

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 004.7 (075)
ББК 32.973.202я73
К63

Автори:

**Азаров О. Д., Захарченко С. М., Кадук О. В., Орлова М. М.,
Тарасенко В. П.**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками підготовки «Комп'ютерна інженерія» та «Програмна інженерія» (Лист №1/11-8260 від 15.05.13 р.).

Рецензенти:

І. А. Жуков, доктор технічних наук, професор
С. Д. Погорілий, доктор технічних наук, професор
Я. О. Каліновський, доктор технічних наук, професор

Комп'ютерні мережі : навчальний посібник / [Азаров О. Д.,
К63 Захарченко С. М., Кадук О. В. та ін.] — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 371 с.
ISBN 978-966-641-543-4

Навчальний посібник складається з дев'яти теоретичних розділів та лабораторного практикуму. Матеріал розташовано в логічній послідовності, тому роботу з посібником доцільно починати з першого розділу. У кінці кожного розділу є питання для самоперевірки, що дозволяють самостійно перевірити ступінь засвоєння навчального матеріалу. Навчальний посібник призначений для студентів напрямів підготовки 6.050102 — «комп'ютерна інженерія» та 6.050103 — «програмна інженерія» при вивченні дисципліни «Комп'ютерні мережі».

**УДК 004.7 (075)
ББК 32.973.202я73**

ISBN 978-966-641-543-4

© О. Азаров, С. Захарченко, О. Кадук, М. Орлова, В. Тарасенко, 2013

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 БАЗОВІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	8
1.1 Основи передачі даних у комп'ютерних мережах.....	8
1.2 Основні компоненти комп'ютерних мереж та їх призначення ...	13
1.3 Адресація вузлів у мережі.....	14
1.4 Способи комутації.....	17
1.5 Еталонні моделі опису комп'ютерних мереж.....	22
1.6 Питання для самоперевірки	25
2 ФІЗИЧНИЙ РІВЕНЬ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	27
2.1 Основні принципи передачі на фізичному рівні.....	27
2.2 Класифікація та характеристика каналів передачі даних	28
2.3 Типи кабельних систем	35
2.4 Методи передачі дискретних даних на фізичному рівні	41
2.5 Структуровані кабельні системи	53
2.6 Методи мультиплексування інформаційних потоків.....	55
2.7 Питання для самоперевірки	58
3 КАНАЛЬНИЙ РІВЕНЬ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ.....	60
3.1 Основні функції протоколів канального рівня	60
3.2 Класифікація протоколів канального рівня.....	64
3.3 Процедури передачі даних в інформаційному каналі за допомогою протоколу HDLC	77
3.4 Особливості реалізації канального рівня в локальних мережах	84
3.5 Підрівень управління логічним каналом	86
3.6 Підрівень керування доступом до середовища передачі даних	88
3.7 Технологія Ethernet	96
3.8 Технологія Token Ring.....	104
3.9 Мережі FDDI	109
3.10 Основи функціонування комутаторів локальних мереж	113
3.11 Питання для самоперевірки	116
4 МЕРЕЖНИЙ РІВЕНЬ	119
4.1 Адресація комп'ютерів на мережному рівні на прикладі IP- адресації	119
4.2 Алгоритми маршрутизації потоків даних.....	122
4.3 Принципи реалізації протоколів мережного рівня на прикладі протоколу IPv4	129
4.4 Класифікація протоколів динамічної маршрутизації.....	132
4.5 Дистанційно-векторні протоколи маршрутизації.....	137
4.6 Протоколи маршрутизації з урахуванням стану каналу.....	141
4.7 Основи функціонування і конфігурування маршрутизаторів ...	145

4.8	Особливості протоколу IPv6	151
4.9	Адресація в IPv6	155
4.10	Протокол ICMPv6	159
4.11	Взаємодія протоколів IPv6 та IPv4	159
4.12	Питання для самоперевірки	161
5	ТРАНСПОРТНИЙ РІВЕНЬ	163
5.1	Базові принципи реалізації транспортного рівня	163
5.2	Протокол UDP	169
5.3	Протокол TCP	170
5.4	Питання для самоперевірки	186
6	ПРОТОКОЛИ ВЕРХНІХ РІВНІВ	187
6.1	Протокол DHCP	187
6.2	Протокол DNS	193
6.3	Протоколи Telnet та SSH	199
6.4	Протоколи електронної пошти	203
6.5	Протоколи FTP та TFTP	206
6.6	Протокол HTTP	213
6.7	Протокол SNMP	220
6.8	Протокол NFS	223
6.9	Питання для самоперевірки	227
7	ОСНОВИ МЕРЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ	229
7.1	Базові поняття інформаційної безпеки	229
7.2	Класифікація та різновиди атак	230
7.3	Реалізація інформаційної безпеки	238
7.4	Методи криптографічного захисту інформації	239
7.5	Аутентифікація	243
7.6	Реалізація безпечного периметра	250
7.6	Реалізація захищеного передавання даних	255
7.7	Питання для самоперевірки	261
8	СУЧАСНІ ЦИФРОВІ МЕРЕЖІ	263
8.1	Ієрархія цифрових каналів	263
8.2	Плезіохронна технологія PDH	263
8.3	Синхронна технологія SDH	267
8.4	Мережі ISDN	273
8.5	Мережі Frame Relay	279
8.6	Мережі ATM	282
8.7	Технологія xDSL	295
8.8	Технологія MPLS	298
8.9	Питання для самоперевірки	304
9	БЕЗПРОВОДОВІ КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ	306
9.1	Покоління безпроводового зв'язку	306
9.2	Класифікація комп'ютерних мереж	308
9.3	Основні принципи передачі в безпроводових каналах зв'язку	309

9.4	Локальні мережі WLAN	312
9.5	Мережі WIMAX	319
9.6	Технологія LTE	324
9.7	Стандарти мереж WPAN, WMAN та WRAN	327
9.8	Питання для самоперевірки	329
10	ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ.....	331
10.1	Фізичне і логічне кодування в комп'ютерних мережах.....	331
10.2	Комунікаційні системи сучасних КМ	331
10.3	Технологія Ethernet	333
10.4	Засвоєння принципів адресації на каналному та мережному рівнях	334
10.5	Ознайомлення з базовими принципами роботи комутаторів.....	337
10.6	Основи IP-адресації	340
10.7	Основи статичної IP-маршрутизації	341
10.8	Маршрутизація в мережах TCP/IP з використанням масок змінної довжини.....	342
10.9	Ознайомлення з протоколом динамічної маршрутизації RIP .	343
10.10	Ознайомлення з сучасними протоколами динамічної маршрутизації OSPF та EIGRP.....	345
10.11	Захист комп'ютерних мереж за допомогою списків керування доступом.....	345
10.12	Засвоєння принципів налаштування комутаторів	346
10.13	Динамічне призначення та трансляція адрес мережного рівня в сучасних комп'ютерних мережах	349
10.14	Технології глобальних мереж	351
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	352
	ДОДАТКИ.....	354
	ПРЕДМЕТНИЙ ВКАЗІВНИК.....	367

ВСТУП

Цей навчальний посібник є результатом творчої співпраці колективів кафедри системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» та кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету і призначений, в першу чергу, для студентів напряму підготовки 6.050102 — «Комп'ютерна інженерія» і 6.050103 — «Програмна інженерія» при вивченні дисципліни «Комп'ютерні мережі».

Навчальна дисципліна «Комп'ютерні мережі» є однією з базових для підготовки бакалаврів. Метою викладання дисципліни є формування знань, умінь та навичок для проектування, налаштування, обслуговування та адміністрування сучасних комп'ютерних мереж. Під час вивчення дисципліни студенти отримують інформацію про сучасні принципи побудови комп'ютерних мереж, протоколи їх функціонування, досвід налаштування мережного обладнання. Основне завдання дисципліни «Комп'ютерні мережі» — дати студентам теоретичну та практичну підготовку в галузі проектування та експлуатації сучасних комп'ютерних мереж.

Відповідно до галузевого стандарту студенти після завершення вивчення дисципліни «Комп'ютерні мережі» повинні знати: принципи, методи та засоби проектування, побудови та обслуговування сучасних комп'ютерних мереж різного виду та призначення; апаратне та програмне забезпечення комп'ютерних мереж; принципи функціонування комп'ютерних мереж та призначення найпоширеніших мережних протоколів; тенденції розвитку програмних та апаратних засобів комп'ютерних мереж. Практичними наслідками вивчення дисципліни є володіння методами і засобами роботи з комп'ютерними мережами; вміння вибирати тип структури та конфігурацію комп'ютерної мережі; вміння проектувати, будувати, експлуатувати та програмувати комп'ютерні мережі.

Дисципліна «Комп'ютерні мережі» викладається на завершальному етапі бакалаврської підготовки і ґрунтується на низці дисциплін як циклові математичної та природничо-наукової підготовки, так і циклу професійно-орієнтованої та практичної підготовки. Зокрема, для розуміння процесів, що відбуваються при передачі потоків бітів через канали зв'язку, необхідні знання окремих розділів фізики та теорії електричних і магнітних кіл. Для засвоєння протоколів маршрутизації необхідні знання розділів дискретної математики, присвячених теорії графів. Вивчення принципів побудови спеціалізованого мережного обладнання є неможливим без знань архітектури комп'ютерів та комп'ютерної схемотехніки.

Навчальний посібник складається з дев'яти теоретичних розділів та лабораторного практикуму. Матеріал розташований в логічній послідовності, тому роботу з посібником доцільно починати з першого розділу. В кінці

кожного розділу є питання для самоперевірки, які дозволяють самостійно перевірити ступінь засвоєння навчального матеріалу.

Перший розділ присвячено основним принципам та архітектурним рішенням побудови комп'ютерних мереж. У цьому розділі можна також ознайомитись з принципами адресації та методами комутації в сучасних мережах. Розглянуто ієрархічні моделі для опису комп'ютерних мереж.

У **другому розділі** розглянуто особливості реалізації фізичного рівня комп'ютерних мереж, зокрема структуру, класифікацію і характеристики каналів передачі даних, різновиди існуючих кабельних систем, проаналізовано їх переваги, недоліки та наведено рекомендації до застосування. Розглянуто сучасні методи передачі цифрових даних на фізичному рівні та способи мультиплексування потоків даних.

У **третьому розділі** описано технології реалізації каналного рівня сучасних комп'ютерних мереж, методи доступу до середовища та методи керування логічним каналом. Розглянуто особливості реалізації каналного рівня в локальних мережах на прикладі технологій Ethernet, Token Ring та FDDI. Описано основи функціонування комутаторів локальних мереж.

Четвертий розділ присвячено мережному рівню. Розглянуто принципи ієрархічної адресації та алгоритми маршрутизації потоків даних. Описано шляхи реалізації мережного рівня в сучасних мережах на прикладі протоколу IPv4. Розглянуто протоколи динамічної маршрутизації RIP та OSPF. Також описано основи роботи з мережною операційною системою на прикладі Cisco IOS. В кінці розділу розглянуто нову версію протоколу IP — IPv6 та методи його взаємодії з IPv4.

У **п'ятому розділі** розглянуто роботу транспортного рівня та особливості його реалізації на прикладі протоколів TCP та UDP. Описано механізми гарантованої передачі даних, методи керування потоками даних та боротьби з перевантаженнями.

У **шостому розділі** описано поширені протоколи верхнього рівня, зокрема протокол динамічного призначення адрес DHCP, протокол перетворення доменних імен DNS, протоколи віддаленого доступу Telnet та SSH, поштові протоколи POP та SMTP, протоколи передачі файлів FTP та TFTP, протокол гіпертекстових повідомлень HTTP та інші.

Сьомий розділ присвячено основам мережної безпеки, проаналізовано основні загрози в сучасних мережах та шляхи запобігання цьому.

В **восьмому розділі** розглянуто методи реалізації сучасних цифрових мереж, зокрема існуючі ієрархії цифрових каналів PDH та SDH. Також описано технології віртуальних каналів Frame Relay і ATM та технологію багатопроTOCOLьної комутації по мітках MPLS.

Дев'ятий розділ присвячено опису технологій безпроводового зв'язку від персональних до глобальних.

Десятий розділ містить набір завдань для лабораторного практикуму.

Автори сподіваються, що посібник допоможе студентам поглибити свої знання в галузі комп'ютерних мереж і бажають успіхів у навчанні.

1 БАЗОВІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

1.1 Основи передачі даних у комп'ютерних мережах

Комп'ютерні мережі є логічним результатом еволюції двох найважливіших науково-технічних галузей сучасної цивілізації — комп'ютерних і телекомунікаційних технологій. З одного боку, комп'ютерні мережі — це частковий випадок розподілених обчислювальних систем, в якій певна група комп'ютерів виконує набір задач і обмінюється інформацією. А з іншого боку, комп'ютерні мережі можна розглядати як засіб передачі інформації на великі відстані.

Прообразом комп'ютерних мереж стали багатотермінальні системи, що працювали в режимі розподілу часу, і стали першим кроком до створення локальних обчислювальних мереж. Однак в таких системах підтримувалася центральна обробка даних. Крім того, в 60-ті роки ХХ століття ще не назріла виробнича необхідність створення локальних комп'ютерних мереж.

Але, разом з тим, в ті роки з'явилась необхідність об'єднання мейнфреймів, що знаходилися на великих відстанях. Тут спочатку було вирішено задачу доступу до комп'ютера через термінал, що знаходиться на значній відстані, з використанням телефонних ліній зв'язку та модемів. Далі з'явилися системи, в яких разом зі з'єднанням типу термінал-комп'ютер було реалізовано з'єднання комп'ютер-комп'ютер. Комп'ютери отримали можливість обмінюватися даними в автоматичному режимі, що є ознакою будь-якої обчислювальної мережі.

На основі даного принципу було створено мережі, де реалізовано служби обміну файлами, синхронізації баз даних, електронної пошти тощо.

Таким чином, у хронологічному порядку першими з'явилися глобальні мережі WAN (Wide Area Network). На початкових етапах WAN будувалися на основі телефонних ліній зв'язку. Нововведенням, що прийшло разом з ними, стала відмова від принципу комутації каналів, що використовувався у телефонних мережах. Пульсуючий (інтенсивний обмін чергується зі значними паузами) і нечутливий до затримок комп'ютерний трафік набагато ефективніше передавати у мережах, що працюють за принципом комутації пакетів.

Ще на початку 70-х років минулого століття глобальні мережі будувалися з використанням аналогових телефонних каналів низької якості та швидкості. Типовим прикладом є мережі X.25.

У 1969 році міністерство оборони США ініціювало розробку мережі для об'єднання комп'ютерів оборонних і науково-дослідних центрів. Дана мережа отримала назву ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) і стала початковою точкою для створення глобальної мережі Internet. Мережа ARPANET об'єднувала комп'ютери різних типів, які пра-

цюють під керуванням різних операційних систем з додатковими модулями, що реалізовували функції протоколів комунікації. Дані протоколи були спільними для всієї мережі.

Розвиток глобальних комп'ютерних мереж у значній мірі визначався розвитком телефонних мереж. Починаючи з 70-х років ХХ ст. почали з'являтися високошвидкісні цифрові канали зв'язку, що з'єднували автоматичні телефонні станції (АТС) і дозволяли одночасно передавати багато розмов.

Потреба у локальних комп'ютерних мережах з'явилася разом із появою міні-комп'ютерів у тих же 70-х роках, що були побудовані на основі великих інтегральних схем (ВІС). Локальні мережі LAN (Local Area Network) — це об'єднання робочих станцій, що розташовані на невеликій території, зазвичай, у радіусі не більше 1-2 км. Хоча на сьогодні локальна мережа може мати і великі розміри, наприклад, кілька десятків кілометрів.

З появою LAN для з'єднання комп'ютерів використовувалися нестандартизовані мережні технології. Мережна технологія — це погоджений набір програмних і апаратних засобів, а також механізмів передачі даних через лінії зв'язку, що є достатнім для побудови комп'ютерних мереж.

У середині 80-х років з'явилися стандартні мережні технології об'єднання комп'ютерів у мережу — Ethernet, Arcnet (Attached Resource Computer Network), Token Ring, Token Bus, FDDI (Fiber Distributed Data Interface). Всі технології використовували комутацію пакетів.

Наступним стимулом до розвитку LAN стала поява персональних комп'ютерів, що поступово з'являлись у користуванні звичайних людей в їх домівках. Наявність стандартних мережних технологій перетворила процес побудови локальної мережі з вирішення технічної проблеми у рутинну роботу.

Кінець 90-х років минулого століття виявив явного лідера серед технологій локальних мереж — сімейство Ethernet, в яке увійшли класична технологія Ethernet зі швидкістю передачі 10 Мбіт/с, а також Fast Ethernet зі швидкістю 100 Мбіт/с і Gigabit Ethernet зі швидкістю 1000 Мбіт/с. Хронологічну послідовність найважливіших подій на шляху розвитку перших комп'ютерних мереж наведено у табл. 1.1.

Історично головною метою об'єднання комп'ютерів у мережу було розподілення ресурсів: користувачі комп'ютерів, що були під'єднані до мережі, або програми, щоб виконувалися на даних комп'ютерах, отримували доступ до різних ресурсів інших комп'ютерів мережі, до яких можна віднести:

- такі периферійні пристрої, як принтери, плотери, сканери, диски;
- дані;
- обчислювальні потужності.

Усі комп'ютерні мережі можна класифікувати за такими ознаками:

1. Територіальна поширеність;
2. Швидкість передачі даних;

3. Тип середовища передачі;
4. Організація взаємодії комп'ютерів;
5. Топологія.

Таблиця 1.1 — Хронологія розвитку комп'ютерних мереж

Етап	Час
1. Перші глобальні зв'язки комп'ютерів, перші експерименти з пакетними мережами	Кінець 60-х XX ст.
2. Початок передачі даних по телефонних лініях голосу у цифровій формі	Кінець 60-х XX ст.
3. Поява ВІС, перші міні-комп'ютери, перші нестандартні локальні мережі	Початок 70-х XX ст.
4. Стандартизація технології X.25	1974
5. Поява персональних комп'ютерів, створення Internet у сучасному вигляді, встановлення на всіх вузлах протокольного стеку TCP/IP	Початок 80-х XX ст.
6. Поява стандартних технологій локальних мереж (Ethernet 1980 р., Token Ring, FDDI 1985 р.)	Середина 80-х XX ст.
7. Початок комерційного використання Internet	Кінець 80-х XX ст.
8. Винайдення Web	1991

За **територіальною поширеністю** мережі можуть бути глобальними, регіональними, локальними, корпоративними.

Глобальні комп'ютерні мережі WAN об'єднують територіально рознесені комп'ютери, що знаходяться в різних містах або країнах. Вони вирішують проблеми об'єднання інформаційних ресурсів людства й організації доступу до них.

Регіональні мережі MAN (Metropolitan Area Network) об'єднують комп'ютери, що розташовані в межах певного регіону, міста, адміністративного району, функціонують в інтересах організації і користувачів регіону.

Локальна комп'ютерна мережа LAN (Local Area Network) об'єднує абонентські системи, що розташовані в межах певної території. До них відносять мережі підприємств, банків, офісів, навчальних закладів та ін.

Корпоративні мережі є технічною базою компаній, корпорацій, організацій та ін. Такі мережі використовуються для планування, організації і здійснення виробничо-господарської діяльності корпорації.

За **швидкістю передачі інформації** комп'ютерні мережі ділять на:

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

За **типом середовища передачі** виділяють такі мережі:

- проводові (коаксіальний кабель, скручена пара, оптоволокно);

- безпроводові (радіоканал, інфрачервоний діапазон).

Організацію взаємодії між робочими станціями у мережі може бути виконано як:

- однорангову;
- ієрархічну.

В одноранговій мережі всі робочі станції рівноправні. Як наслідок, всі абоненти несуть відповідальність за захист інформації та її втрату. Ієрархічні мережі або мережі «клієнт-сервер», як правило, мають великі розміри і в них виділено кілька робочих станцій для обслуговування потреб абонентів. Ці робочі станції називають серверами.

Об'єднуючи у мережу кілька робочих станцій (більше двох), необхідно вирішити, яку вибрати конфігурацію фізичних зв'язків або **топологію**. Під топологією мережі розуміється конфігурація графу, вершини якого відповідають кінцевим вузлам мережі (наприклад, робочі станції) і комутаційного обладнання (наприклад, маршрутизатори), а ребра — фізичні або інформаційні зв'язки між вершинами. Виділяють такі основні топології.

1. **Повнозв'язна топологія** (рис. 1.1, а) відповідає мережі, в якій кожна робоча станція безпосередньо зв'язана з усіма іншими. Даний варіант громіздкий і неефективний, оскільки необхідна велика кількість комутаційних портів, фізичних ліній зв'язку. Повнозв'язна топологія у великих мережах використовується дуже рідко, оскільки для зв'язку n вузлів необхідно $n(n-1)/2$ фізичних дуплексних ліній зв'язку.

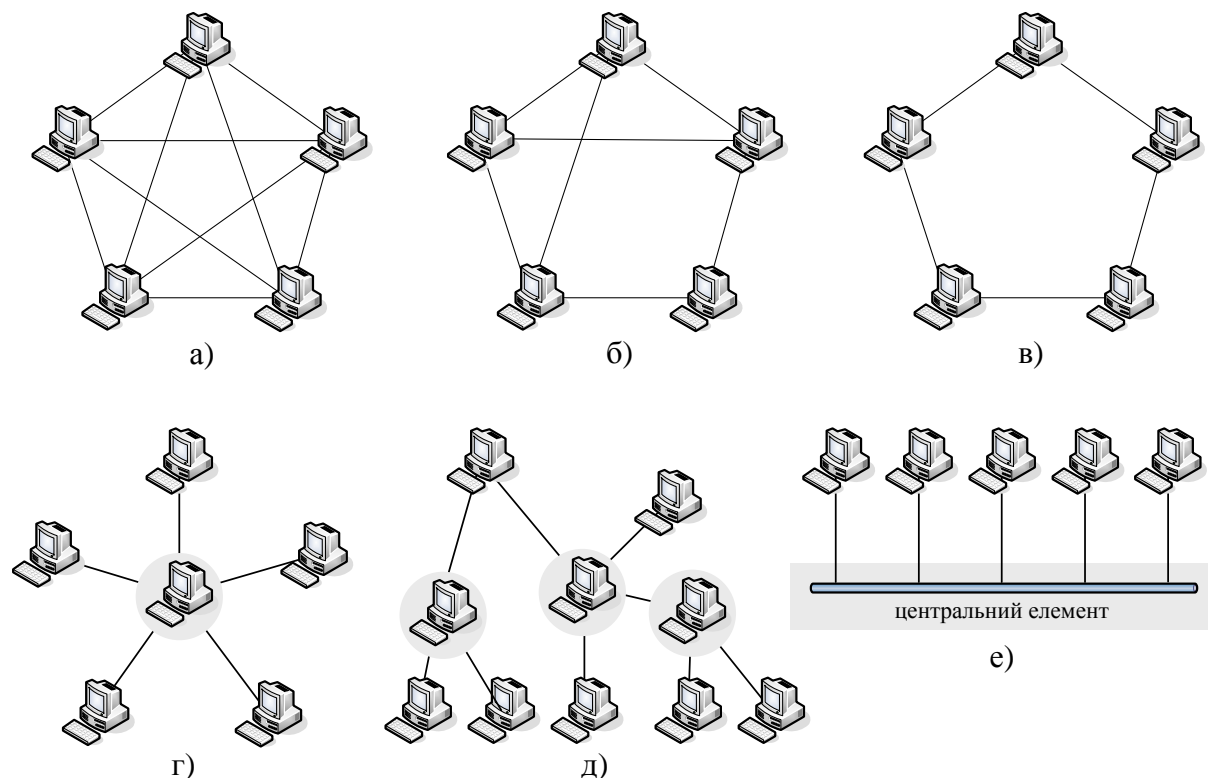


Рисунок 1.1 — Топології комп'ютерних мереж

а) — повнозв'язна, б) — комірчата, в) — кільцева, г) — зіркоподібна, д) — деревоподібна, е) — загальна шина

2. **Комірчата топологія** отримується із повнозв'язної шляхом ліквідації деяких зв'язків (див. рис. 1.1, б).

3. У мережах з **кільцевою топологією** (див. рис. 1.1, в) дані передаються по кільцю від одного комп'ютера до іншого. Перевагами даної топології є резервні зв'язки (доступність вузла по двох шляхах), можливість організації зворотного зв'язку. Однак в даному випадку необхідно вживати спеціальних заходів, коли один вузол відключено від мережі.

4. **Зіркоподібна топологія** (див. рис. 1.1, г) утворюється у випадку, коли кожний комп'ютер підключається безпосередньо до загального багатотовховодового центрального пристрою. Даний пристрій виконує перенаправлення потоків інформації комп'ютерам мережі. Недоліком зіркоподібної топології є відносно висока вартість мережного обладнання, і розширення мережі обмежується кількістю портів центрального пристрою.

5. У деяких випадках доцільно будувати мережу з використанням кількох центральних пристроїв, що ієрархічно з'єднуються між собою зіркоподібними зв'язками. У даному випадку отримується топологія **ієрархічної зірки або дерева** (див. рис. 1.1, д). Дана топологія сьогодні має найбільше поширення як в локальних, так і в глобальних мережах.

6. Частковим випадком зірки є **загальна шина** (див. рис. 1.1, е). У таких мережах центральним елементом виступає пасивний кабель, до якого підключається кілька комп'ютерів. Таку топологію мають безпроводові мережі, де як загальна шина використовується радіосередовище. Інформація, що передається, доступна відразу всім вузлам мережі, що під'єднані до загальної шини. Основна перевага даної топології — низька вартість і простота під'єднання нових вузлів. Недоліком є низька надійність, оскільки будь-який дефект кабелю виводить всю мережу з ладу; та низька продуктивність, оскільки у певний момент часу передачу може виконувати лише один комп'ютер.

7. Невеликі мережі мають типову топологію — зірка, кільце, загальна шина. Разом з тим, у великих мережах наявні довільні зв'язки між комп'ютерами. У таких мережах можна виділити частини, що мають типову топологію. Тому такі мережі мають **змішану** топологію (рис. 1.2).

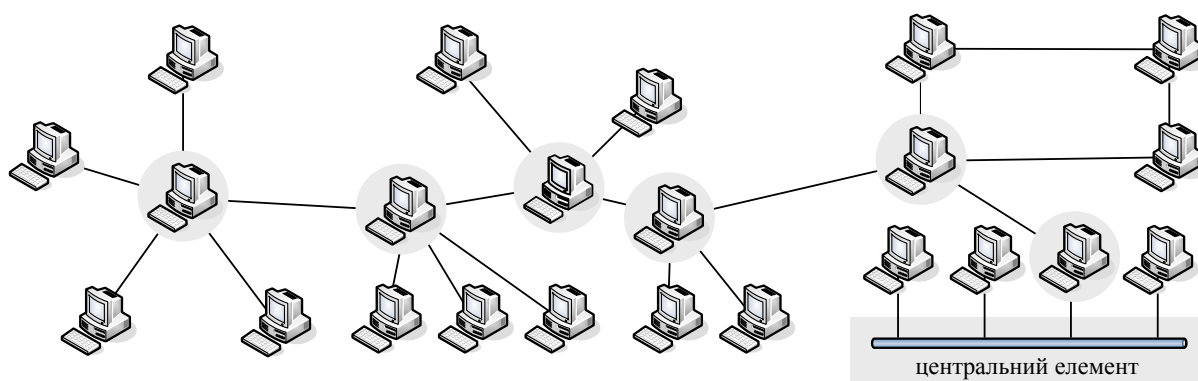


Рисунок 1.2 — Мережа зі змішаною топологією

1.2 Основні компоненти комп'ютерних мереж та їх призначення

Призначення комп'ютерної мережі зводиться до забезпечення комунікації або зв'язку між абонентами. Будь-яка комунікація передбачає наявність:

- передавача (джерела інформації);
- отримувача;
- середовища, через яке буде проводитися передача даних.

Також виділяють апаратні і програмні компоненти комп'ютерних мереж. До апаратних компонент відносять:

- пристрої;
- середовище передачі даних.

Всі пристрої, які використовуються в комп'ютерних мережах, поділяють на такі категорії:

- кінцеві;
- проміжні.

До кінцевих пристроїв відносять «споживачів»: робочі станції, сервери, принтери, веб-камери, робочі комп'ютери. Серед кінцевих пристроїв можна виділити найбільш важливі: сервери та клієнти. Сервер — комп'ютер, що виконує специфічні функції і надає послуги іншим комп'ютерам, що називаються робочими станціями. Один і той же сервер може надавати кілька видів послуг. Комп'ютер може одночасно виконувати функції сервера і робочої станції.

Серед проміжних пристроїв можна виділити:

- пристрої доступу до мережі, що призначені для під'єднання кінцевих пристроїв до комп'ютерної мережі (комутатор або switch, концентратор або hub, точка доступу в безпроводових мережах);
- пристрої для з'єднання між собою локальних мереж (маршрутизатор або роутер);
- комунікаційні сервери і модеми для обслуговування глобальних мереж;
- пристрої безпеки, що використовуються для фільтрації трафіку (брандмауери).

Середовища передачі даних можуть бути побудовані на основі:

- оптичного кабелю;
- мідного проводу;
- безпроводових технологій.

Середовище передачі даних використовується для з'єднання між собою кінцевих і проміжних компонентів. Вибір того чи іншого середовища залежить від поставленої задачі, відстані, навколишнього середовища (наприклад, наявності чи відсутності електромагнітного поля).

До програмних компонентів відносять сервіси і процеси, що працюють на мережних пристроях і, залежно від призначення, виконують різні функ-

ції. Як правило, програмні компоненти визначаються відповідними протоколом. Таким чином, програмні компоненти можна поділити на:

- мережні операційні системи;
- протокольні стеки;
- мережні застосування (мережні програми).

1.3 Адресація вузлів у мережі

При об'єднанні декількох комп'ютерів у мережу з'являється проблема їх ідентифікації, а саме: адресації їх мережних інтерфейсів. Кожен комп'ютер повинен мати унікальний ідентифікатор в мережі. Загалом адресація в мережі може бути алфавітно-цифровою і цифровою. У свою чергу алфавітно-цифрову адресацію поділяють на однорівневу та ієрархічну, і цифрову — на однорівневу та ієрархічну (рис. 1.3). Множину адрес, що доступні в межах деякої схеми адресації, називаються адресним простором.

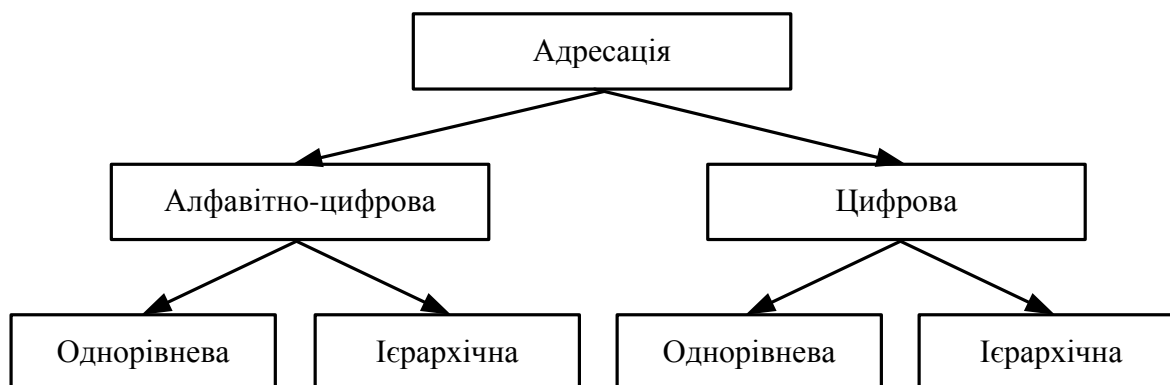


Рисунок 1.3 — Типи адресації вузлів у комп'ютерних мережах

Алфавітно-цифрова однорівнева адресація — це NetBIOS (Network Basic Input/Output System) адресація, звичайні імена у мережному оточенні. Призначені для запам'ятовування користувачами і, як правило, несуть змістовне навантаження. Така адресація використовується в локальних мережах.

Алфавітно-цифрова ієрархічна адресація — це доменні символічні імена, що мають ієрархічну структуру, наприклад, ftp-serv1.rada.gov.ua. Ця адреса вказує, що комп'ютер підтримує ftp-сервер у мережі Верховної Ради (rada). Дана мережа належить до загальнодержавної мережі (gov) України (ua). Така адресація зручна для людей, оскільки має зрозумілу структуру і може бути досить довгою. Але при передачі через мережу вона є явно надлишковою. Наведена у прикладі адреса вузла має чотири рівні: ідентифікатор країни, де знаходиться певний тип установи, далі ідентифікується сама установа і вузол.

Прикладом цифрової однорівневої адресації може бути MAC-адреса. Це унікальна адреса мережного адаптера для його ідентифікації в локальних мережах. Така адреса записується у двійковому або шістнадцятковому

вигляді, наприклад, 48-5D-60-66-D4-4D. MAC-адреси задаються самими виробниками для своїх пристроїв. Їх змінювати, як правило, не можна. Так, коли у комп'ютера змінюється мережний інтерфейс, то відповідно змінюється і мережна адреса.

Простір MAC-адрес визначається документами міжнародної асоціації Інституту інженерів електротехніки та електроніки IEEE, а саме: MAC-48, EUI-48, EUI-64. Найбільш поширені адреси MAC-48, які використовуються в технологіях Ethernet, Token Ring, FDDI, WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) тощо. У даному випадку адреса складається із 48 бітів (6 байт). Таким чином, весь адресний простір нараховує 2^{48} (або 281 474 976 710 656) адрес. MAC-48 і EUI-48 відрізняються лише за призначенням: MAC-48 адреси використовуються для мережних пристроїв, а EUI-48 — для інших типів апаратного та програмного забезпечення. При цьому ідентифікатори EUI-64 складаються з 64 бітів і використовуються у FireWire, IP-адресації версії 6.

Як відзначалося, MAC-адреса складається з 48 бітів, що розділені на 4 групи. Перші 3 байти містять унікальний код виробника, що отриманий від IEEE. При цьому використовуються лише молодші 22 біти, 2 старші мають спеціальне призначення:

- перший біт вказує блок даних призначено для одного отримувача (біт в нульовому стані) чи групи адресатів (біт в одиничному стані);
- другий біт вказує MAC-адресу глобального (0), чи локального (1) адміністрування.

Наступні 3 байти виробник унікально призначає для кожного пристрою сам. Структуру MAC-адреси показано на рис. 1.4.

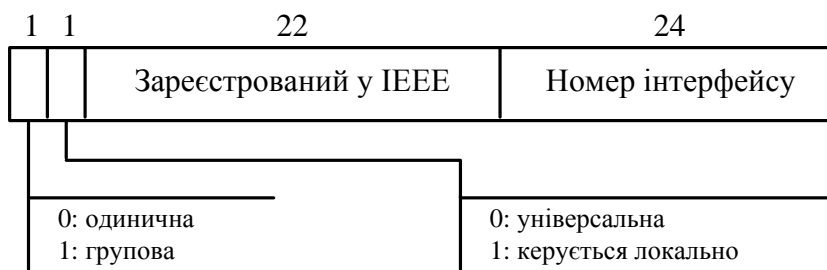


Рисунок 1.4 — Структура MAC-адреси у біт-реверсному записі (біти показано у порядку їх слідування через середовище передачі даних)

Цифрова ієрархічна адреса, наприклад, IP-адреса версії 4 складається з двох частин:

- адреси мережі;
- адреси комп'ютера.

Алфавітно-цифрова ієрархічна адреса та алфавітно-цифрова однорівнева використовуються для користувачів. Цифрова однорівнева адресація та цифрова багаторівнева адреса — для комп'ютерів. На практиці, як пра-

вило, використовується відразу кілька схем адресації, і один вузол мережі може відразу мати кілька адрес-імен.

Таким чином, користувачі адресують комп'ютери ієрархічно-символьними іменами, що автоматично замінюються на ієрархічно-цифрові. З використанням цих символьних адрес проводиться доставка повідомлення адресату. Після доставки відбувається перетворення цифрових ієрархічних адрес у цифрові однорівневі.

Для передачі даних через мережу обладнання використовує цифрові адреси, тому виникає задача перетворення алфавітно-цифрової адреси на цифрову. Для перетворення імен з одного типу в інший використовуються спеціальні протоколи, що називаються протоколами перетворення імен.

Проблема встановлення відповідності між адресами різних типів може вирішуватися централізовано або розподілено. При **централізованому підході** у мережі виділяється один або кілька комп'ютерів (сервери імен), що зберігають таблиці відповідності адрес різних типів. Інші комп'ютери мережі звертаються до даного з відповідними записами, щоб перетворити алфавітно-цифрову адресу у цифрову. Коли використовується **розподілений підхід**, то на кожному комп'ютері зберігаються всі його адреси різних типів. Коли комп'ютеру необхідно встановити відповідність ієрархічно-цифрової адреси і однорівневої цифрової, він відправляє у мережу широкомовний запит. Всі комп'ютери мережі порівнюють адресу у запиті з власною. Той комп'ютер, що знайшов відповідність, надсилає відповідь, де міститься відповідна однорівнева цифрова апаратна адреса. Така схема використана у протоколі визначення адрес ARP (Address Resolution Protocol) стека TCP/IP. Для перетворення алфавітно-цифрових ієрархічних адрес (доменних імен) у цифрові ієрархічні (IP-адреси) використовується протокол DNS (Domain Name System). Перетворення алфавітно-цифрових однорівневих адрес (NetBIOS-імена) у цифрові ієрархічні виконують WinS-сервери (Windows Internet Name Service).

Перевагою розподіленого підходу є те, що він дозволяє відмовитися від виділеного сервера, який необхідно адмініструвати. Недоліком даної реалізації є те, що необхідно використовувати широкомовні повідомлення, що є неінформативним надлишковим трафіком у мережі. Тому розподілений підхід використовується у локальних невеликих мережах, а централізований — у великих.

За кількістю інтерфейсів, що адресуються, адреси можна класифікувати таким чином:

- унікальні адреси (unicast), що використовуються для ідентифікації певних вузлів;
- групові адреси (multicast), що використовуються для ідентифікації одразу кількох інтерфейсів. Дані, що ідентифікуються груповою адресою, надсилаються відразу на кілька вузлів, що входять в дану групу;

- широкомовні адреси (broadcast), що використовуються для відправки даних на всі вузли мережі;
- адреса довільного розсилання (anycast), що визначена у новій версії протоколу IPv6. Дана адреса задає групу адрес як multicast, але дані, що відправлені на дану адресу, доставляються не всім комп'ютерам групи, а будь-якому з них.

1.4. Способи комутації

Після вибору топології мережі і визначення системи адресації необхідно вирішити питання зі способом передачі даних між кінцевими вузлами. З'єднання кінцевих хостів через мережу проміжних вузлів називають комутацією. Послідовність вузлів, що знаходяться на шляху від передавача до приймача, утворюють маршрут.

Для успішної комунікації необхідно також узгодити певні правила комунікації, зокрема:

- процедуру встановлення з'єднання;
- мову або спосіб кодування даних в процесі комутації;
- порядок передачі і прийому даних у випадку, коли одночасно це робити неможливо.

Правила комунікації в комп'ютерних мережах називаються протоколами. При цьому можливі різні режими передачі даних:

- повідомлення або файл передаються як єдине ціле — **комутація повідомлення**;
- здійснюється фрагментація повідомлення, кожна мережна технологія обов'язково визначає такий параметр як максимальний блок даних MTU (Maximum Transmission Unit). Називається така передача **комутацією пакетів**.

У комп'ютерних мережах методи комутації поділяють на комутацію каналів та з проміжним зберіганням, відповідну класифікацію показано на рис. 1.5. Комутація каналів може бути тимчасовою і тривалою. Комутація з проміжним збереженням може виконуватися як комутація повідомлень або пакетів. У свою чергу, комутація пакетів може виконуватися через комутацію дейтограм або віртуальних каналів.

При застосуванні методу **комутації каналів** перш ніж можна буде передавати дані, треба встановити фізичне з'єднання між станцією відправника і станцією отримувача. Процедуру встановлення з'єднання показано на рис. 1.6.

При застосуванні методу комутації каналів виникає задача розподілу на підканали фізичного середовища з великою пропускнуною спроможністю, тобто організація передачі кількох потоків даних через один фізичний канал. Використання процедури фрагментації повідомлень дозволяє кільком відправникам псевдоодночасно передавати дані через один канал.

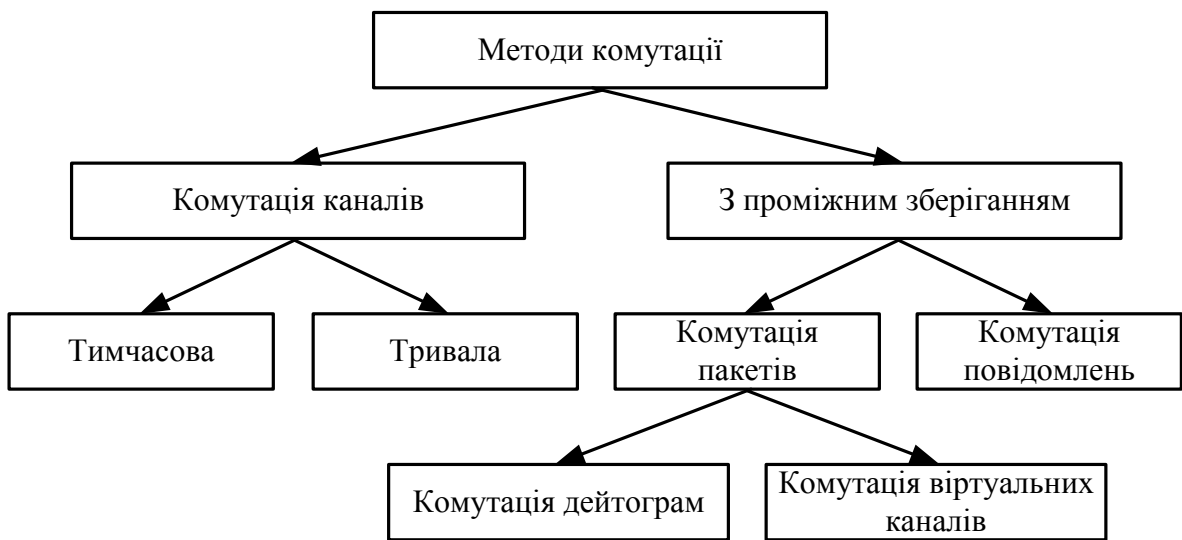


Рисунок 1.5 — Класифікація методів комутації у комп'ютерних мережах

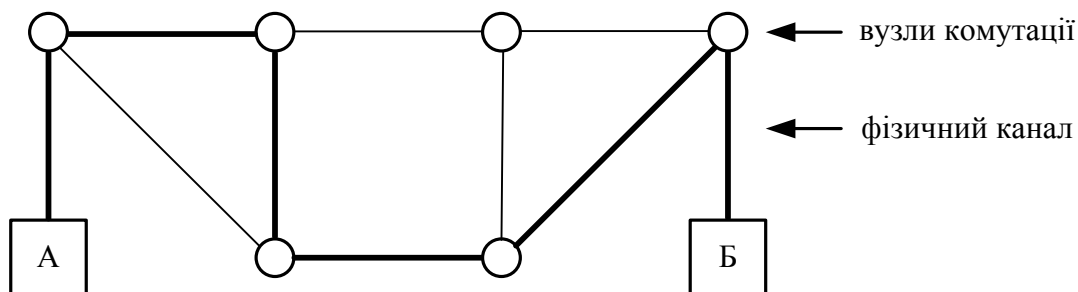


Рисунок 1.6 — Встановлення з'єднання при використанні методу комутації каналів

Головний недолік методів комутації каналів полягає в тому, що для передачі даних обов'язково потрібна наявність вільного підканалу, також неможливо розподілити пропускну спроможність між каналами. Але метод комутації каналів дає найменшу часову затримку при передачі даних.

Перевагою **методів з проміжним зберіганням** є те, що не потрібно утворювати фізичний канал від відправника до отримувача, а достатньо виконати передачу тільки до сусіднього вузла комутації. Можлива ситуація розпаралелювання потоків даних (для балансування навантаження). Також можна використовувати всю вільну смугу пропускання на кожній ланці.

Одним із методів комутації з проміжним зберіганням є **метод комутації повідомлень**. В основі цього методу лежить ідея, відповідно до якої весь файл передається як єдине ціле без фрагментування. Для даного методу характерні такі недоліки:

- відбувається монопольне зайняття каналу;
- буфер має бути великим;
- якщо йде переривання передачі, то вся вже передана інформація втрачається;

- комутація повідомлень можлива тільки для файлів невеликого розміру.

Тому цей метод неактуальний.

Ще одним методом комутації з проміжним зберіганням є **метод комутації пакетів**. У даному випадку відбувається поділ повідомлення на фрагменти, що далі окремо передаються через мережу. До кожного фрагмента додається відповідна службова інформація (адреси, номер фрагмента).

Комутація дейтограм — це метод, за яким в поле службової інформації додаються повні адреси отримувача і відправника, тому пакет (дейтограма) є незалежним і може спокійно передаватись. Перевагою цього методу є незалежність кожної одиниці даних. Недоліком є великий розмір адресної частини.

При використанні **методу комутації віртуальних каналів** перш ніж починається передача даних, утворюється віртуальний канал між відправником і отримувачем. Перевагою є економія пропускної спроможності фізичного каналу.

Виконаємо розрахунок затримки передачі даних у мережі з комутацією каналів і пакетів (рис. 1.7 і 1.8 відповідно). Очевидно, що більш ефективною, з точки зору часових затримок, буде мережа з комутацією каналів, де резервується канал на час передачі даних. Дані будуть надходити до адресата без затримок. Однак значну частину часу зарезервованій канал буде простоювати під час пауз між передачами. Якщо використовувати комутацію пакетів, то швидкість передачі буде меншою. Але завантаженість фізичного каналу буде більш рівномірною.

Так, час передачі даних від вузла $B1$ до вузла $B2$ через мережу з комутацією каналів t_{KK} складається з часу розповсюдження сигналу t_{PC} та часу передачі повідомлення $t_{ПП}$:

$$t_{KK} = t_{PC} + t_{ПП}.$$

Час розповсюдження сигналу визначається як відношення довжини каналу L_K до швидкості розповсюдження сигналу V_{PO3} :

$$t_{PC} = \frac{L_K}{V_{PO3}}.$$

Час передачі повідомлення $t_{ПП}$ можна розрахувати за такою формулою:

$$t_{ПП} = \frac{N_{ПОВ}}{P_{ЛЗ}},$$

де $N_{ПОВ}$ — розмір повідомлення;

$P_{ЛЗ}$ — пропускна спроможність лінії зв'язку, біт/с.

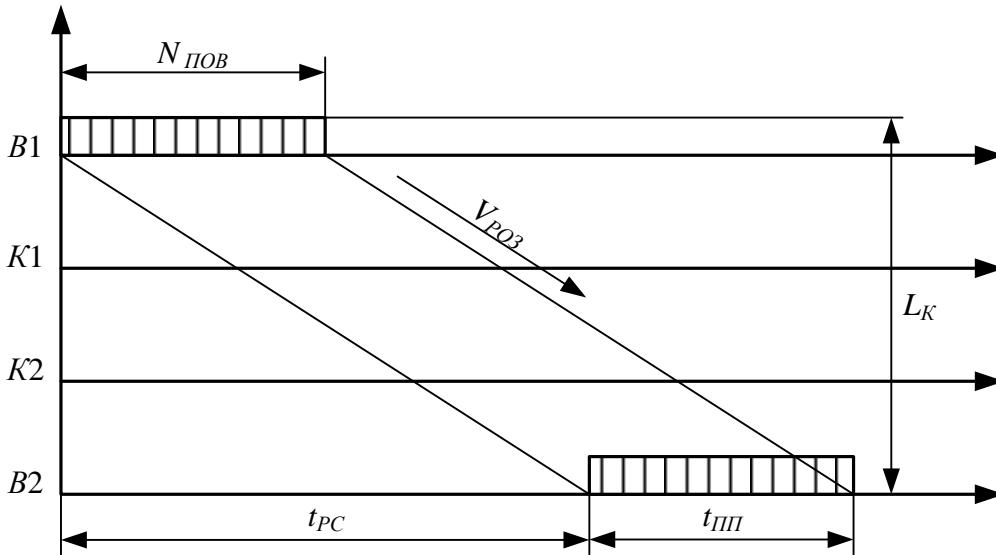


Рисунок 1.7 — Часова діаграма передачі у мережі з комутацією каналів

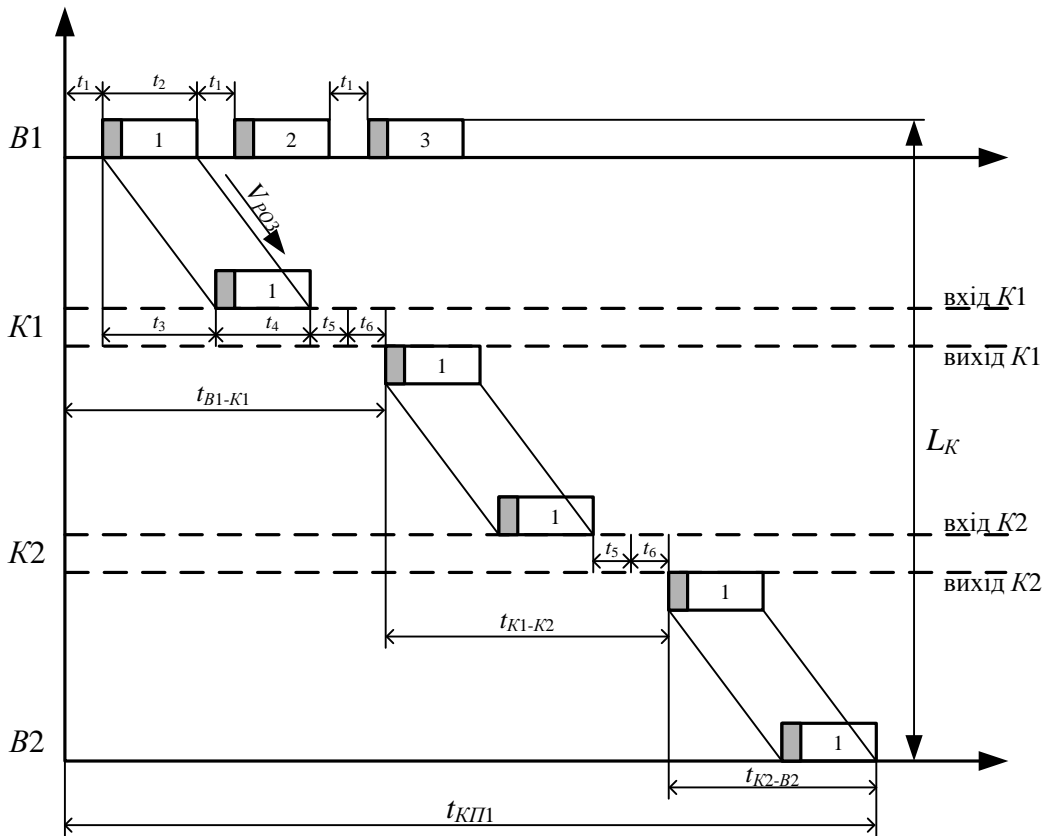


Рисунок 1.8 — Часова діаграма передачі повідомлення, що розділене на пакети, у мережі з комутацією пакетів

При передачі повідомлення через мережу з комутацією пакетів одне повідомлення розміром $N_{\text{ПОВ}}$ розділено на пакети, кожен з яких має заголовок. Пакети передаються від передавача до приймача, між якими є комутатори, кожен з яких вносить деяку затримку комутації. Спочатку визначимо час $t_{\text{КП1}}$ передачі одного пакета повідомлення від вузла $B1$ до $B2$, між

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Джеймс Мартин. Архитектура и реализация АТМ / Джеймс Мартин, Кэтлин Кэвен Чапмен, Джо Лубен. — М. : Издательство «ЛЮРИ», 2000. — 214 с.
2. Бірюков М. Л. Транспортні мережі телекомунікацій / М. Л. Бірюков, В. К. Стеклов, Б. Я. Костік. — К. : Техніка, 2005. — 312 с.
3. Буров Є. Комп'ютерні мережі / Буров Є. — Львів : Бак, 1999. — 468 с.
4. Зайченко О. Ю. Комп'ютерні мережі / О. Ю. Зайченко, Ю. П. Зайченко. — К. : Видавничий Дім «Слово», 2010. — 520 с.
5. Дикер П. Сети АТМ корпорации CISCO / Дикер П. — М. : Издательский дом «Кильямс», 2004. — 880 с.
6. Камер Д. Є. Сети TCP/IP, том 1. Принципы, протоколы и структура / Камер Д. Є. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. — 880 с.
7. Камер Д. Є. Сети TCP/IP, том 3. Разработка приложений типа клиент/сервер для Linux/POSIX / Д. Є. Камер, Д. Л. Стивенс. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. — 592 с.
8. Карташевский В. Г. Сети подвижной связи / В. Г. Карташевский, С. Н. Семенов, Т. В. Фирстов. — М. : Эко-Трендз, 2001. — 299 с.
9. Кулаков Ю. О. Комп'ютерні мережі / Ю. О. Кулаков, Г. М. Луцкий. — К. : Юніор, 2003. — 400 с.
10. Куроуз Дж. Компьютерные сети. Многоуровневая архитектура Интернета / Дж. Куроуз, К. Росс. — С-Пт. : Питер, 2004. — 765 с. — ISBN 5-8046-0093-1.
11. Кульгин М. Компьютерные сети, практика построения. — С-Пт. : Питер, 2003. — 462 с. — ISBN 5-94723-563-3.
12. Лаем Куин. Fast Ethernet / Лаем Куин, Ричард Рассел. — К. : Издательская группа BHV, 1998. — 448 с.
13. Назаров А. Н. АТМ : Технические решения создания сетей / А. Н. Назаров, И. А. Разживин, М. В. Симонов. — М. : Горячая линия-Телеком, 2001. — 376 с.
14. Ногл М. TCP/IP. Иллюстрированный учебник / М. Ногл. — М. : ДМК Пресс, 2001. — 480 с.
15. Оглтри Т. Модернизация и ремонт сетей / Т. Оглтри. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2005 — 1328с. — ISBN 5-8459-0688-1.
16. Олифер В. Г. Компьютерные сети / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — СПб. : Питер, 2006. — 957 с.
17. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : [учебник для ВУЗов] / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — С-Пт. : Питер, 2013. — 944 с.

18. Палмер М. Проектирование и внедрение компьютерных сетей. Учебный курс. / М. Палмер, Р. Б. Синклер. — С-Пт. : БХВ, 2004. — 752 с. — ISBN 5-94157-374-X.
19. Рошан П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 / Рошан П., Лиэри Дж. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. — 304 с.
20. Семенов Ю. А. Протоколы Интернет / Ю. А. Семенов. — М. : Горячая линия-Телеком, 2001. — 1100 с.
21. Стивенс У. Р. Протоколы TCP/IP. Практическое руководство / У. Р. Стивенс. — СПб. : «Невский проспект» — «БХВ-Петербург», 2003. — 672 с.
22. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети / В. Столлингс. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. — 640 с.
23. Столлингс В. Компьютерные системы передачи данных / В. Столлингс. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2002. — 928 с.
24. Столлингс В. Передача данных / В. Столлингс. — СПб. : Питер, 2004. — 750 с.
25. Столлингс В. Современные компьютерные сети / В. Столлингс. — СПб. : Питер, 2003. — 783 с.
26. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. — С-Пт. : Питер, 2013. — 960 с. — ISBN 978-5-4461-0068-2, 978-0132126953.
27. Титтель Э. ISDN просто и доступно / Эд Титтель, Стив Джейс, Дэвид Пискителло, Лайза Пфайфер. — М. : Издательство «ЛЮРИ», 1999. — 282 с.
28. Тихвинский В. О. Сети мобильной связи LTE : технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, О. Б. Юрчук. — М. : Эко-Трендз, 2010. — 284 с.
29. Уолтон Ш. Создание сетевых приложений в среде Linux. Руководство разработчика / Шон Уолтон. — М. : СПб-Киев. «Вильямс». — 2001.
30. Хелд Г. Технологии передачи данных / Г. Хелд. — К. : Издательская группа BHV, 1998. — 448 с.
31. Шмалько А. В. Цифровые сети связи : основы планирования и построения / А. В. Шмалько. — М. : Эко-Трендз, 2001. — 282 с.
32. Филимонов А. Ю. Построение мультисервисных сетей Ethernet / А. Ю. Филимонов. — СПб. : БХВ-Петербург, 2007. — 592 с.
33. Stallings William. Data and Computer Communication / William Stallings. — 1999. — 810 p.
34. Stallings William. Computer Networking with Internet Protocols and Technology / William Stallings. — 2004. — 640 p.
35. Thurwachter Jr. Data and telecommunication : systems and applications / Jr. Thurwachter, N. Charles. — 2000. — 630 p.

Навчальне видання

**Азаров Олексій Дмитрович
Захарченко Сергій Михайлович
Кадук Олександр Володимирович
Орлова Марія Миколаївна
Тарасенко Володимир Петрович**

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна

Оригінал-макет підготовлено О. Кадуком

Підписано до друку 27.11.13 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 24,2.
Наклад 500 (1-й запуск 200) прим. Зам. № 2013-159.

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.