.1,б).

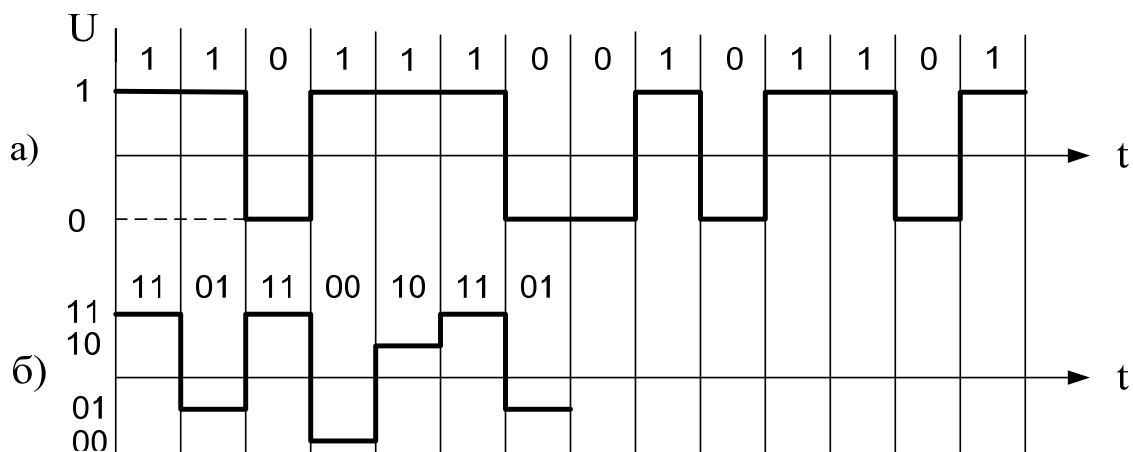


Рисунок 4.1 – Підвищення швидкості передавання за рахунок додаткових станів сигналу

Хоча формула Найквіста явно не враховує наявність шуму, побічно його вплив відбивається у виборі кількості станів інформаційного сигналу. Для підвищення пропускної здатності каналу слід було б збільшити цю кількість до значних величин, але практично це неможливо через шум на ЛЗ. Оскільки, якщо амплітуда шуму буде перевищувати різницю між сусідніми рівнями, то приймач не зможе стійко розпізнавати дані, що передаються.

Наведені співвідношення дають граничне значення пропускної здатності лінії, а ступінь наближення до цієї межі залежить від конкретних методів фізичного кодування.

Завадостійкість і вірогідність

Завадостійкість ЛЗ визначає її здатність зменшувати рівень завад, які створюються у зовнішньому середовищі та на внутрішніх провідниках. Завадостійкість залежить від типу фізичного середовища, яке використовується, а також від екрануючих засобів і засобів самої лінії. Найменш завадостійкими є радіолінії, високу завадостійкість мають волоконно-оптичні кабелі – вони малочутливі до зовнішнього електромагнітного випромінювання. Зазвичай, для зменшення перешкод, що з'являються через зовнішні електромагнітні поля, провідники екранують і скручують [1, 4].

Перехресні наведення на ближньому кінці (Near End Cross Talk, NEXT)

визначають завадостійкість кабелю до внутрішніх джерел перешкод, коли електромагнітне поле сигналу, переданого виходом передавача по одній парі провідників, наводить на іншу пару провідників сигнал завади. Якщо до другої пари буде приєднаний приймач, то він може прийняти наведену внутрішню заваду за корисний сигнал. Показник *NEXT*, виражений у децибелах, дорівнює

$$10 \cdot \log (P_{\text{вих}}/P_{\text{нав}}),$$

де $P_{\text{вих}}$, $P_{\text{нав}}$ – потужності вихідного та наведеного сигналу, відповідно.

Чим менше значення *NEXT*, тим кращий кабель. Так, для скрученої пари п'ятої категорії показник *NEXT* повинен бути менше -27дБ на частоті 100МГц.

Показник *NEXT*, звичайно, використовується до кабелю, що складається з кількох кручених пар, оскільки в цьому випадку взаємонаведення однієї пари на іншу можуть досягати значних величин. Для одинарного коаксіального кабелю цей показник не має сенсу, а для подвійного коаксіального кабелю він також не застосовується внаслідок високого ступеня захищеності кожної жили. Оптичні волокна також не створюють будь-яких помітних перешкод одне одному.

У зв'язку з тим, що в деяких нових технологіях використовується передавання даних одночасно по декількох кручених парах, останнім часом став застосовуватися показник *PovserSUM*, що є модифікацією показника *NEXT*. Цей показник відбиває сумарну потужність перехресних наведень від усіх передавальних пар у кабелі.

Вірогідність передавання даних характеризує ймовірність спотворення для кожного переданого біта даних. Іноді цей же показник називають *інтенсивністю бітових помилок (Bit Error Rate, BER)*. Величина *BER* для каналів зв'язку без додаткових засобів захисту від помилок (наприклад, для кодів що самокоректуються або протоколів з повторним передаванням перекручених кадрів) складає, як правило, 10^{-4} – 10^{-6} , в оптоволоконних ЛЗ – 10^{-9} . Значення вірогідності передавання даних, наприклад, у 10^{-4} говорить про те, що в середньому з 10^4 бітів спотворюється значення одного біта. Спотворення бітів відбуваються як за рахунок завад на ЛЗ, так і через спотворення форми сигналу обмеженою смугою пропускання лінії. Тому для підвищення вірогідності переданих даних потрібно підвищувати ступінь завадостійкості ЛЗ, знижувати рівень перехресних наведень у кабелі, а також використовувати більш широкополосні ЛЗ [1 – 4].

4.2 Стандарти кабелів

Кабель – це досить складний виріб, який складається з провідників, шарів екрана й ізоляції. У деяких випадках до складу кабелю входять з'єднувачі, за допомогою яких кабелі приєднуються до обладнання. Крім цього, для забезпечення швидкої перекомутації кабелів та обладнання ви-

користовуються різні електромеханічні пристрої, які називаються кросовими секціями, кросовими коробками або шафами. В КМ застосовуються кабелі, що задовольняють визначені стандарти і дозволяють будувати кабельну систему мережі з'єднуючи пристрої різних виробників. Сьогодні найбільш вживаними стандартами у світовій практиці є [1, 4, 17]:

- американський стандарт EIA/TIA-568A, який був розроблений спільними зусиллями декількох організацій: ANSI, EIA/TIA і лабораторією Underwriters Labs (UL). Стандарт EIA/TIA-568 розроблений на основі попередньої версії стандарту EIA/TIA-568 і доповнень до цього стандарту TSB-36 і TSB-40A);
- міжнародний стандарт ISO/IEC 11801;
- європейський стандарт EN50173.

Ці стандарти близькі між собою і за багатьма вимогами, які висуваються до кабелів. Однак є і розходження між цими стандартами, наприклад, у міжнародний стандарт 11801 і європейський EN50173 увійшли деякі типи кабелів, що відсутні в стандарті EIA/TIA-568A.

До появи стандарту EIA/TIA велику роль відігравав американський стандарт *системи категорій кабелів* Underwriters Labs, розроблений разом з компанією Anixter. Пізніше він увійшов до стандарту EIA/TIA-568 [1, 4].

Крім цих відкритих стандартів, багато компаній у свій час розробили свої фірмові стандарти, з яких і досі має практичне значення тільки один – стандарт компанії IBM.

При стандартизації кабелів прийнято протокольнo-незалежний підхід. Це означає, що в стандарті оговорюються електричні, оптичні і механічні характеристики, які повинен задовольняти той чи інший тип кабелю чи виробу для з'єднання – роз'єм, кросова панель тощо. Однак для якого протоколу призначений даний кабель, стандарт не визначає. Тому не можна придбати кабель для протоколу Ethernet чи FDDI, потрібно просто знати, які типи стандартних кабелів підтримують протоколи Ethernet і FDDI.

В ранніх версіях стандартів визначались тільки характеристики кабелів, без з'єднувачів. В останніх версіях стандартів з'явилися вимоги до елементів з'єднання (документи TSB-36 і TSB-40A, що потім увійшли до стандарту 568A), а також до ліній (каналів), що являють собою типову збірну конструкцію елементів кабельної системи, яка складається зі шнура від робочої станції до розетки, самої розетки, основного кабелю, точки переходу (наприклад, ще однієї розетки або кросового з'єднання) і шнура до активного обладнання, наприклад, концентратора або комутатора.

Ми зупинимось тільки на основних вимогах до самих кабелів, не розглядаючи характеристик елементів з'єднання і зібраних ліній. У стандартах кабелів обговорюються досить багато характеристик, найважливіші з яких перераховані нижче (перші дві з них уже були досить детально розглянуті):

- згасання (Attenuation) – вимірюється в децибелах на метр для певних частот або діапазону частот сигналу;

– перехресні наведення на ближньому кінці (Near End Cross Talk, NEXT) – вимірюються в децибелах для певної частоти сигналу;

– імпеданс (хвильовий опір) – це повний (активний і реактивний) опір в електричному колі. Імпеданс вимірюється в омах і є сталою величиною для кабельних систем (наприклад, для коаксіальних кабелів, які використовуються у стандартах Ethernet, імпеданс кабелю повинен складати 50 Ом). Для неекранованої скрученої пари, яка найчастіше використовується, значення імпедансу – 100 і 120 Ом. В області високих частот (100-200 МГц) імпеданс залежить від частоти;

– активний опір – це опір постійному струму в електричному колі. На відміну від імпедансу активний опір не залежить від частоти і зростає зі збільшенням довжини кабелю;

– ємність (іноді застосовують термін „паразитна ємність”) – це властивість металевих провідників накопичувати енергію. Два електричних провідники в кабелі, розділені діелектриком, є конденсатором, здатним накопичувати заряд. Ємність є небажаною величиною, тому вона повинна бути якнайменшою. Високе значення ємності в кабелі приводить до перекручування сигналу й обмежує смугу пропускання лінії;

– рівень зовнішнього електромагнітного випромінювання або електричний шум. Електричний шум – це небажана змінна напруга у провіднику. Електричний шум буває двох типів: фоновий та імпульсний. Електричний шум поділяється на низько-, середньо- і високочастотний. Джерелами фонового електричного шуму в діапазоні до 150 кГц є лінії електропередачі, телефони і лампи денного світла; у діапазоні від 150 кГц до 20 МГц – комп’ютери, принтери, ксерокси; у діапазоні від 20 МГц до 1 ГГц – телевізійні та радіопередавачі, мікрохвильові печі. Основними джерелами імпульсного електричного шуму є мотори, перемикачі і зварювальні агрегати. Електричний шум вимірюється в мілівольтах;

– діаметр чи площа перерізу провідника. Для мідних провідників досить вживаною є американська система AWG (American Wire Gauge), що вводить деякі умовні типи провідників (наприклад, 22AWG, 24AWG, 26AWG). Чим більший номер типу провідника, тим менший його діаметр. У європейських і міжнародних стандартах діаметр провідника вказується в міліметрах.

Наведений перелік характеристик далеко не повний, в ньому подані тільки електромагнітні характеристики і його потрібно доповнити механічними та конструктивними характеристиками, що визначають тип ізоляції, конструкцію з’єднання і т. д. Крім універсальних характеристик, таких, наприклад, як згасання, що застосовуються для всіх типів кабелів, є характеристики, що застосовуються тільки до певного типу кабелю. Наприклад, параметр *крок скрутки проводів* використовується тільки для характеристики скрученої пари, а параметр NEXT застосовується тільки до багатопа-

рних кабелів на основі скрученої пари [1, 4].

Основна увага в сучасних стандартах приділяється кабелям на основі скрученої пари та волоконно-оптичним кабелям.

Кабелі на основі неекранованої скрученої пари

Мідний неекранований кабель UTP в залежності від електричних і механічних характеристик поділяється на 7 категорій. Кабелі категорій 1 і 2 були визначені в стандарті EIA/TIA-568, але в стандарт 568A вже не увійшли як застарілі [1, 4, 12].

Кабелі *категорії 1* застосовуються там, де вимоги до швидкості передавання мінімальні. Зазвичай, це кабель для цифрового та аналогового передавання голосу і низької швидкості (до 20 Кбіт/с) передавання даних. До 1983 року це був основний тип кабелю для телефонного зв'язку.

Кабелі *категорії 2* були вперше застосовані фірмою IBM при побудові власної кабельної системи. Головна вимога до кабелів цієї категорії – здатність передавати сигнали зі спектром до 1 МГц.

Кабелі *категорії 3* були стандартизовані в 1991 році, коли був розроблений *Стандарт телекомунікаційних кабельних систем для комерційних будинків* (EIA-568), на основі якого потім був створений діючий стандарт EIA-568A, Стандарт EIA-568 визначив електричні характеристики кабелів категорії 3 для частот у діапазоні до 16 МГц, що підтримують, таким чином, високошвидкісні мережеві додатки. Кабель категорії 3 призначений як для передавання даних, так і для передавання голосу. Крок скрутки проводів дорівнює приблизно 3 витки на 1 фут (30,5 см).

Кабелі *категорії 4* – це поліпшений варіант кабелів категорії 3, які повинні витримувати тести на частоті передавання сигналу 20 МГц і забезпечувати підвищену завадостійкість і низькі втрати сигналу. Кабелі категорії 4 добре підходять для застосування в системах з великими відстанями (до 135 метрів) і в мережах Token Ring з пропускнуою здатністю 16 Мбіт/с. На практиці використовуються рідко.

Кабелі *категорії 5* були спеціально розроблені для підтримки високошвидкісних протоколів. Тому їх характеристики визначаються в діапазоні до 100 МГц. Більшість нових високошвидкісних стандартів орієнтуються на використання скрученої пари категорії 5. На цьому кабелі працюють протоколи зі швидкістю передавання даних 100 Мбіт/с – FDDI (з фізичним стандартом TP-PMD), Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, а також більш швидкісні протоколи – АТМ на швидкості 155 Мбіт/с, і Gigabit Ethernet на швидкості 1000 Мбіт/с (варіант Gigabit Ethernet на скрученій парі категорії 5 став стандартом у червні 1999 р.). Кабель категорії 5 прийшов на заміну кабелю категорії 3, і сьогодні в усіх нових кабельних системах великих будинків використовується саме цей тип кабелю (разом з волоконно-оптичним).

Найважливіші електромагнітні характеристики кабелю категорії 5

мають такі значення:

- повний хвильовий опір у діапазоні частот до 100 МГц дорівнює 100 Ом (стандарт ISO 11801 допускає також кабель із хвильовим опором 120 Ом);
- величина перехресних наведень NEXT в залежності від частоти сигналу повинна приймати значення не менше ніж 74 дБ на частоті 150 кГц і не менше ніж 32 дБ на частоті 100 МГц;
- згасання має граничні значення від 0,8 дБ (на частоті 64 кГц) до 22 дБ (на частоті 100 МГц);
- активний опір не повинен перевищувати 9,4 Ом на 100 м;
- ємність кабелю не повинна перевищувати 5,6 нФ на 100 м.

Кабелі *категорії 5e* використовуються для побудови мереж на основі технології Gigabit Ethernet. Характеристики цього кабелю визначаються на частотах до 125 МГц.

Всі кабелі UTP незалежно від категорії випускаються в 4-парному виконанні. Кожна з чотирьох пар кабелю має певний колір і крок скрутки. Зазвичай, дві пари призначені для передавання даних, а дві – для передавання голосу.

Для з'єднання кабелів з обладнанням використовуються вилки і розетки RJ-45, які є 8-контактними роз'ємами.

Особливе місце займають кабелі категорій 6 і 7. Для кабелів категорії 6 характеристики визначаються до частоти 250 МГц (для категорії 6а, частота сигналу збільшена до 500 МГц), а для кабелів категорії 7 – до 600 – 700 МГц. Кабелі категорії 7 обов'язково екрануються, причому як кожна пара, так і весь кабель в цілому. Кабель категорії 6 може бути як екранованим, так і неекранованим. Основне призначення цих кабелів – підтримка високошвидкісних протоколів на відрізках кабелю більшої довжини, ніж кабель UTP категорії 5. Деякі фахівці сумніваються в необхідності застосування кабелів категорії 7, оскільки вартість кабельної системи при їх використанні виходить порівнянною з вартістю мережі на основі волоконно-оптичних кабелів, а характеристики кабелів на основі оптичних волокон кращі.

Кабелі на основі екранованої скрученої пари

Екранована скручена пара STP добре захищає сигнали від зовнішніх завад, а також менше випромінює електромагнітних коливань назовні, що захищає, у свою чергу, користувачів мереж від шкідливого для здоров'я випромінювання. Наявність екрана, що заземлюється, підвищує вартість кабелю та ускладнює його прокладання, оскільки вимагає виконання якісного заземлення. Екранований кабель застосовується тільки для передавання даних, а голос по ньому не передають [1, 4].

Основним стандартом, що визначає параметри екранованої скрученої пари є стандарт IBM. У цьому стандарті кабелі поділяються не на категорії,

а на типи: Type 1, Type 2, ... , Type 9.

Основним типом екранованого кабелю є кабель Type 1 стандарту IBM. Він складається з двох пар скручених проводів, екранованих провідним обплетенням, яке заземляється. Електричні параметри кабелю Type 1 приблизно відповідають параметрам кабелю UTP категорії 5. Однак хвильовий опір кабелю Type 1 дорівнює 150 Ом (UTP категорії 5 має хвильовий опір 100 Ом), тому простого „поліпшення” кабельної проводки мережі шляхом заміни неекранованої пари UTP на STP Type 1 неможливо. Трансивери, розраховані на роботу з кабелем, що має хвильовий опір 100 Ом, будуть погано працювати на хвильовому опорі 150 Ом. Тому при використанні STP Type 1 необхідні відповідні трансивери. Такі трансивери є у мережевих адаптерах Token Ring, оскільки ці мережі розроблялись для роботи на екранованій скрученій парі. Деякі інші стандарти також підтримують кабель STP Type 1 – наприклад, 100VG-AnyLAN та Fast Ethernet (хоча основним типом кабелю для Fast Ethernet є UTP категорії 5). У випадку якщо технологія може використовувати UTP і STP, потрібно дізнатись, на який тип кабелю розраховані трансивери. Сьогодні кабель STP Type 1 включений у стандарти EIA/TIA-568A, ISO 11801 і EN50173, тобто придбав міжнародний статус.

Екрановані скручені пари використовуються також у кабелі IBM Type 2, що являє собою кабель Type 1 з додатковими двома парами неекранованого проводу для передавання голосу.

Для приєднання екранованих кабелів до обладнання використовуються роз'єми конструкції IBM.

Не всі типи кабелів стандарту IBM відносяться до екранованих кабелів – деякі визначають характеристики неекранованого телефонного кабелю (Type 3) і волоконно-оптичного кабелю (Type 5).

Волоконно-оптичні кабелі

Волоконно-оптичні кабелі складаються з центрального провідника світла (серцевини) – скляного волокна, оточеного іншим шаром скла (оболонкою), що має менший показник заломлення, ніж серцевина. Розповсюджуючись по серцевині, промені світла не виходять за її межі, відбиваючись від шару оболонки, що її покриває. В залежності від розподілу показника заломлення і від величини діаметра серцевини розрізняють [1, 4, 17]:

- багатомодові волокна зі ступінчатою зміною показника заломлення (рис. 4.2 а);
- багатомодові волокна з плавною зміною показника заломлення (рис. 4.2 б);
- одномодове волокно (рис. 4.2 в) .

Поняття “мода” описує режим поширення світлових променів у внутрішній серцевині кабелю. В одномодовому кабелі (Single Mode Fiber, SMF) використовується центральний провідник дуже малого діаметра, порівнян-

ного з довжиною хвилі світла – від 5 до 10 мкм. При цьому практично всі промені світла розповсюджуються уздовж оптичної осі світловоду, не відбиваючись від зовнішнього провідника. Смуга пропускання одномодового кабелю дуже широка – до сотень гігагерц на кілометр. Виготовлення тонких якісних волокон для одномодового кабелю являє собою складний технологічний процес, що робить одномодовий кабель досить дорогим. Крім того, у волокно такого маленького діаметра досить складно направити пучок світла, не втративши при цьому значну частину його енергії.

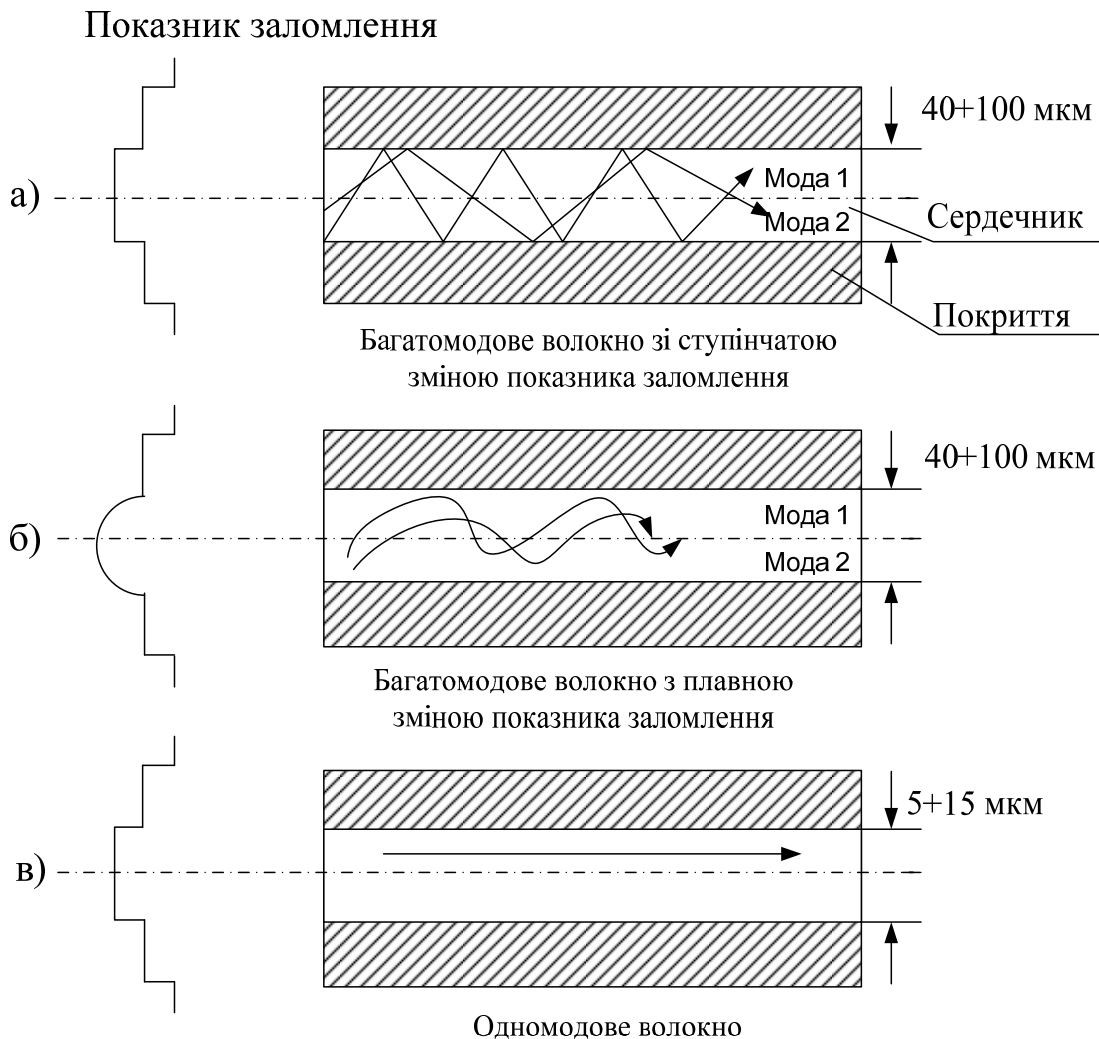


Рисунок 4.2 – Розповсюдження світла в оптичних кабелях

У багатомодових кабелях (*Multi Mode Fiber, MMF*) використовуються внутрішні серцевини більшого діаметра, які легше виготовити технологічно. У стандартах визначені два найвживаніших багатомодових кабелі: 62,5/125 мкм і 50/125 мкм, де 62,5 мкм та 50 мкм – це діаметр центрального провідника, а 125 мкм – діаметр зовнішнього провідника.

У багатомодових кабелях у внутрішньому провіднику одночасно є

кілька світлових променів, що відбиваються від зовнішнього провідника під різними кутами. Кут, під яким відбивається промінь, називається модою променя. У багатомодових кабелях з плавною зміною коефіцієнта заломлення режим поширення кожної моди має більш складний характер.

Багатомодові кабелі мають більш вузьку смугу пропускання – від 500 до 800 МГц/км. Звуження смуги відбувається через втрати світлової енергії при відбитті, а також внаслідок інтерференції променів різних мод.

Як джерела випромінювання світла у волоконно-оптичних кабелях застосовуються:

- світлодіоди;
- напівпровідникові лазери.

Для одномодових кабелів застосовуються тільки напівпровідникові лазери, оскільки при такому малому діаметрі оптичного волокна світловий потік, який створюється світлодіодом, неможливо без значних втрат направити у волокно. Для багатомодових кабелів використовуються дешевші світлодіодні випромінювачі.

Для передавання інформації застосовується світло з довжиною хвилі 1550 нм, 1300 нм та 850 нм. Світлодіоди можуть випромінювати світло з довжиною хвилі 850 нм і 1300 нм. Випромінювачі з довжиною хвилі 850 нм істотно дешевші, ніж випромінювачі з довжиною хвилі 1300 нм, але смуга пропускання кабелю для хвиль 850 нм дорівнюватиме 200 МГц/км замість 500 МГц/км. Лазерні випромінювачі працюють на довжині хвиль 1300 і 1550 нм. Швидкодія сучасних лазерів дозволяє модулювати світловий потік з частотами 10 ГГц і вище. Лазерні випромінювачі створюють когерентний потік світла, за рахунок чого втрати в оптичних волокнах стають менші, ніж при використанні некогерентного потоку світлодіодів.

Використання тільки декількох довжин хвиль для передавання інформації в оптичних волокнах пов'язано з особливістю їх АЧХ. Саме для цих дискретних довжин хвиль спостерігаються яскраво виражені максимуми передавання потужності сигналу, а для інших хвиль згасання у волокнах істотно вище. Волоконно-оптичні кабелі приєднують до обладнання роз'ємами MIC, ST і SC.

Волоконно-оптичні кабелі мають відмінні характеристики всіх типів: електромагнітні, механічні (добре гнуться, а у відповідній ізоляції мають гарну механічну міцність). Однак у них є один серйозний недолік – складність з'єднання волокон з роз'ємами і між собою при необхідності нарощування довжини кабелю. Вартість волоконно-оптичних кабелів не набагато перевищує вартість кабелів на основі скрученої пари, однак, проведення монтажних робіт з оптичним волокном обходиться набагато дорожче через трудомісткість операцій і високу вартість застосовуваного монтажного обладнання. Так, приєднання оптичного волокна до роз'єму вимагає проведення високоточного обрізання волокна в площині строго перпендикулярній до осі волокна, а також виконання з'єднання шляхом складної операції

склеювання, а не обтиснення, як це робиться для скрученої пари. Виконання ж неякісних з'єднань відразу різко звужує смугу пропускання волоконно-оптичних кабелів.

Коаксіальні кабелі

Є велика кількість типів коаксіальних кабелів, які використовуються у мережах різного типу – телефонних, телевізійних і комп'ютерних. Нижче наводяться основні типи і характеристики цих кабелів:

- RG-8 і RG-11 – „товстий” коаксіальний кабель, розроблений для мереж Ethernet 10Base-5. Має хвильовий опір 50 Ом і зовнішній діаметр 0,5 дюйма (близько 12 мм). Цей кабель має досить товстий внутрішній провідник діаметром 2,17 мм, що забезпечує гарні механічні та електричні характеристики (згасання на частоті 10 МГц – не гірше 18 дБ/км). Проте цей кабель складно монтувати – він погано гнеться;
- RG-58/U, RG-58 A/U і RG-58 C/U – різновиди „тонкого” коаксіального кабелю для мереж Ethernet Base-2. Кабель RG-58/U має суцільний внутрішній провідник, а кабель RG-58 A/U – багатожильний. Кабель RG-58 C/U проходить „військове приймання”. Усі ці різновиди кабелю мають хвильовий опір 50 Ом, але мають гірші механічні та електричні характеристики порівняно з „товстим” коаксіальним кабелем. Тонкий внутрішній провідник 0,89 мм не такий міцний, але має набагато більшу гнучкість, зручний при монтажних роботах. Згасання в цьому типі кабелю вище, ніж у „товстому” коаксіальному кабелі, що приводить до необхідності зменшувати довжину кабелю для одержання однакового згасання в сегменті. Для з'єднання кабелів з обладнанням використовується роз'єм типу BNC;
- RG-59 – телевізійний кабель з хвильовим опором 75 Ом. Широко застосовується в кабельному телебаченні;
- RG-62 – кабель з хвильовим опором 93 Ом використовувався в мережах ArcNet, обладнання для яких сьогодні практично не випускається. Коаксіальні кабелі з хвильовим опором 50 Ом (тобто „тонкий” і „товстий”) описані у стандарті EIA/TIA-568. Новий стандарт EIA/TIA-568А коаксіальні кабелі не описує як морально застаріли [1].

4.3 Аналогова модуляція

При передаванні дискретних даних по ЛЗ застосовуються два основних типи фізичного кодування – на основі синусоїдального несучого сигналу і на основі послідовності прямокутних імпульсів [1, 4, 11, 17]. Перший спосіб часто називається також *модуляцією* або *аналоговою модуляцією*, підкреслюючи той факт, що кодування здійснюється за рахунок зміни параметрів аналогового сигналу. Другий спосіб називають *цифровим кодуванням*. Ці способи відрізняються шириною спектра результуючого сигналу і складністю апаратури, необхідної для їх реалізації.

При використанні прямокутних імпульсів спектр результуючого сигналу виходить дуже широким. Це не дивно, якщо згадати, що спектр ідеального імпульсу має нескінченну ширину. Застосування синусоїди приводить до спектра набагато меншої ширини при тій же швидкості передавання інформації. Однак для реалізації синусоїдальної модуляції потрібна більш складна і дорога апаратура, ніж для реалізації прямокутних імпульсів.

Сьогодні все частіше дані, що мають аналогову форму (мова, телевізійне зображення) – передаються по ЛЗ в дискретному вигляді. Процес подання аналогової інформації в дискретній формі називається *дискретною модуляцією*. Терміни “модуляція” і “кодування” часто використовують як синоніми [1, 17].

Аналогова модуляція застосовується для передавання дискретних даних по каналах з вузькою смугою частот, типовим представником яких є *канал тональної частоти*, наданий у розпорядження користувачам загальних телефонних мереж. Цей канал передає частоти в діапазоні від 300 до 3400 Гц, так, що його смуга пропускання дорівнює 3100 Гц. Хоча людський голос має набагато ширший спектр – приблизно від 100 Гц до 10 кГц – для прийнятної якості передавання мови діапазон у 3100 Гц є гарним рішенням. Строге обмеження смуги пропускання тонального каналу пов'язано з використанням апаратури ущільнення і комутації каналів у телефонних мережах. Пристрій, що виконує функції модуляції несучої синусоїди на стороні, яка передає сигнали і демодуляції на приймальній стороні, називається *модемом* (модулятор-демодулятор).

Методи аналогової модуляції

Аналогова модуляція є таким способом фізичного кодування, при якому інформація кодується зміною амплітуди або частоти фази синусоїдального сигналу несучої частоти. Основні способи аналогової модуляції показані на рис. 4.3. На діаграмі (рис. 4.3, а) показана послідовність бітів вихідної інформації, подана потенціалами високого рівня для логічної одиниці і потенціалом нульового рівня для логічного нуля. Такий спосіб кодування називається *потенціальним кодом*, який часто використовується при передаванні даних між блоками комп'ютера [1].

При *амплітудній модуляції* (рис. 4.3, б) для логічної одиниці вибирається один рівень амплітуди синусоїди несучої частоти, а для логічного нуля – інший. Цей спосіб рідко використовується в чистому вигляді на практиці внаслідок низької завадостійкості, але часто застосовується в поєднанні з іншим видом модуляції – *фазовою модуляцією*.

При *частотній модуляції* (рис. 4.3, в) значення 0 і 1 вихідних даних передаються синусоїдами різних частот – f_1 і f_2 . Цей спосіб модуляції не вимагає складних схем у модемах і, зазвичай, застосовується в низькошвидкісних модемах, що працюють на швидкостях 300 – 1200 біт/с.

У випадку фазової модуляції (рис. 4.3, г) значенням даних 0 і 1 відповідають сигнали однакової частоти, але з різною фазою, наприклад, 0 і 180 градусів.

У швидкісних модемах часто використовуються комбіновані методи модуляції, як правило, амплітудна в поєднанні з фазовою.

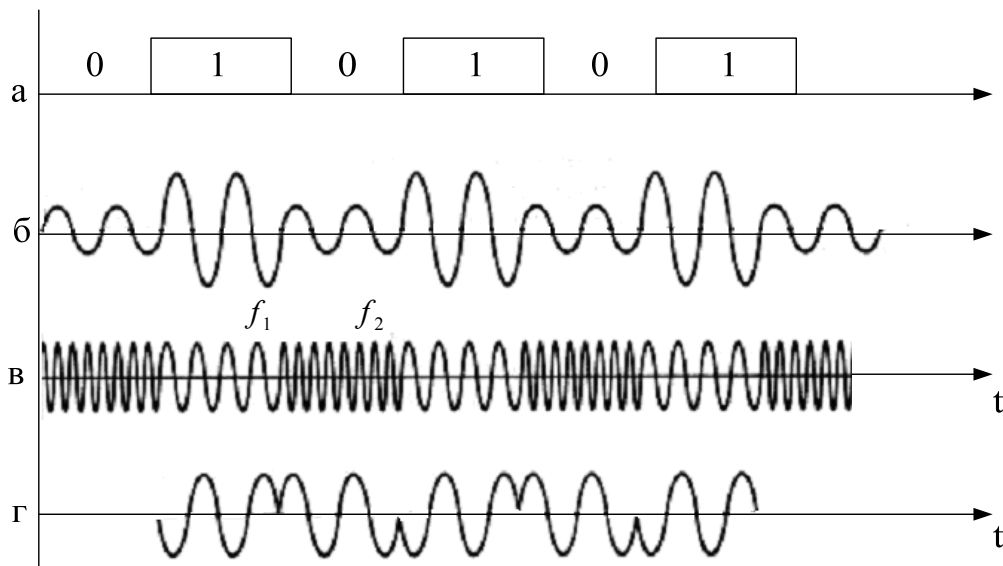


Рисунок 4.3 – Різні види модуляції

Дискретна модуляція аналогових сигналів

Однією з основних тенденцій розвитку мережевих технологій є передавання в одній мережі дискретних та аналогових за свою природою даних. Джерелами дискретних даних є комп'ютери та інші обчислювальні пристрої, а джерелами аналогових даних – телефони, відеокамери, звукова та відео апаратура. На ранніх етапах розв'язання цієї проблеми в територіальних мережах усі типи даних передавалися в аналоговій формі, при цьому дискретні за своїм характером комп'ютерні дані перетворювалися в аналогову форму за допомогою модемів [1, 4, 11, 17].

Однак із розвитком техніки приймання і передавання аналогових даних з'ясувалося, що передавання їх в аналоговій формі не дозволяє поліпшити якість прийнятих на іншому кінці лінії даних, якщо вони істотно спотворились при передаванні. Сам аналоговий сигнал не дає ніяких вказівок ні про те, що відбулось спотворення, ні про те, як його виправити, оскільки форма сигналу може бути різною, в тому числі і такою, котру зафіксував приймач. Поліпшення якості ЛЗ, особливо територіальних, вимагає величезних зусиль і капіталовкладень. Тому на зміну аналоговій техніці записування та передавання звуку і зображення прийшла цифрова техніка. Остання використовує так звану дискретну модуляцію вихідних безперервних за часом аналогових процесів.

Дискретні способи модуляції засновані на дискретизації безперервних процесів як за амплітудою, так і за часом. Розглянемо принципи дискретної

модуляції на прикладі *імпульсно-кодової модуляції, ІКМ (Pulse Amplitude Modulation, PAM)*, яка широко застосовується в цифровій телефонії.

Амплітуда початкової неперервної функції вимірюється із заданим періодом – за рахунок цього відбувається дискретизація за часом. Потім кожен вимір подається у вигляді двійкового числа певної розрядності, що означає дискретизацію за значеннями функції – неперервна множина можливих значень амплітуди заміняється дискретною множиною її значень. Пристрій, що виконує подібну функцію, називається аналого-цифровим перетворювачем (АЦП). Після цього перетворення сигнали передаються по ЛЗ у вигляді послідовності одиниць і нулів. При цьому застосовуються ті ж методи кодування, що й у випадку передавання початкової дискретної інформації, тобто, наприклад, методи, засновані на коді V8ZS або 2B1Q. На приймальній стороні коди перетворюються у вихідну послідовність бітів, а спеціальна апаратура, яка називається цифро-аналоговим перетворювачем (ЦАП), робить демодуляцію оцифрованих амплітуд безперервного сигналу, відновлюючи вхідну неперервну функцію часу.

Дискретна модуляція заснована на *теорії відображення Найквіста-Котельникова*. Відповідно до цієї теорії, аналогова неперервна функція, передана у вигляді послідовності її дискретних за часом значень, може бути точно відновлена, якщо частота дискретизації була в два або більше разів вища, ніж частота найвищої гармоніки спектра вихідної функції. Якщо ця умова не дотримується, то відновлена функція буде істотно відрізнятися від вхідної. Перевагою цифрових методів записування, відтворення і передавання аналогової інформації є можливість контролю вірогідності отриманих з носія або ЛЗ даних. Для цього можна застосовувати ті ж методи, що застосовуються для комп'ютерних даних – обчислення контрольної суми, повторне передавання спотворених кадрів та застосування кодів, що самокорегуються.

Для якісного передавання голосу методом ІКМ використовується частота квантування амплітуди звукових коливань у 8000 Гц. Це пов'язано з тим, що в аналоговій телефонії для передавання голосу був обраний діапазон від 300 до 3400 Гц, що досить якісно передає всі основні гармоніки співрозмовників. Відповідно до теореми Найквіста-Котельникова для якісного передавання голосу досить вибрати частоту дискретизації, у два рази вищу найвищої гармоніки безперервного сигналу, тобто $2 \cdot 3400 = 6800$ Гц. Обрана в дійсності частота дискретизації 8000 Гц забезпечує деякий запас якості. У методі ІКМ, зазвичай, використовується сім або вісім бітів коду для подання амплітуди одного виміру. Відповідно це дає 127 або 256 градацій звукового сигналу, що виявляється цілком достатнім для якісного передавання голосу. При використанні методу ІКМ для передавання одного голосового каналу необхідна пропускна здатність 56 або 64 Кбіт/с в залежності від того, якою кількістю бітів подається кожен вимір. Якщо для цих цілей використовується сім бітів, то при частоті передавання вимірів у

8000 Гц одержуємо: $8000 \cdot 7 = 56000$ біт/с; а для випадку восьми бітів: $8000 \cdot 8 = 64000$ біт/с.

Стандартним є цифровий канал 64 Кбіт/с, який також називається *елементарним каналом цифрових телефонних мереж*. Передавання безперервного сигналу в дискретному вигляді потребує від мереж твердого дотримання часового інтервалу в 125 мкс (відповідного частоті дискретизації 8000 Гц) між сусідніми вимірами, тобто вимагає синхронного передавання даних між вузлами мережі. При недотриманні синхронності вимірів вхідний сигнал відновлюється неправильно, що приводить до спотворення голосу, зображення або іншої мультимедійної інформації, яка передається по цифрових мережах. Так, перекручування синхронізації у 10 мс може привести до ефекту “місяця”, а зрушення між вимірами в 200 мс приводять до втрати можливості розпізнавання вимовлених слів. В той же час втрата одного виміру при дотриманні синхронності між іншими вимірами практично не позначається на відтвореному звуку. Це відбувається за рахунок пристроїв, що згладжують і засновані на властивості інерційності будь-якого фізичного сигналу: амплітуда звукових коливань не може миттєво змінитися на значну величину. На якість сигналу після ЦАП впливає не тільки синхронність надходження на його вхід вимірів, а й похибка дискретизації амплітуд цих вимірів. В теоремі Найквіста-Котельникова передбачається, що значення амплітуд функції вимірюються точно, в той же час використання для їх збереження двійкових чисел з обмеженою розрядністю дещо спотворює ці амплітуди. Відповідно спотворюється відновлений безперервний сигнал, що називається шумом дискретизації (за амплітудою).

Є й інші методи дискретної модуляції, які дозволяють подати виміри голосу в більш компактній формі, наприклад, у вигляді послідовності чотирибітових або двобітових чисел. При цьому один голосовий канал потребує меншу пропускну здатність, наприклад, 32 Кбіт/с, 16 Кбіт/с або ще меншу. З 1985 року застосовується стандарт ССІТТ кодування голосу Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM). Коди ADPCM засновані на знаходженні різниці між послідовними вимірами голосу, що потім і надсилаються мережею. У коді ADPCM для збереження однієї різниці використовуються 4 біти і голос передається зі швидкістю 32 Кбіт/с. Більш сучасний метод, Linear Predictive Coding (LPC), робить виміри вхідної функції рідше, але використовує методи прогнозування напрямку зміни амплітуди сигналу. За допомогою цього методу можна знизити швидкість передавання голосу до 9,6 Кбіт/с [1].

Подані в цифровій формі безперервні дані можна легко передати через КМ. Для цього досить помістити кілька вимірів у кадр будь-якої стандартної мережевої технології та надіслати адресату. Адресат повинен отримати з кадру виміри і подати їх з частотою квантування (для голосу – з частотою 8 000 Гц) на ЦАП. В міру надходження наступних кадрів з вимірами голосу операція повинна повторитися. Якщо кадри будуть прибувати досить

синхронно, то якість голосу може бути достатньо високою. Однак кадри в КМ можуть затримуватись як у кінцевих вузлах (при очікуванні доступу до розділюваного середовища), так і у проміжних комунікаційних пристроях – мостах, комутаторах і маршрутизаторах. Тому якість голосу при передаванні у цифровій формі через КМ, зазвичай, буває невисокою. Для якісного передавання оцифрованих безперервних сигналів: голосу, зображення – сьогодні використовують спеціальні цифрові мережі, такі, як АТМ та мережі цифрового телебачення. Проте для передавання корпоративних телефонних розмов сьогодні використовують мережі Frame relay, затримки передавання кадрів яких вкладаються у допустимі рамки [1, 4, 11, 17].

4.4 Цифрове кодування

Для цифрового кодування дискретної інформації застосовують потенціальні й імпульсні коди.

У потенціальних кодах для подання логічних одиниць і нулів використовується тільки значення потенціалу сигналу, а його перепади, що формують закінчені імпульси, до уваги не приймаються. Імпульсні коди дозволяють подати двійкові дані або імпульсами певної полярності, або частиною імпульсу – перепадом потенціалу певного напрямку.

Вимоги до методів цифрового кодування

При використанні прямокутних імпульсів для передавання дискретної інформації необхідно вибрати такий спосіб кодування, що одночасно досягав би декількох цілей [1, 4, 11, 17]:

- мав при одній і тій же бітовій швидкості найменшу ширину спектра результуючого сигналу;
- забезпечував синхронізацію між передавачем і приймачем;
- мав здатність розпізнавати помилки;
- мав низьку вартість реалізації.

Більш вузький спектр сигналів дозволяє на одній і тій же ЛЗ (з однієї і тією же смугою пропускання) отримувати більш високу швидкість передавання даних. Крім того, часто до спектра сигналу висувається вимога відсутності постійної складової, тобто наявності постійного струму між передавачем і приймачем. Зокрема, застосування різних трансформаторних схем *гальванічної розв'язки* перешкоджає проходженню постійного струму.

Синхронізація передавача і приймача потрібна для того, щоб приймач точно знав, в який момент часу необхідно зчитувати нову інформацію з ЛЗ. Ця проблема в мережах є складнішою, ніж при обміні даними між близько розташованими пристроями (наприклад, між блоками усередині комп'ютера або між комп'ютером і принтером. На невеликих відстанях добре працює схема, заснована на використанні окремої тактуючої ЛЗ, так що інформація знімається з лінії даних тільки в момент приходу тактового імпульсу. Проте у мережах використання цієї схеми викликає труднощі че-

рез неоднорідність характеристик провідників у кабелях. На великих відстанях нерівномірність швидкості розповсюдження сигналу може привести до того, що тактовий імпульс прийде дещо пізніше або раніше відповідного сигналу даних і біт даних буде пропущений або врахований повторно. Іншою причиною відмови від використання тактових імпульсів у мережах є економія провідників у дорогих кабелях.

Тому в мережах застосовуються *самосинхронізуючі сигнали* які несуть для передавача вказівки про те, у який момент часу потрібно здійснювати розпізнавання чергового біта (чи кількох бітів, якщо код орієнтований більш ніж на два стани сигналу). Будь-який різкий перепад сигналу (фронт) може служити вказівкою для синхронізації приймача з передавачем.

При використанні синусоїд як несучий сигнал результируючий код має властивість самосинхронізації, тому що зміна амплітуди несучої частоти дає можливість приймачу визначити момент появи вхідного коду.

Розпізнавання і корекцію спотворених даних складно здійснити засобами фізичного рівня, тому найчастіше цю роботу беруть на себе протоколи, що розташовані вище: канальний, мережевий, транспортний або прикладний. З іншого боку, розпізнавання помилок на фізичному рівні заощадує час, оскільки приймач не чекає повного переміщення кадру в буфер, а відбраковує його відразу при розпізнаванні помилкових бітів усередині кадру.

Вимоги, висунуті до методів кодування, є взаємосуперечливими, тому кожний з розглянутих нижче популярних методів цифрового кодування має свої переваги і свої недоліки у порівнянні з іншими [1, 4, 11].

Потенціальний код без повернення до нуля

На рис. 4.4 а показаний метод потенціального кодування або *кодуванням без повернення до нуля (Non Return to Zero, NRZ)*. Ця назва відбиває той факт, що під час передавання послідовності одиниць сигнал не повертається до нуля протягом такту (як ми побачимо нижче, в інших методах кодування повернення до нуля в цьому випадку відбувається). Метод NRZ простий у реалізації, має гарні властивості виявлення помилок (внаслідок наявності двох потенціалів, які різко відрізняються), але не має властивості самосинхронізації. При передаванні довгої послідовності одиниць або нулів сигнал на ЛЗ не змінюється, тому приймач позбавлений можливості визначати за вхідним сигналом моменти часу, коли потрібно в черговий раз зчитувати дані. Навіть при наявності високоточного тактового генератора приймач може помилитись з моментом знімання даних, оскільки частоти двох генераторів ніколи не бувають цілком ідентичними. Тому при високих швидкостях обміну даними і довгими послідовностями одиниць або нулів незначна неузгодженість тактових частот може привести до помилки у цілий такт і, відповідно, зчитуванню некоректного значення біта.

Іншим серйозним недоліком методу NRZ є наявність низькочастотної

складової, яка наближається до нуля при передаванні довгих послідовностей одиниць або нулів. Внаслідок цього багато ЛЗ, що не забезпечують прямого гальванічного з'єднання приймача з передавачем, цей вид кодування не підтримують. У результаті в чистому вигляді код NRZ у мережах не використовується, але використовуються його різні модифікації, у яких усувають як погану самосинхронізацію коду, так і наявність постійної складової. Привабливість коду NRZ, через яку має сенс зайнятися його поліпшенням, полягає в досить низькій частоті основної гармоніки f_0 , що дорівнює $N/2$ Гц [1]. В інших методах кодування, наприклад, манчестерському, основна гармоніка має більш високу частоту.

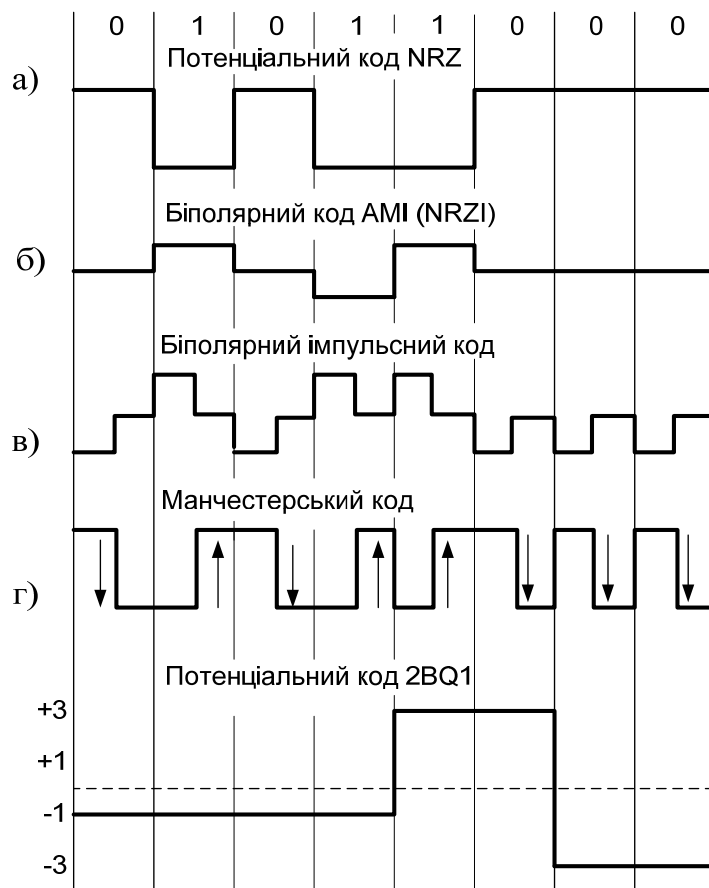


Рисунок 4.4 – Способи дискретного кодування даних

Метод біполярного кодування з альтернативною інверсією

Однією з модифікацій методу NRZ є метод біполярного кодування з альтернативною інверсією (*Bipolar Alternate Mark Inversion, AMI*). У цьому методі (рис. 4.4, б) використовуються три рівні потенціалу – негативний, нульовий і позитивний. Для кодування логічного нуля використовується нульовий потенціал, а логічна одиниця кодується або позитивним потенціалом, або негативним, при цьому потенціал кожної нової одиниці протилежний потенціалу попередньої.

Код AMI частково ліквідує проблеми постійної складової і відсутності самосинхронізації, властиві коду NRZ. Це відбувається при передаванні довгих послідовностей одиниць. У цих випадках сигнал на лінії є послідовністю різнополярних імпульсів з тим же спектром, що й у коді NRZ, який передає нулі та одиниці, що чергуються, тобто без постійної складової і з основною гармонікою $N/2$ Гц (де N – бітова швидкість передавання даних). Проте довгі послідовності нулів для коду AMI також небезпечні, як і для коду NRZ, оскільки сигнал вироджується у постійний потенціал нульової

амплітуди. Тому код АМІ вимагає подальшого поліпшення, хоча задача спрощується – залишилося справитися тільки з послідовностями нулів.

В цілому, для різних комбінацій бітів на лінії використання коду АМІ приводить до більш вузького спектра сигналу, ніж для коду NRZ, а виходить, і до більш високої пропускну здатності ЛЗ. Наприклад, при передаванні одиниць і нулів, що чергуються, основна гармоніка f_0 має частоту $N/4$ Гц. Код АМІ надає також деякі можливості з розпізнавання помилкових сигналів. Так, порушення строгого чергування полярності сигналів говорить про помилковий імпульс чи зникненні з лінії коректного імпульсу. Сигнал з некоректною полярністю називається *забороненим сигналом* (signal violation).

У коді АМІ використовуються не два, а три рівні сигналу на лінії. Додатковий рівень вимагає збільшення потужності передавача приблизно на 3 дБ для забезпечення тієї ж вірогідності приймання бітів на ЛЗ, що є загальним недоліком кодів з кількома станами сигналу порівняно з кодами, що розрізняють тільки два стани.

Потенціальний код з інверсією при одиниці

Є код, схожий на АМІ, але тільки з двома рівнями сигналу. При передаванні нуля він передає потенціал, що був встановлений у попередньому такті (тобто не змінює його), а при передаванні одиниці потенціал інвертується на протилежний. Цей код називається *потенціальним кодом з інверсією при одиниці* (*Non Return to Zero with ones Inverted, NRZI*). Цей код зручний у тих випадках, коли використання третього рівня сигналу дуже небажано, наприклад, в оптичних кабелях, де стійко розпізнаються два стани сигналу – світло і його відсутність.

Для поліпшення потенціальних кодів, подібних АМІ і NRZI, використовуються два методи. Перший метод заснований на доданні у вихідний код надлишкових бітів, що містять логічні одиниці. Очевидно, що в цьому випадку довгі послідовності нулів перериваються і код стає самосинхронізованим для будь-яких даних, що передаються. Крім того зникає постійна складова, а значить ще більше звужується спектр сигналу. Але цей метод знижує корисну пропускну здатність лінії, оскільки надлишкові одиниці не несуть користувачької інформації.

Інший метод заснований на попередньому “перемішуванні” вихідної інформації таким чином, щоб ймовірність появи одиниць і нулів на ЛЗ стала близькою. Пристрої, які виконують таку операцію, називаються *скремблерами* (*scramble* – смітник, хаотична купа). При скремблюванні використовується відомий алгоритм, тому приймач, одержавши двійкові дані, передає їх на *дескремблер*, який відновлює вхідну послідовність бітів. Надлишкові біти при цьому по ЛЗ не передаються. Обидва методи відносяться до логічного, а не фізичного кодування, оскільки форму сигналів на лінії вони не визначають.

Біполярний імпульсний код

Крім потенціальних у мережах використовуються й імпульсні коди, коли дані подані повним імпульсом чи його частиною – фронтом. Найпростішим випадком такого підходу є *біполярний імпульсний код*, у якому одиниця подана імпульсом однієї полярності, а нуль – іншої (рис. 4.4, в). Кожен імпульс триває половину такту. Такий код має відмінні властивості самосинхронізації, але постійна складова може бути присутня, наприклад, при передаванні довгої послідовності одиниць або нулів. Крім того, спектр у нього ширший, ніж у потенціальних кодів. Так, при передаванні всіх нулів чи одиниць частота основної гармоніки коду дорівнюватиме N Гц, що в два рази вище основної гармоніки коду NRZ і в чотири рази вище основної гармоніки коду АМІ при передаванні одиниць і нулів, що чергуються. Внаслідок занадто широкого спектра біполярний імпульсний код використовується рідко.

Манчестерський код

В ЛКМ донедавна найпоширенішим методом кодування був манчестерський код (рис. 4.4, г). Він застосовується у технологіях Ethernet і Token Ring. В цьому коді для кодування одиниць і нулів використовується фронт імпульсу. Тут кожен такт поділяється на дві частини і інформація кодується перепадами потенціалу, що відбуваються в середині кожного такту. Одиниця кодується перепадом від низького рівня сигналу до високого (переднім фронтом), а нуль – зворотним перепадом (заднім фронтом). На початку кожного такту може відбуватися службовий перепад сигналу, якщо потрібно подати кілька одиниць чи нулів підряд. Тому сигнал змінюється принаймні один раз за такт передавання одного біта даних. Манчестерський код має гарні властивості самосинхронізації. Смуга пропускання манчестерського коду вужча, ніж у біполярного імпульсного. У нього також немає постійної складової, а основна гармоніка в гіршому випадку (при передаванні послідовності одиниць чи нулів) має частоту N Гц, а в кращому (при передаванні одиниць і нулів, які чергуються) вона дорівнює $N/2$ Гц, як і для кодів АМІ або NRZ. В середньому ширина смуги манчестерського коду у півтора рази вужча, ніж у біполярного імпульсного коду, а основна гармоніка коливається поблизу значення $3N/4$. Манчестерський код має ще одну перевагу перед біполярним імпульсним кодом – в останньому для передавання даних використовуються три рівні сигналу, а в манчестерському – два.

Потенціальний код 2В1Q

На рис. 4.4, д наведено потенціальний код з чотирма рівнями сигналу. Це код 2В1Q, назва якого відображує його суть – кожні два біти (2В) передаються за один такт сигналом, що має чотири стани (1Q). Парі бітів 00 відповідає потенціал $-2,5$ В, парі 01 – потенціал $-0,833$ В, парі 11 – потенці-

ал +0,833 В, а парі 10 – потенціал +2,5 В. При цьому способі кодування потребуються додаткові заходи щодо боротьби з довгими послідовностями однакових пар бітів, оскільки при цьому сигнал перетворюється в постійну складову. При випадковому чергуванні бітів спектр сигналу в два рази вузкий, ніж у коді NRZ, оскільки при тій же бітовій швидкості тривалість такту збільшується в два рази. Таким чином, за допомогою коду 2B1Q можна по одній і тій же ЛЗ передавати дані в два рази швидше, ніж за допомогою коду АМІ або NRZI. Однак для його реалізації потужність передавача повинна бути вища, щоб чотири рівні чітко розрізнялися приймачем на фоні перешкод.

4.5 Логічне кодування

Логічне кодування використовується для поліпшення потенціальних кодів типу АМІ, NRZI або 2Q1В. Воно повинно замінити довгі послідовності бітів, що приводять до постійного потенціалу, вкрапленнями одиниць. Для логічного кодування характерні два методи – надлишкові коди і скремблювання.

Надлишкові коди

Надлишкові коди засновані на розбиванні вихідної послідовності бітів на порції, які називають символами. Потім кожен вихідний символ замінюється новим, який має більшу кількість бітів, ніж вихідний. Наприклад, логічний код 4В/5В (буква В у назві коду означає, що елементарний сигнал має 2 стани – від англійського binary – двійковий), використовуваний у технологіях FDDI і Fast Ethernet, замінює вихідні символи довжиною у 4 біти на символи довжиною у 5 бітів. Оскільки результуючі символи містять надлишкові біти, то загальна кількість бітових комбінацій у них більша, ніж у вихідних. Так, у коді 4В/5В результуючі символи можуть містити 32 бітові комбінації, в той час як вхідні символи – тільки 16. Тому в результуючому коді можна відібрати 16 таких комбінацій, що не містять великої кількості нулів, а інші вважати *забороненими кодами (code violation)*. Крім усунення постійної складової і надання коду властивості самосинхронізації, надлишкові коди дозволяють приймачу розпізнавати спотворені біти. Якщо приймач приймає заборонений код – це означає, що на лінії відбулося спотворення сигналу [1, 4].

Відповідність вихідних та результуючих кодів 4В/5В подано у таблиці 4.1.

Потім код 4В/5В передається по ЛЗ за допомогою фізичного кодування за одним з методів потенціального кодування, чутливим тільки до довгих послідовностей нулів. Символи коду 4В/5В довжиною 5 бітів гарантують, що при будь-якому їх з'єднанні на лінії не можуть зустрітися більше трьох нулів підряд.

Є також коди і з трьома станами сигналу, наприклад, у коді 8В/6Т для кодування 8 бітів вхідної інформації використовується код з 6 сигналів,

кожний з яких має три стани. Надмірність коду 8В/6Т вища, ніж коду 4В/5В, оскільки на 256 вхідних кодів приходиться $3^6=729$ результуючих символів.

Таблиця 4.1 – Вихідні та результуючі комбінації коду 4В/5В

| Вхідний код | Результуючий код | Вхідний код | Результуючий код |
|-------------|------------------|-------------|------------------|
| 0000 | 00001 | 1000 | 10010 |
| 0001 | 01001 | 1001 | 10011 |
| 0010 | 10100 | 1010 | 10110 |
| 0010 | 10101 | 1011 | 10111 |
| 0100 | 01010 | 1100 | 11010 |
| 0101 | 01011 | 1101 | 11011 |
| 1010 | 00101 | 1110 | 11100 |
| 0111 | 00101 | 1111 | 11101 |

Використання таблиці перекодування є дуже простою операцією, тому цей підхід не ускладнює мережеві адаптери та інтерфейсні блоки комутаторів і маршрутизаторів.

Для забезпечення заданої пропускну здатності ЛЗ передавач, що використовує надлишковий код, повинен працювати з підвищеною тактовою частотою. Так, для передавання кодів 4В/5В зі швидкістю 100 Мб/с передавач повинен працювати з тактовою частотою 125 МГц. При цьому спектр сигналу на лінії розширюється в порівнянні з випадком, коли по лінії передається чистий, не надлишковий код. Проте спектр надлишкового потенціального коду виявляється вже спектром манчестерського коду, що виправдовує додатковий етап логічного кодування, а також роботу приймача і передавача на підвищеній тактовій частоті.

Скремблювання

Перемішування даних скремблером перед передаванням їх у лінію за допомогою потенціального коду є іншим способом логічного кодування [1].

Методи скремблювання полягають у побітному обчисленні результуючого коду на підставі біт вхідного коду й отриманих у попередніх тактах бітів результуючого коду. Наприклад, скремблер може реалізовувати таке співвідношення:

$$V_i = A_i \oplus V_{i-3} \oplus V_{i-5},$$

де V_i – двійкова цифра результуючого коду, отримана на i -му такті роботи скремблера; A – двійкова цифра вхідного коду, що надходить на i -му такті на вхід скремблера; V_{i-3} та V_{i-5} – двійкові цифри результуючого коду, отримані на попередніх тактах роботи скремблера, відповідно на 3 і на 5 тактах раніше поточного такту; \oplus – операція логічного додавання за модулем 2.

Наприклад, для вихідної послідовності 110110000001 скремблер отримав

має такий результуючий код:

$B_1 = A_1 = 1$ (перші три цифри результуючого коду збігаються з вхідним, оскільки ще немає потрібних попередніх цифр);

$$B_2 = A_2 = 1;$$

$$B_3 = A_3 = 0;$$

$$B_4 = A_4 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 = 0;$$

$$B_5 = A_5 \oplus B_2 = 1 \oplus 1 = 0;$$

$$B_6 = A_6 \oplus B_3 \oplus B_1 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$B_7 = A_7 \oplus B_4 \oplus B_2 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$B_8 = A_8 \oplus B_5 \oplus B_3 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0;$$

$$B_9 = A_9 \oplus B_6 \oplus B_4 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1;$$

$$B_{10} = A_{10} \oplus B_7 \oplus B_5 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1;$$

$$B_{11} = A_{11} \oplus B_8 \oplus B_6 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$B_{12} = A_{12} \oplus B_9 \oplus B_7 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1.$$

Таким чином, на виході скремблера з'явиться послідовність 110001101111, у якій немає послідовності з шести нулів, що була присутня у вхідному коді.

Після одержання результуючої послідовності приймач передає її де-скремблеру, що відновлює вхідну послідовність на підставі оберненого співвідношення

$$C_i = B_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} = (A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}) \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} = A_i.$$

Різні алгоритми скремблювання відрізняються кількістю доданків, що дають цифру результуючого коду, і зсувом між доданками. Так, у мережах ISDN при передаванні даних від мережі до абонента використовується перетворення зі зсувом у 5 і 23 позиціях, а при передаванні даних від абонента в мережу – зі зсувом у 18 і 23 позиціях.

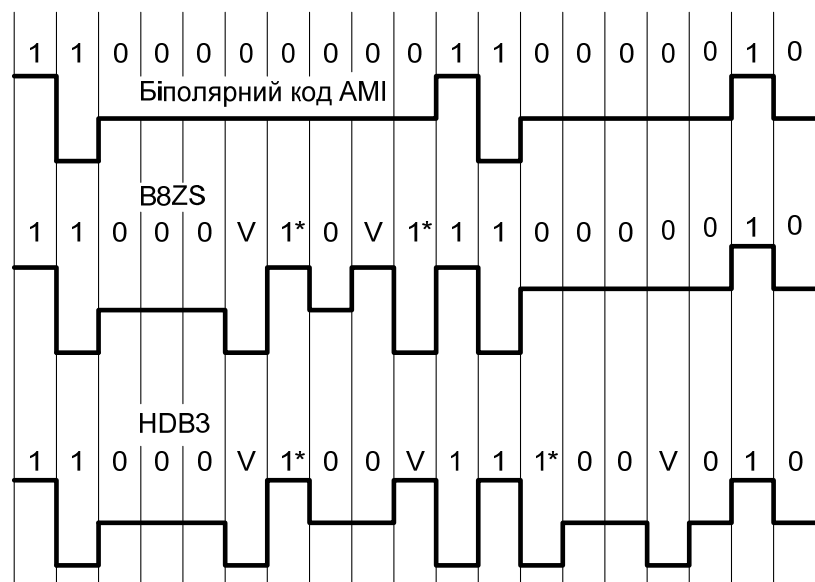


Рисунок 4.5 – Коди B8ZS і HDB3

Існують і більш прості методи боротьби з послідовностями одиниць, які також відносяться до класу скремблювання.

Для поліпшення коду Bipolar AMI використовуються два методи, засновані на штучному викривленні послідовності нулів забороненими сим-

волами.

На рис. 4.5 наведено використання методів B8ZS (Bipolar with 8-Zeros Substitution) та HDB3 (High-Density Bipolar 3-Zeros) для коректування коду АМІ. Вихідний код складається з двох довгих послідовностей нулів: у першому випадку з восьми, а в другому – з п'яти.

Код B8ZS виправляє тільки послідовності, що складаються з 8 нулів. Для цього він після перших трьох нулів замість п'яти нулів, що залишилися, вставляє п'ять цифр: $V-1^*-0-V-1^*$. V тут позначає сигнал одиниці, забороненої для даного такту полярності, тобто сигнал, що не змінює полярність попередньої одиниці, 1^* – сигнал одиниці коректної полярності, а знак зірочки визначає той факт, що у вхідному коді в цьому такті була не одиниця, а нуль. У результаті на восьми тактах приймач спостерігає 2 перекручування – дуже мало ймовірно, що це відбулося внаслідок шуму на лінії або інших збоїв передавання. Тому приймач вважає такі порушення кодуванням 8 послідовних нулів і після приймання замінює їх на вихідні 8 нулів. Код B8ZS побудований так, що його постійна складова дорівнює нулю при будь-яких послідовностях двійкових цифр.

Код HDB3 виправляє будь-які чотири нулі, що йдуть підряд у вхідній послідовності. Правила формування коду HDB3 складніші, ніж для коду B8ZS. Кожні чотири нулі замінюються чотирма сигналами, у яких є один сигнал V . Для усунення постійної складової полярність сигналу V чергується при послідовних замінах. Крім того, для заміни використовуються два зразки чотиритактових кодів. Якщо перед заміною вихідний код містив непарне число одиниць, то використовується послідовність $000V$, а якщо число одиниць було парним – послідовність 1^*00V .

Поліпшені потенціальні коди мають досить вузьку смугу пропускання для будь-яких послідовностей одиниць і нулів, що зустрічаються в даних, які передаються.

Потенціальний надлишковий і скрембльований коди мають вузьчі спектри, ніж манчестерський код та біполярне імпульсне кодування. Цим і пояснюється застосування перших у сучасних технологіях, наприклад, FDDI, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet тощо [1, 4, 11, 17].

4.6 Передавання даних канального рівня

Канальний рівень забезпечує передавання пакетів даних, що надходять від протоколів верхніх рівнів, вузлу призначення, адреса якого також вказує протокол верхнього рівня. Протоколи канального рівня інкапсулюють передані їм пакети у кадри власного формату, поміщаючи зазначену адресу призначення в одне з полів такого кадру та супроводжуючи кадр контрольною сумою.

Протокол канального рівня має локальний смисл, він призначений для доставлення кадрів даних, як правило, у межах мереж із простою топологією зв'язків і однотипною чи близькою технологією, наприклад, в односе-

ментних мережах Ethernet або у багатосегментних мережах Ethernet і Token Ring ієрархічної топології, розділених лише мостами і комутаторами. В усіх цих конфігураціях адреса призначення має локальний смисл для даної мережі і не змінюється при проходженні кадру від джерела до адресата.

Можливість передавати дані між локальними мережами різних технологій пов'язана з тим, що в цих технологіях використовуються адреси однакового формату, до того ж виробники мережевих адаптерів забезпечують унікальність адрес незалежно від технології. Іншою областю дії протоколів канального рівня є зв'язки типу „точка-точка” глобальних мереж, коли протокол канального рівня, що відповідає за доставлення кадру безпосередньому сусіду.

Адреса в цьому випадку не має принципового значення, а на перший план виходить здатність протоколу відновлювати спотворені та загублені кадри, оскільки погана якість територіальних каналів, особливо телефонних, часто потребує виконання подібних дій. Якщо ж перераховані вище умови не дотримуються, наприклад, зв'язки між сегментами Ethernet мають структуру у вигляд петлі або поєднувані мережі використовують різні способи адресації, як це має місце в мережах Ethernet та X.25 – то протокол канального рівня не може справитись із задачею передавання кадру між вузлами і потребує допомоги протоколу мережевого рівня. Найбільш істотними характеристиками методу передавання, а отже і протоколу, що працює на канальному рівні, є такі:

- асинхронний/синхронний;
- символно-орієнтований/біт-орієнтований;
- з попереднім встановленням з'єднання/дейтаграмний;
- з виявленням перекручених даних/без виявлення;
- з виявленням загублених даних/без виявлення;
- з відновленням перекручених і загублених даних/без відновлення;
- з підтримкою динамічної компресії даних/без підтримки.

Багато з цих властивостей характерні не тільки для протоколів канального рівня, а й для протоколів більш високих рівнів.

Асинхронне і синхронне передавання

При обміні даними на фізичному рівні одиницею інформації є біт, тому засоби фізичного рівня завжди підтримують побітову синхронізацію між приймачем і передавачем.

Канальний рівень оперує кадрами даних та забезпечує синхронізацію між приймачем і передавачем на рівні кадрів. В обов'язки приймача входить розпізнавання: початку першого байта кадру, границь полів кадру та ознаки його закінчення.

Зазвичай, досить забезпечити синхронізацію на двох рівнях – бітовому і кадровому, для того, щоб передавач і приймач змогли забезпечити

стійкий обмін інформацією. Однак при поганій якості ЛЗ для зниження вартості апаратури і підвищення надійності передавання даних вводять додаткові засоби синхронізації на рівні байтів. Даний режим роботи називається *асинхронним* або *старт-стопним*. Іншою причиною використання такого режиму роботи є наявність пристроїв, що генерують байти даних у випадкові моменти часу. Так працює клавіатура дисплея або іншого термінального пристрою, з якого людина вводить дані для оброблення їх комп'ютером.

В асинхронному режимі кожен байт даних супроводжується спеціальними сигналами „старт” і „стоп” (рис. 4.6, а). Призначення цих сигналів полягає в тому, щоб, по-перше, сповістити приймач про прихід даних і, по-друге, щоб дати приймачу досить часу для виконання деяких функцій, пов'язаних із синхронізацією, до надходження наступного байта. Сигнал „старт” має тривалість в один тактовий інтервал, а сигнал „стоп” може тривати один, півтора або два такти, тому говорять, що використовується один, півтора або два біти як стоповий сигнал, хоча ці сигнали не є користувацькими бітами.

Асинхронним режим називається тому, що кожен байт може бути трохи зсунутий у часі щодо побітових тактів попереднього байта. Така асинхронність передавання байтів не впливає на коректність прийнятих даних, оскільки на початку кожного байта відбувається додаткова синхронізація приймача з джерелом за рахунок бітів „старт”. Більш „вільні” часові допуски визначають низьку вартість устаткування асинхронної системи.

У *синхронному режимі* передавання старт-стопові біти між кожною парою байтів відсутні. Користувацькі дані збираються в кадр, на початок якого вставляється байт синхронізації (рис. 4.6, б). Байт синхронізації – це байт, який містить заздалегідь відомий код, наприклад 0111110, що сповіщає приймач про прихід кадру даних. При його одержанні приймач повинен увійти у байтовий синхронізм з передавачем, тобто правильно оцінювати початок чергового байта кадру. Іноді застосовується синхробайт для забезпечення більш надійної синхронізації приймача і передавача. Оскільки при передаванні довгого кадру у приймача можуть з'явитись проблеми із синхронізацією бітів – то використовуються коди, що самосинхронізуються.

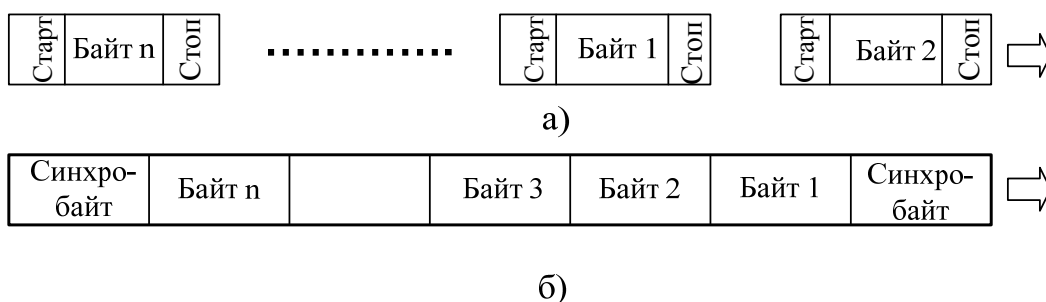


Рисунок 4.6 – Асинхронне (а) і синхронне (б) передавання на рівні байтів

Синхронні символно-орієнтовані та біт-орієнтовані протоколи

В синхронних протоколах між символами, що пересилаються, (байтами) немає стартових і стопових сигналів, тому окремі символи в цих протоколах пересилати не можна. Всі обміни даними здійснюються кадрами, що мають у загальному випадку заголовок, поле даних і кінцівку (рис. 4.7).

Усі біти кадру передаються безупинним синхронним потоком, що значно прискорює передавання даних.



Рисунок 4.7 – Кадри синхронних протоколів

Оскільки байти в цих протоколах не відокремлюються службовими сигналами, то однією з перших задач приймача є розпізнавання границі байтів. Потім приймач повинен знайти початок і кінець кадру, а також визначити границі кожного поля кадру – адреси призначення, адреси джерела, інших службових полів: заголовка, поля даних і контрольної суми, якщо вона є.

Більшість протоколів допускає використання у кадрі поля даних змінної довжини. Іноді і заголовок може мати змінну довжину. Звичайно, протоколи визначають максимальне значення, що може мати довжина поля даних. Ця величина називається *максимальною одиницею передавання даних (Maximum Transfer Unit, MTU)*. У деяких протоколах задається також мінімальне значення, що може мати довжина поля даних. Наприклад, протокол Ethernet потребує, щоб поле даних містило принаймні 46 байт даних (якщо додаток хоче відправити меншу кількість байтів, то він зобов'язаний доповнити їх до 46 байт будь-якими значеннями). Інші протоколи дозволяють використовувати поле даних нульової довжини, наприклад FDDI.

Існують також протоколи з кадрами фіксованої довжини, наприклад, у протоколі АТМ кадри фіксованого розміру 53 байти, включаючи службову інформацію. Для таких протоколів необхідно вирішити тільки першу частину задачі – розпізнати початок кадру.

Синхронні протоколи каналного рівня бувають двох типів: символно-орієнтовані (байт-орієнтовані) і біт-орієнтовані. Для обох характерні ті самі методи синхронізації бітів. Головне розходження між ними полягає в методі синхронізації символів і кадрів.

Символьно-орієнтовані протоколи використовуються в основному для передавання блоків, які відображають символи, наприклад, текстових файлів. Оскільки при синхронному передаванні немає стопових і стартових бітів, для синхронізації символів потрібен інший метод. Синхронізація досягається за рахунок того, що передавач додає два або більше керуючих символи, які називаються символами SYN, перед кожним блоком символів.

У коді ASCII символ SYN має двійкове значення 0010110, це несимет-

ричне відносно початку символу значення дозволяє легко розмежовувати окремі символи SYN при їх послідовному прийманні. Символи SYN виконують дві функції: по-перше, вони забезпечують приймачу побітну синхронізацію, по-друге, як тільки бітова синхронізація досягається, вони дозволяють приймачу почати розпізнавання границь символів SYN. Після того як приймач почав відокремлювати один символ від іншого, можна задавати границі початку кадру за допомогою іншого спеціального символу. Зазвичай, в символних протоколах для цих цілей використовується символ STX (Start of TeXt, ASCII 000010). Інший символ позначає закінчення кадру – ETX (End of TeXt, ASCII 000011).

Однак такий простий спосіб виділення початку та кінця кадру добре працював тільки якщо усередині кадру не було символів STX і ETX. При приєднанні до комп'ютера алфавітно-цифрових терміналів така задача дійсно не виникала. Проте синхронні символно-орієнтовані протоколи пізніше стали використовуватись і для зв'язку комп'ютера з комп'ютером, а в цьому випадку дані усередині кадру можуть бути будь-які, якщо, наприклад, між комп'ютерами передається програма. Найпопулярнішим протоколом такого типу був протокол BSC компанії IBM. Він працював у двох режимах – непрозорому, в якому деякі спеціальні символи усередині кадру заборонялися, і прозорому, в якому дозволялось передавання усередині кадру будь-яких символів, в тому числі й ETX. Прозорість досягалася за рахунок того, що перед керуючими символами STX і ETX завжди вставлявся символ DLE (Data Link Escape). Така процедура називається *стаффінгом* символів (stuff – заповнювач). А якщо у полі даних кадру зустрічалася послідовність DLE ETX – то передавач подвоював символ DLE, тобто породжував послідовність DLE DLE ETX. Приймач, зустрівши підряд два символи DLE DLE, завжди видаляв перший, а той, що залишився – не розглядав як початок керуючої послідовності, тобто символи, що залишилися, DLE ETX вважав просто даними користувача.

Біт-орієнтовані протоколи

Потреба у парі символів на початку та кінці кожного кадру разом з додатковими символами DLE означає, що символно-орієнтоване передавання не ефективно для передавання двійкових даних, оскільки в поле даних кадру додаються досить багато надлишкових даних. Крім того, формат керуючих символів для різних кодувань різний, наприклад, у кодї ASCII символ SYN дорівнює 0010110, а у кодї EBCDIC – 00110010. Так що цей метод застосовується тільки з певним типом кодування, навіть якщо кадр містить чисто двійкові дані. Для усунення цих проблем сьогодні майже завжди використовується універсальний метод, який називається біт-орієнтованим передаванням. Цей метод зараз застосовується при передаванні як двійкових, так і символних даних. На рис. 4.8 показані 3 різні схеми біт-орієнтованого передавання, які відрізняються способом позна-

чення початку і кінця кожного кадру.

Перша схема (див. рис. 4.8, а), схожа на схему із символами STX і ETX у символно-орієнтованих протоколах. Початок і кінець кожного кадру відзначається однієї і тією же 8-бітовою послідовністю – 01111110, яка називається прапорцем. Термін „біт-орієнтований” використовується тому, що прийнятий потік бітів сканується приймачем на побітовій основі для виявлення стартового прапорця, а потім під час приймання для виявлення стопового прапорця. Тому довжина кадру в цьому випадку необов’язково повинна бути кратною 8 бітам.

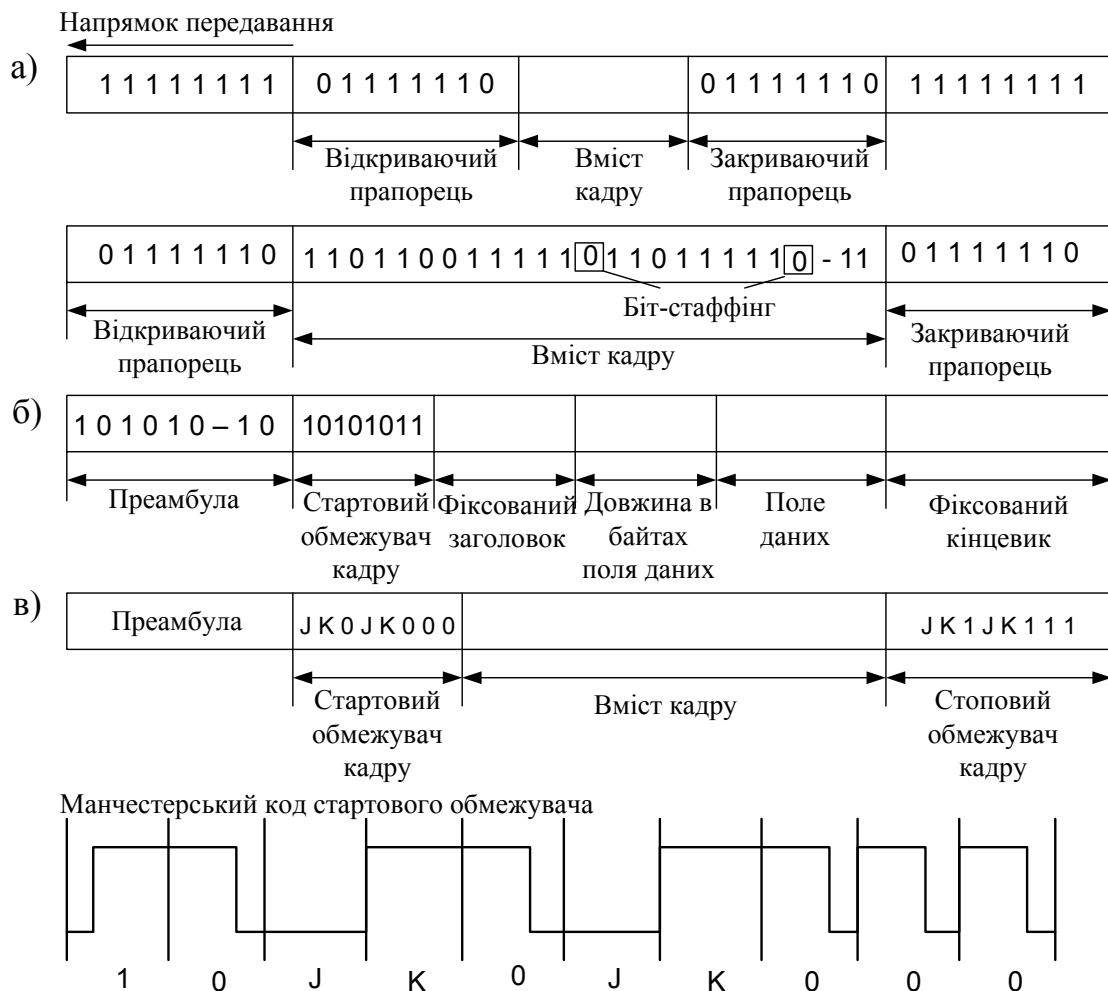


Рисунок 4.8 – Способи виділення початку і кінця кадрів при синхронному передаванні

Для забезпечення синхронізації приймача, передавач надсилає послідовність байтів простою (кожний складається з 11111111), що передує стартовому прапорцю.

Для досягнення прозорості даних у цій схемі необхідно, щоб прапорець не був присутній у полі даних кадру. Це досягається за допомогою

прийому, відомого як вставлення нульового біта – біт-стаффінга. Схема вставлення біта працює лише під час передавання даних кадру. Якщо ця схема виявляє, що підряд передано п'ять одиничних бітів – вона автоматично вставляє додатковий 0 (навіть якщо після цих п'яти одиниць йшов 0). Тому послідовність 0111110 ніколи не з'явиться в полі даних кадру. Аналогічна схема працює на приймачі і виконує обернену функцію. Коли після п'яти 1 виявляється 0, він автоматично видаляється з поля даних кадру. Біт-стаффінг набагато економічний, ніж байт-стаффінг, оскільки замість зайвого байта вставляється один біт, отже, швидкість передавання даних користувача у цьому випадку зменшується у меншій мірі.

В другій схемі (див. рис. 4.8, б) для позначення початку кадру є лише стартовий прапорець, а для позначення кінця кадру використовується поле довжини кадру, що при фіксованих розмірах заголовка і кінцівки найчастіше має смисл довжини поля чи даних кадру. Ця схема часто використовується в ЛКМ. У цих мережах для позначення факту незайнятості середовища у вхідному стані по середовищу взагалі не передається ніяких символів. Щоб усі інші станції увійшли в бітову синхронізацію, станція, що надсилає кадр додає до нього преамбулу, тобто послідовність 101010... Увійшовши в бітову синхронізацію, приймач досліджує вхідний потік на побітовій основі, поки не знайде байт початку кадру 10101011, який виконує роль символу STX. За цим байтом впливає заголовок кадру, у якому у певному місці знаходиться поле довжини або поле даних. Таким чином, у цій схемі приймач просто відраховує задану кількість байтів, щоб визначити закінчення кадру.

Третя схема (див. рис. 4.8, в) використовує для позначення початку і кінця кадру прапорці, що включають заборонені для даного коду сигнали (code violations, V). Наприклад, при манчестерському кодуванні замість обов'язкової зміни полярності сигналу у середині тактового інтервалу рівень сигналу залишається незмінним і: низьким (заборонений сигнал J) або високим (заборонений сигнал K). Початок кадру відзначається послідовністю JK0JK00, а кінець – послідовністю JK1JK100. Цей спосіб дуже економічний, оскільки не потребує ні біт-стаффінга, ні поля довжини, але його недолік полягає у залежності від прийнятого методу фізичного кодування. При використанні надлишкових кодів роль сигналів J і K відіграють заборонені символи, наприклад, у коді 4В/5В цими символами є коди 11000 і 10001.

Кожна з трьох схем має свої переваги і недоліки. Прапорці дозволяють відмовитися від спеціального додаткового засобу але вимагають спеціальних засобів: або дозволу розміщення прапорця у полі даних за рахунок біт-стаффінга, або використання як прапорця заборонених сигналів, це робить дану схему залежною від способу кодування.

Протоколи з гнучким форматом кадру

Для більшості протоколів каналного рівня характерні кадри, що складаються зі службових полів фіксованої довжини. Виключення робиться тільки для полів даних, з метою економічного пересилання як невеликих квитанцій, так і великих файлів. Спосіб визначення закінчення кадру шляхом завдання довжини поля даних, розглянутий вище, саме розрахований на такі кадри з фіксованою структурою і фіксованими розмірами службових полів.

Однак є ряд протоколів, в яких кадри мають гнучку структуру. Наприклад, до таких протоколів відносяться дуже популярний прикладний протокол керування мережами SNMP, а також протокол каналного рівня PPP. Кадри таких протоколів складаються з невизначеної кількості полів, кожне з яких може мати змінну довжину. Початок такого кадру позначається деяким стандартним способом, наприклад, за допомогою прапорця, а потім протокол послідовно переглядає поля кадру і визначає їх кількість та розміри. Частіше за все, кожне поле описується двома додатковими полями фіксованого розміру. Наприклад, якщо в кадрі зустрічається поле, яке містить деякий символічний рядок, то в кадр вставляються три поля: „Тип”, „Довжина” і „Значення”.

Додаткові поля „Тип” і „Довжина” мають фіксований розмір в один байт, тому протокол легко знаходить границі поля „Значення”. Оскільки кількість таких полів також невідома, для визначення загальної довжини кадру використовується або загальне поле „Довжина”, яке міститься на початку кадру і відноситься до всіх полів даних.

Передавання з встановленням та без встановлення з'єднання

При передаванні кадрів даних на каналному рівні використовуються як дейтаграмні процедури, які працюють без встановлення з'єднання (connectionless), так і процедури з попереднім встановленням логічного з'єднання (connection-oriented) [1 – 4, 8].

При дейтаграмному передаванні кадр надсилається у мережу „без попередження”, і ніякої відповідальності за його втрату протокол не несе (рис. 4.9, а). Передбачається, що мережа завжди готова прийняти кадр від кінцевого вузла. Дейтаграмний метод працює швидко, оскільки ніяких попередніх дій перед відправленням даних не виконується. Проте при такому методі важко організувати в рамках протоколу відстеження факту доставлення кадру вузлу призначення. Цей метод не гарантує доставлення пакета.

Передавання із встановленням з'єднання надійніша, але вимагає більше часу для передавання даних і обчислювальних витрат від кінцевих вузлів.

У цьому випадку вузол-одержувачу відправляється службовий кадр спеціального формату з пропозицією встановити з'єднання (див. рис. 4.9, б). Якщо вузол-одержувач погоджується з цим – він надсилає у відповідь інший службовий кадр, що підтверджує встановлення з'єднання і

пропонує для даного логічного з'єднання деякі параметри, наприклад, ідентифікатор з'єднання, максимальне значення поля даних кадрів, що будуть використовуватися в рамках даного з'єднання і т. ін.

Вузол-ініціатор

з'єднання може завершити процес встановлення з'єднання відправленням третього службового кадру, у якому повідомить, що запропоновані параметри йому підходять. На цьому логічне з'єднання вважається встановленим, і в його рамках можна передавати інформаційні кадри з даними користувача. Після передавання деякого закінченого набору даних, вузол ініціює розрив даного логічного з'єднання, надсилаючи відповідний службовий кадр.

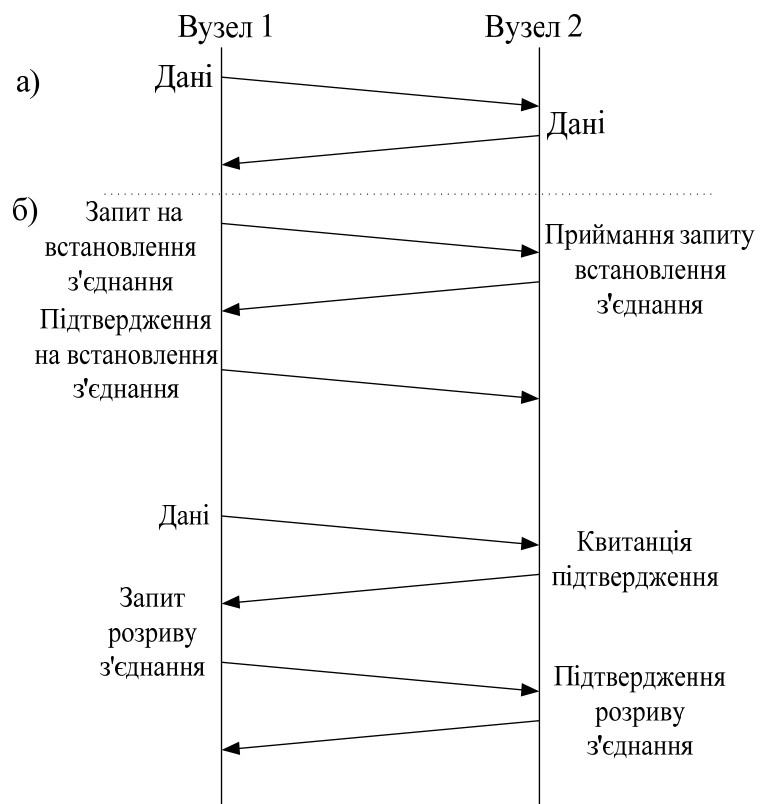


Рисунок 4.9 – Протоколи без встановлення з'єднання (а) та з встановленням з'єднання (б)

На відміну від протоколів дейтаграмного типу, що підтримують лише інформаційний тип кадру, протоколи, які працюють за процедурою зі встановленням з'єднання, повинні підтримувати кілька типів кадрів: службові (для встановлення та розриву з'єднання) та інформаційні, що переносять дані користувача. Логічне з'єднання забезпечує передавання даних як в одному напрямку – від ініціатора з'єднання, так і в обох напрямках.

Процедура встановлення з'єднання може використовуватись для досягнення різних цілей [1, 4, 17]:

- для взаємоавтентифікації користувачів або обладнання (маршрутизатори теж можуть мати імена і паролі, що потрібні для впевненості в тім, що злоумисник не підмінив корпоративний маршрутизатор і не відвів потік даних у свою мережу для аналізу);
- для узгодження змінюваних параметрів протоколу: MTU, різних тайм-аутів і т. ін;
- для виявлення і корекції помилок. Встановлення логічного з'єднання дає точку відліку для визначення початкових значень номерів кадрів. При втраті нумерованого кадру приймач, одержує можливість знайти цей

факт, а також може повідомити передавачу, який у точності кадр потрібно ретранслювати;

– у деяких технологіях процедуру встановлення логічного з'єднання використовують при динамічному настроюванні комутаторів мережі для маршрутизації всіх наступних кадрів, що будуть проходити через мережу в рамках даного логічного з'єднання. Так працюють мережі технологій X.25, Frame relay і АТМ.

Виявлення і корекція помилок

Канальний рівень повинен виявляти помилки передавання даних, зв'язані з перекручуванням бітів прийнятому кадру даних з втратою кадру, і по можливості їх коректувати. Більша частина протоколів канального рівня виконує тільки задачу виявлення помилок, вважаючи, що коректувати помилки, тобто ретранслювати дані, які містили спотворену інформацію, повинні протоколи верхніх рівнів. Так працюють такі популярні протоколи локальних мереж, як Ethernet, Token Ring, FDDI та інші. Однак існують протоколи канального рівня, наприклад LLC2 або LАРВ, які самостійно вирішують задачу відновлення спотворених або загублених кадрів [1, 17].

Зрозуміло, що протоколи повинні ефективно працювати в типових умовах роботи мережі. Тому для мереж, в яких спотворення і втрати кадрів є дуже рідкими подіями, розробляються протоколи типу Ethernet, в яких не передбачаються процедури усунення помилок. Наявність процедур відновлення даних потребувало б від кінцевих вузлів додаткових обчислювальних витрат, що в умовах надійної роботи мережі були б надлишковими.

Напроти, якщо у мережі спотворення і втрати трапляються часто, то бажано вже на канальному рівні використовувати протокол з корекцією помилок, а не залишати цю роботу протоколам верхніх рівнів. Протоколи верхніх рівнів (наприклад, транспортного, прикладного), працюючи з великими тайм-аутами, відновлять загублені дані з великою затримкою. В ГKM перших поколінь, наприклад мережах X.25, що працювали через ненадійні ЛЗ, протоколи канального рівня завжди виконували процедури відновлення загублених і спотворених кадрів.

Тому не можна вважати, що один протокол кращий ніж інший, оскільки він відновлює помилкові кадри, а інший протокол – ні. Кожен протокол повинен працювати в тих умовах, для яких він розроблений.

Методи виявлення помилок

Усі методи виявлення помилок засновані на передаванні у складі кадру даних службової надлишкової інформації, за якою можна судити з деяким ступенем ймовірності про вірогідність прийнятих даних. Цю службову інформацію прийнято називати *контрольною сумою* (чи *послідовністю контролю кадру* – Frame Check Sequence, FCS). Контрольна сума обчислюється як функція від основної інформації, причому необов'язково лише

шляхом підсумовування. Адресат повторно обчислює контрольну суму кадру за відомим алгоритмом і у випадку її збігу з контрольною сумою, обчисленою передавачем, робить висновок про те, що дані були передані мережею коректно [1, 4, 11].

Є кілька розповсюджених алгоритмів обчислення контрольної суми, які відрізняються складністю обчислень і здатністю виявляти помилки у даних.

Контроль за паритетом є найпростішим методом контролю даних. У той же час це найменш потужний алгоритм контролю, оскільки за його допомогою можна знайти тільки одиночні помилки у даних, що перевіряються. Метод полягає у підсумовуванні за модулем 2 усіх бітів контрольованої інформації. Наприклад, для даних 100101011 результатом контрольного підсумовування буде значення 1. Результат підсумовування також є один біт даних, що пересилається разом з контрольованою інформацією. При спотворенні під час пересилання будь-якого одного біта вихідних даних результат підсумовування буде відрізнитися від прийнятого контрольного розряду, що говорить про помилку. Однак подвійна помилка, наприклад 110101010, буде неправильно прийнята за коректні дані. Тому контроль за паритетом застосовується до невеликих порцій даних, як правило, до кожного байта, що дає коефіцієнт надмірності для цього методу 1/8. Метод рідко застосовується в КМ внаслідок великої надмірності і невисоких діагностичних здібностей.

Вертикальний і горизонтальний контроль за паритетом – це модифікація вищеописаного методу. Його відмінність полягає в тому, що вихідні дані розглядаються у вигляді матриці, рядки якої складають байти даних. Контрольний розряд підраховується окремо для кожного рядка і для кожного стовпця матриці. Цей метод виявляє велику частину подвійних помилок, проте, має ще більшу надмірність. На практиці зараз також майже не застосовується.

Циклічний надлишковий контроль (Cyclic Redundancy Check, CRC) зараз є найпопулярнішим методом контролю в КМ (і не тільки в мережах, наприклад, цей метод широко застосовується при записуванні даних на диски та дискети). Метод заснований на розгляді множини вихідних даних як одного багаторозрядного двійкового числа. Наприклад, кадр стандарту Ethernet розміром 1024 байт, буде розглядатись як одне 8192-бітне число. Як контрольна інформація розглядається залишок від ділення цього числа на відомий дільник R . Зазвичай, як дільник вибирається число, що має 17 або 33 розряди, щоб залишок від ділення мав довжину 16 або 32 розряди. При одержанні кадру даних знову обчислюється залишок від ділення на той же дільник R , але при цьому до даних кадру додається і контрольна сума, що міститься в ньому. Якщо залишок від ділення на R дорівнює нулю (є дещо модифікована процедура обчислення залишку, що приводить до одержання у випадку відсутності помилок відомого ненульового залиш-

ку, що є більш надійним показником коректності) – то робиться висновок про відсутність помилок в отриманому кадрі, в протилежному випадку кадр вважається спотвореним [1].

Цей метод має більш високу обчислювальну складність, але його діагностичні можливості набагато вищі, ніж у методів контролю за паритетом. Метод CRC виявляє усі одиночні помилки, подвійні помилки та помилки у непарному числі бітів. Метод має також невисокий ступінь надмірності (наприклад, для кадру Ethernet розміром у 1024 байт контрольна інформація довжиною у 4 байти складає тільки 0,4 %).

Методи відновлення спотворених і загублених кадрів

Методи корекції помилок в КМ засновані на повторному передаванні кадру даних, якщо кадр не доходить до адресата або приймач знайшов в ньому спотворення інформації. Для того, щоб переконатись у необхідності ретрансляції даних, відправник нумерує кадри, які надсилає і для кожного кадру очікує від приймача *позитивної квитанції* – службового кадру, що сповіщає про те, що вихідний кадр був отриманий і дані в ньому коректні. Час такого очікування обмежений – при відправленні кожного кадру передавач запускає таймер, і, якщо його час сплинув і позитивна квитанція не отримана – кадр вважається загубленим. Приймач у випадку одержання кадру зі спотвореними даними може відправити *негативну квитанцію* – вказуючи, що даний кадр потрібно ретранслювати.

Є два підходи до організації процесу обміну квитанціями: із простоями і з організацією „вікна”.

Метод з простоями (Idle Source) потребує, щоб передавач, який надіслав кадр, чекав одержання квитанції (позитивної чи негативної) від приймача і лише після цього надіслав наступний кадр (або ретранслював спотворений). Якщо ж квитанція не приходить протягом тайм-ауту, то кадр (або квитанція) вважається загубленим і його передавання повторюється. На рис. 4.10, а видно, що в цьому випадку продуктивність обміну даними істотно знижується, хоча передавач міг би надіслати наступний кадр відразу ж після відправлення попереднього, він зобов'язаний чекати приходу квитанції. Зниження продуктивності цього методу корекції особливо помітно на низькошвидкісних ЛЗ.

Другий метод називається методом „ковзного вікна” (sliding window). В цьому методі для підвищення коефіцієнта використання лінії джерелу дозволяється безперервно надсилати деяку кількість кадрів в максимально можливому для джерела темпі, без одержання позитивних відповідних квитанцій на ці кадри. Кількість кадрів, що дозволяється передавати таким чином, називається розміром вікна. Рис. 4.10, б ілюструє даний метод для вікна розміром у W кадрів.

У початковий момент, коли ще не надіслано жодного кадру, вікно ви-

значає діапазон кадрів з номерами від 1 до W включно. Джерело починає передавати кадри та одержувати у відповідь квитанції. Для простоти припустимо, що квитанції надходять у тій же послідовності, що і кадри, яким вони відповідають. У момент t_1 при одержанні першої квитанції K_1 вікно зрушується на одну позицію, визначаючи новий діапазон від 2 до $(W+1)$. Процеси відправлення кадрів і одержання квитанцій відбуваються незалежно один від одного. Розглянемо довільний момент часу t_n , коли передавач отримав квитанцію на кадр з номером n . Вікно зрушиться вправо і визначить діапазон дозволених до передавання кадрів від $(n+1)$ до $(W+n)$.

Всю множину кадрів, що виходять із джерела, можна розділити на перераховані такі три групи (рис. 4.10, б) [1]:

- кадри з номерами від 1 до n вже були надіслані і квитанції на них отримані, тобто вони перебувають зліва за межами вікна;
- кадри, починаючи з номера $(n+1)$ і закінчуючи номером $(W+n)$, знаходяться у межах вікна і тому можуть бути надіслані не чекаючи приходу будь-якої квитанції. Цей діапазон може бути розділений ще на два піддіапазони:
 - кадри з номерами від $(n+1)$ до m , які вже відправлені, але квитанції на них ще не отримані;
 - кадри з номерами від m до $(W+n)$, які поки ще не відправлені, хоча заборони на це немає;
- усі кадри з номерами, більшими за $(W+n)$, перебувають за межами вікна справа і тому поки ще не можуть бути відправлені.

Переміщення вікна уздовж послідовності номерів кадрів показане на рис. 4.10, в. Тут t_0 – вихідний момент, t_1 і t_n – моменти приходу квитанцій на перший і n -й кадр, відповідно. Щоразу, коли приходить квитанція, вікно зрушується вліво, але його розмір не змінюється і дорівнює W . Зауважимо, що хоча в даному прикладі розмір вікна в процесі передавання залишається постійним, у реальних протоколах (наприклад, TCP) можна зустріти варіанти даного алгоритму з розміром вікна, що змінюється.

Отже, при відправленні кадру з номером n джерелу дозволяється передати ще $W-1$ кадрів до отримання квитанції на кадр n , так що у мережу останнім надійде кадр з номером $(W+n-1)$. Якщо ж за цей час квитанція на кадр n так і не надійшла – процес передавання припиняється, і після закінчення деякого тайм-ауту кадр n (або квитанція на нього) вважається загубленим і він надсилається знову.

Якщо ж потік квитанцій надходить більш-менш регулярно, в межах допуску у W кадрів, то швидкість обміну досягає максимально можливої величини для даного каналу і прийнятого протоколу. Метод ковзного вікна складніший у реалізації, ніж метод із простоями, оскільки передавач повинен зберігати в буфері усі кадри, на які поки не отримав позитивні квитанції. Крім того, потрібно відслідковувати кілька параметрів алгоритму [1, 4]:

- розмір вікна W ;
- номер кадру, на який отримана квитанція;
- номер кадру, який ще можна передати до одержання нової квитанції.

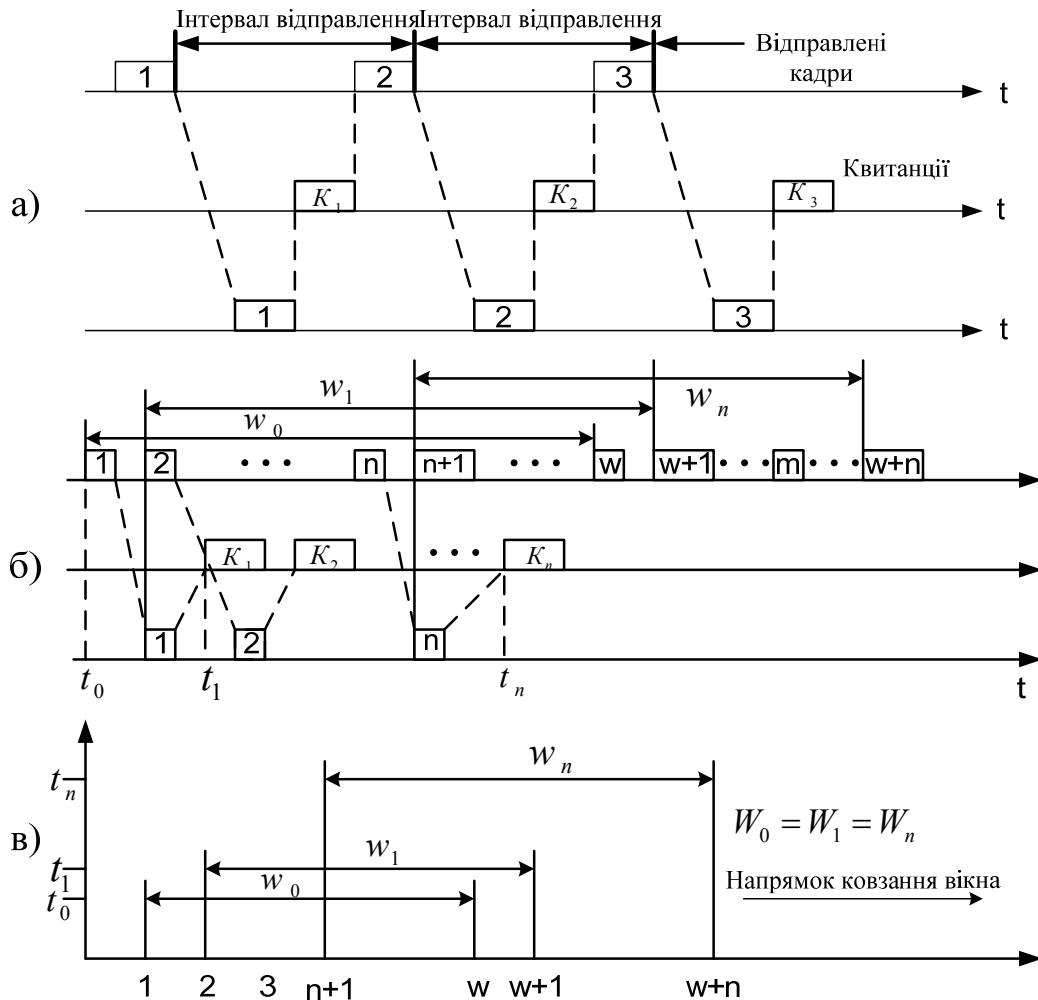


Рисунок 4.10 – Методи поновлення спотворених і загублених кадрів

Приймач може не надсилати квитанції на кожен прийнятий коректний кадр. Якщо кілька кадрів прийшли майже одночасно, то приймач може надіслати квитанцію тільки на останній кадр. При цьому вважається, що усі попередні кадри також дійшли благополучно.

Деякі методи використовують негативні квитанції. Негативні квитанції бувають двох типів – групові і виборчі. Групова квитанція містить номер кадру, починаючи з якого потрібно повторити передавання усіх кадрів, відправлених передавачем у мережу. Виборча негативна квитанція потребує повторного передавання тільки одного кадру.

Метод ковзного вікна реалізований у багатьох протоколах: LLC2, LAP-B, X.25, TCP, Novell NCP Burst Mode.

Метод із простоями є окремим випадком методу ковзного вікна, коли

розмір вікна дорівнює одиниці.

Метод ковзного вікна має два параметри, що можуть помітно впливати на ефективність передавання даних між передавачем і приймачем – розмір вікна і величина тайм-ауту очікування квитанції. У надійних мережах, коли кадри спотворюються і губляться рідко, для підвищення швидкості обміну даними розмір вікна потрібно збільшувати, оскільки при цьому передавач буде надсилати кадри з меншими паузами. У ненадійних мережах розмір вікна варто зменшувати, оскільки при частих втратах і спотвореннях кадрів значно зростає обсяг ретрансльованих мережею кадрів, а значить корисна пропускна здатність мережі буде зменшуватись.

Вибір тайм-ауту залежить не від надійності мережі, а від затримок передавання кадрів мережею.

У багатьох реалізаціях методу ковзного вікна величина вікна і тайм-аут вибираються адаптивно, в залежності від поточного стану мережі.

Компресія даних

Компресія (стиснення) даних застосовується для скорочення часу передавання даних. Оскільки на компресію даних передавальна сторона витрачає додатковий час, до якого потрібно ще додати аналогічні витрати часу на декомпресію цих даних приймальною стороною, то вигоди від скорочення часу на передавання стиснених даних, зазвичай, бувають помітні лише для низькошвидкісних каналів. Цей поріг швидкості для сучасної апаратури складає близько 64 Кбіт/с. Багато програмних і апаратних засобів КМ здатні виконувати *динамічну компресію* даних на відміну від статичної, коли дані попередньо стискаються (наприклад, за допомогою архіваторів), а вже потім надсилаються до мережі [1, 17].

На практиці може використовуватися ряд алгоритмів компресії, кожний з яких застосовується до певного типу даних. Деякі модеми надають можливість реалізації *адаптивної компресії*, при якій в залежності від даних, які передаються, вибирається певний алгоритм компресії. Розглянемо деякі із загальних алгоритмів компресії даних.

Десяткове пакування. Коли дані складаються тільки з чисел, значну економію можна одержати шляхом зменшення кількості використовуваних на цифру бітів з 7 до 4, використовуючи просте двійкове кодування десяткових цифр замість коду ASCII. Перегляд таблиці ASCII показує, що старші три біти всіх кодів десяткових цифр містять комбінацію 011. Якщо усі дані в кадрі інформації складаються з десяткових цифр, то, помістивши у заголовок кадру відповідний керуючий символ, можна істотно скоротити довжину кадру.

Відносне кодування. Альтернативою десятковому пакуванню при передаванні числових даних з невеликими відхиленнями між послідовними цифрами є передавання тільки цих відхилень разом з відомим опорним значенням. Такий метод використовується, зокрема, у розглянутому вище

методі цифрового кодування голосу ADPCM, що передає в кожному такті лише різницю між сусідніми вимірами голосу.

Символьне подавлення. Часто передані дані містять велику кількість повторюваних байтів. Наприклад, при передаванні чорно-білого зображення чорні поверхні будуть породжувати велику кількість нульових значень, а максимально освітлені ділянки зображення – велику кількість байтів, що складаються з усіх одиниць. Передавач сканує послідовність переданих байтів і, якщо виявляє послідовність із трьох та більше однакових байтів, замінює її спеціальною трибайтовою послідовністю, в якій вказується значення байта, кількість його повторень, а спеціальний керуючий символ, який відзначає початок цієї послідовності.

Коди змінної довжини. У цьому методі кодування використовується той факт, що не всі символи в переданому кадрі зустрічаються з однаковою частотою. Тому в багатьох схемах кодування коди символів, що часто зустрічаються, замінюють кодами меншої довжини, а коди, які зустрічаються рідко – кодами більшої довжини. Таке кодування називається також статистичним кодуванням. Оскільки символи мають різну довжину, при передаванні кадру можливе лише біт-орієнтоване передавання.

При *статистичному кодуванні* коди вибираються так, щоб при аналізі послідовності бітів можна було однозначно визначити відповідність визначеної порції бітів тому чи іншому символу забороненої комбінації бітів. Якщо дана послідовність бітів є забороненою комбінацією, то до неї слід додати ще один біт і повторити аналіз.

Взагалі, нерівномірне кодування найефективніше, коли нерівномірність розподілу частот переданих символів досить значна, як при передаванні довгих текстових рядків. При передаванні двійкових даних, наприклад, кодів програм, воно малоефективне, оскільки 8-бітові коди при цьому розподілені майже рівномірно.

Одним з найбільш розповсюджених алгоритмів, на основі яких будуються нерівномірні коди, є алгоритм Хафмана, який дозволяє будувати коди автоматично, на підставі відомих частот символів. Існують адаптивні модифікації методу Хафмана, які дозволяють будувати дерево кодів „на льоту”, в міру надходження даних від джерела.

Багато моделей комунікаційного обладнання такі, як модеми, мости, комутатори і маршрутизатори, підтримують протоколи динамічної компресії, що дозволяє скоротити обсяг інформації, що передається, у 4, а іноді й у 8 разів. У таких випадках говорять, що протокол забезпечує коефіцієнт стиснення 1:4 або 1:8. Є стандартні протоколи компресії, наприклад, V.42bis та велика кількість нестандартних, фірмових протоколів. Реальний коефіцієнт компресії залежить від типу переданих даних, так, графічні і текстові дані, зазвичай, ущільнюються добре, а коди програм – гірше [1].

4.8 Контрольні питання

1. Які типи ліній зв'язку в залежності від середовища передавання даних Ви знаєте?
2. Наведіть та стисло охарактеризуйте відомі Вам кабельні лінії зв'язку.
3. Наведіть означення та приклади пристроїв DCE та DTE.
4. Яку проміжну апаратуру передавання даних Ви знаєте і для чого вона використовується?
5. Перерахуйте основні характеристики ліній зв'язку. Які з цих характеристик Ви вважаєте основними, а які другорядними? Відповідь мотивуйте.
6. Охарактеризуйте таку характеристику ЛЗ, як амплітудно-частотна характеристика.
7. Охарактеризуйте такі характеристики ЛЗ, як смуга пропускання та згасання. Наведіть вираз для обчислення згасання.
8. Що характеризує та в яких одиницях вимірюється пропускна здатність лінії зв'язку? Від чого залежить пропускна здатність ЛЗ?
9. Охарактеризуйте такі характеристики ЛЗ, як вірогідність передавання даних, завадостійкість.
10. Наведіть призначення та формулу обчислення показника NEXT.
11. Поясніть зв'язок між пропускнуою здатністю ЛЗ та її смугою пропускання.
12. Наведіть відомі Вам стандарти кабельних систем.
13. Охарактеризуйте кабелі на основі скручених пар. Які типи таких кабелів Ви знаєте? Чим вони відрізняються між собою?
14. Охарактеризуйте кабелі на основі неекранованої скрученої пари. Наведіть категорії таких кабелів та їх область застосування.
15. Охарактеризуйте кабелі на основі неекранованої скрученої пари.
16. Наведіть види, призначення та основні характеристики кабелів на основі оптичних волокон. Порівняйте одно- та багатомодові оптоволоконні кабелі.
17. Які джерела випромінювання світла застосовуються у волоконно-оптичних кабелях? Чим вони відрізняються?
18. Що називають аналоговою модуляцією та для чого застосовується? Охарактеризуйте основні методи аналогової модуляції.
19. Наведіть основні методи дискретної модуляції.
20. З якою метою використовують цифрове кодування інформації? Наведіть основні вимоги до цифрового кодування.
21. Перерахуйте відомі Вам методи цифрового кодування. В чому принципова різниця між цими методами?
22. Охарактеризуйте та порівняйте такі коди, як NRZ, AMI, NRZI, манчестерський, 2B1Q. Наведіть приклади такого кодування.
23. Наведіть призначення та сутність логічного кодування. З якою метою

використовуються надлишкові коди 4В/5В та 8В/6Т? Як підрахувати їх надлишковість?

24. З якою метою використовується скремблювання? Наведіть приклад роботи скремблера.
25. Охарактеризуйте методи В8ZS, HDB3 та наведіть їх приклади.
26. Охарактеризуйте сутність асинхронного та синхронного передавання даних.
27. Охарактеризуйте синхронні символно-орієнтовані та біт-орієнтовані протоколи.
28. Наведіть способи визначення початку та кінця кадрів у випадку синхронного передавання.
29. З якою метою виконують біт-стаффінг? Наведіть відповідний приклад.
30. Охарактеризуйте метод передавання даних без встановлення з'єднання. Наведіть його переваги та недоліки.
31. Охарактеризуйте метод передавання даних із встановленням з'єднання. Наведіть його переваги та недоліки.
32. Поясніть, яким чином виконується контроль доставки кадрів?

4.9 Завдання

1. Дана комбінація А (таблиця 4.2), подана у шістнадцятковому коді. Наведіть осцилограми сигналів, що будуть отримані в результаті її кодування за допомогою:

- а) потенціального коду без повернення до нуля NRZ;
- б) біполярного коду з альтернативною інверсією АМІ;
- в) біполярного імпульсного коду;
- г) манчестерського коду;
- д) потенціального коду 2В1Q.

Вкажіть на переваги та недоліки кожного коду з відповідними поясненнями.

2. Дана комбінація А, подана у шістнадцятковому коді (таблиця 4.2). Розв'яжіть задачі скремблювання та дескремблювання інформації:

- а) знайдіть код В, який буде отримано як результат проходження цієї комбінації через скремблер. Скремблер реалізує функцію

$$V_i = A_i \oplus V_{i-k} \oplus V_{i-n}.$$

Значення k та n відповідно до номера варіанта наведені у таблиці 4.2;

- б) знайдіть код С, який буде отримано в результаті проходження отриманого у попередній задачі (а) комбінації В через дескремблер.

Переконайтесь, що вихідна кодова комбінація А і кодова комбінація С, отримана в результаті дескремблювання коду В збігаються.

Таблиця 4.2 – Варіанти завдань до задач № 1 – 3

| Варіант | Код А | Значення k, n для скремблера | | Параметр для біт-стафінгу |
|---------|--------|---------------------------------|---|---------------------------------|
| | | k | n | S |
| 1 | 643EB0 | 3 | 5 | 4 |
| 2 | 707FAF | 2 | 5 | 5 |
| 3 | 93FC03 | 2 | 4 | 6 |
| 4 | 7FFEBF | 3 | 4 | 4 |
| 5 | 823FBF | 2 | 6 | 5 |
| 6 | 49FE0F | 3 | 6 | 6 |
| 7 | F03E22 | 3 | 7 | 4 |
| 8 | D33FC3 | 4 | 7 | 5 |
| 9 | A4FBAC | 5 | 7 | 6 |
| 10 | 4C3FCC | 2 | 7 | 4 |
| 11 | FA0FC2 | 3 | 5 | 5 |
| 12 | B07F56 | 2 | 5 | 6 |
| 13 | 73FA04 | 2 | 4 | 4 |
| 14 | 53D1F2 | 3 | 4 | 5 |
| 15 | 6CEBF0 | 2 | 6 | 6 |
| 16 | 4F3FBF | 3 | 6 | 4 |
| 17 | E0B0A1 | 3 | 7 | 5 |
| 18 | 8FACF0 | 4 | 7 | 6 |
| 19 | AF03F0 | 5 | 7 | 4 |
| 20 | 39FF0F | 2 | 5 | 5 |
| 21 | E0B0A1 | 3 | 7 | 5 |
| 22 | 8FFCF0 | 4 | 7 | 6 |
| 23 | 7F03FD | 3 | 5 | 4 |
| 24 | 39FF1F | 2 | 5 | 5 |
| 25 | E03F22 | 3 | 5 | 6 |
| 26 | FD3FCF | 4 | 6 | 6 |
| 27 | A4FBAC | 5 | 7 | 4 |
| 28 | 9C37FD | 2 | 7 | 6 |
| 29 | FA0FC2 | 3 | 5 | 5 |
| 30 | B07F56 | 2 | 5 | 4 |

4. Дана комбінація А, подана у шістнадцятковому коді (див. табл. 4.2), яка надходить до передавача, що застосовує техніку біт-стафінгу з параметром S (S – послідовність одиниць, для якої спрацьовує біт-стафінг). Наведіть код R, який буде надіслано даним передавачем у лінію.

Словник часто вживаних термінів

- Access Network – мережа доступу
- Address Resolution Protocol (ARP) – протокол дозволу адрес
- Amplitude Modulation (AM) – амплітудна модуляція
- Application layer – рівень застосувань
- Attenuation – згасання
- Availability – готовність (коефіцієнт готовності)
- Backbone – магістральна мережа
- Back-end – додаток-сервер
- Bandwidth – смуга пропускання
- Bipolar Alternate Mark Inversion (AMI) – біполярне кодування з альтернативною інверсією
- Bit Error Rate (BER) – інтенсивність бітових помилок
- Bridge – міст
- Broadcast domain – ширококомовний домен
- Circuit switching – комутація каналів
- Collision domain – колізійний домен
- Connectionless protocol – протокол без попереднього встановлення з'єднання
- Connection-oriented protocol – протокол із встановленням з'єднання
- Cyclic Redundancy Check (CRC) – циклічний надлишковий контроль
- Data Circuit terminating Equipment (DCE) – апаратура передавання даних
- Data Link layer – канальний рівень
- Data Terminal Equipment (DTE) – кінцеве устаткування даних
- Dedicated Server Network – мережа на основі виділеного сервера
- Dense Wave Division Multiplexing (DWDM) – технологія спектрального мультиплексування
- Extensibility – розширюваність
- Far End Cross Talk (FEXT) – перехресні наведення на дальньому кінці
- Fault tolerance – відмовостійкість
- Frequency Division Multiplexing (FDM) – частотне мультиплексування
- Frequency Modulation (FM) – частотна модуляція
- Front-end – додаток-клієнт
- Hub – концентратор (хаб)
- Laser Diode – лазерний діод
- Light Emmitting Diode – світлодіод

Local Area Network (LAN) – локальна комп'ютерна мережа
Metropolitan Area Networks (MAN) – міська комп'ютерна мережа
Multi Mode Fiber (MMF) – багатомодовий кабель
Near End Cross Talk (NEXT) – перехресні наведення на ближньому кінці
Network layer – мережевий рівень
Non Return to Zero (NRZ) – кодування без повернення до нуля
Non Return to Zero with ones Inverted (NRZI) – потенціальний код з інверсією при одиниці
Optical fiber – волоконно-оптичний кабель
Packet switching – комутація пакетів
Peer-to-Peer Network – однорангові мережі
Physical layer – фізичний рівень
Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) – технологія плезіохронної цифрової ієрархії
Presentation layer – представницький рівень
Protocol Data Unit (PDU) – протокольний блок даних,
Pulse Amplitude Modulation (PAM) – імпульсно-кодова модуляція (ІКМ)
Repeater – повторювач
Routed protocol – мережевий протокол
Router – маршрутизатор
Routing protocol – протокол маршрутизації
Scabbility – масштабованість
Security – безпека
Session layer – сеансовий рівень
Shielded Foiled twisted pair (SFTP) – фольговано-екранована скручена пара проводів
Shielded Twisted Pair (STP) – екранована скручена пара проводів
Single Mode Fiber (SMF) – одномодовий кабель
Sliding window technology – технологія ковзного вікна
Subnet – підмережа
Switch – комутатор (свіч)
Throughput – пропускна здатність
Transparency – прозорість
Transport layer – транспортний рівень
Twisted pair – скручена пара проводів
Unshielded Twistedpair (UTP) – неекранована скручена пара проводів
Wide Area Networks (WAN) – глобальні комп'ютерні мережі

ЛІТЕРАТУРА

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 960 с.
2. Кулаков Ю. О., Луцкий Г. М. Комп'ютерні мережі: Підручник. / За ред. Ю. С. Ковтанюка. – К.: Видавництво „Юніор”, 2005. – 400 с.
3. Буров Є. Комп'ютерні мережі. 2-е вид., оновл. і допов. – Львів: БАК, 2003. – 584 с.
4. Программа сетевой академии Cisco CCNA 1 и 2. 3-е издание.: Пер. с англ. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2005. – 1186 с.
5. Программа сетевой академии Cisco CCNA 3 и 4. 3-е издание.: Пер. с англ. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2007. – 944 с.
6. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд: Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
7. Столлингс В. Компьютерные системы передачи данных, 7-е изд.: Пер с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2003. – 720 с.
8. Спортак М., Папас Ф. Компьютерные сети и сетевые технологии. – ООО „ТИД ДС”, 2002. – 736 с.
9. Шиндер Д. Основы компьютерных сетей: Пер с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2002. – 656 с.
10. Кульгин М. В. Компьютерные сети. Практика построения. Для профессионалов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 462 с.
11. Столлингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
12. Закер К. Компьютерные сети. Модернизация и поиск неисправностей: Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2003. – 1008 с.
13. Камер Д. Компьютерные сети и Internet. Разработка приложений для Internet: Пер с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2002. – 640 с.
14. Кларк К., Гамильтон К. Принципы коммутации в локальных сетях CISCO: Пер с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2003. – 976 с.
15. Пакет К., Тир Д. Создание масштабируемых сетей CISCO: Пер с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2002. – 792 с.
16. Хилл Б. Полный справочник по CISCO: Пер с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2004. – 1088 с.
17. Спеціалізований сайт з комп'ютерних мереж Матвеева. – Mode of access. – World Wide Web. – <http://matveev.kiev.ua/archnet>.

Навчальне видання

**Ігор Ростиславович Арсенюк
Андрій Анатолійович Яровий**

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

Частина 1

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено Арсенюком І. Р.

Редактор О. Д. Скалоцька

Науково-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 15.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7x42 $\frac{1}{4}$
Друк різнографічний
Тираж прим.
Зам. №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 15.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ