

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Тернопільський національний економічний університет  
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії

Лисий Володимир Вікторович

## **АНАЛІЗ СИСТЕМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АРХІТЕКТУР КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ**

Дипломна робота  
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр"  
зі спеціальності 8.05010201 "Комп'ютерні системи та мережі"

Науковий керівник  
д.т.н., професор  
Николайчук Ярослав Миколайович

---

(підпис)

Дипломна робота допущена до захисту

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник магістерської програми

---

(підпис)

(прізвище, ініціали, вчений ступінь, вчене звання)

## РЕФЕРАТ

Робота виконана на 95 сторінках та містить 41 рисунок, 5 таблиць, 2 додатки, 32 джерела за переліком посилань.

**Мета роботи.** Метою роботи є вирішення задач аналізу системних характеристик архітектур комп'ютерних мереж.

**Методи дослідження.** Використовувались методи математичного аналізу, дослідження на основі теорії графів та мереж Петрі.

**Результати роботи та їх новизна.** Розв'язана задача дослідження системних характеристик архітектур комп'ютерних мереж.

**Рекомендації по використанню результатів роботи.** Результати роботи можуть бути використані у навчальному процесі при підготовці фахівців напряму «Комп'ютерна інженерія».

**Значущість роботи.** Проведений аналіз може бути адаптований до проектування конкретних розподілених комп'ютерних та комп'ютеризованих систем і безпосередньо використаний при їх розробці.

**Можливі напрямки розвитку.** При використанні отриманих результатів можливе вдосконалення проектування архітектур комп'ютерних мереж з формуванням та цифровим опрацюванням потоків даних.

**Ключові слова:** комп'ютерні мережі, протоколи, характеристики, системні характеристики.

## ABSTRACT

Work is executed on 95 pages and including 41 illustrations, 5 tables, 2 additions, 32 source after the list of references.

**Purpose of work.** The objective is to solve the problems of analysis of system performance architectures of computer networks.

**Research methods.** Used methods of mathematical analysis, research-based theory of graphs and Petri nets.

**Job performances and their novelty.** The problem the study of system performance architectures of computer networks.

**Recommendations after the use of job performances.** The results may be used in education for training specialists as "Computer Engineering".

**Meaningfulness of work.** The analysis can be adapted to the specific design of distributed computing and computer systems and directly used for the development.

**Possible directions of development.** Using the results may improve the design architectures of computer networks from forming and digital processing of data streams.

**Keywords:** computer networks, protocols, specifications, system specifications.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	10
1.1. Історія виникнення комп'ютерних мереж	10
1.2. Класифікація комп'ютерних мереж	13
1.3. Топологія комп'ютерних мереж	19
1.3.1. Топологія «шина»	20
1.3.2. Топологія «зірка»	21
1.3.3. Топологія «кільце»	22
1.3.4. Комбіновані топології	25
1.4. Адресація в комп'ютерних мережах	28
1.5. Передавальні середовища комп'ютерних мереж	31
1.6. Технологія забезпечення гарантованої якості зв'язку (QoS)	41
1.7. Мережні адаптери.	43
2. АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР ТА ПРОТОКОЛІВ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	46
2.1. Мережні архітектури першого покоління	46
2.2. Мережні архітектури другого покоління	47
2.3. Мережа Петрі	53
2.4. Альтернативна мережа FIDONET	53
2.5. Модель OSI	54
2.6. Рівні і протоколи моделі OSI	55
2.7. Взаємодія рівнів моделі OSI	59
2.8. Сімейство TCP/IP	62
2.9. Рівні стека TCP/IP	68
3. АНАЛІЗ СИСТЕМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	68
3.1. Аналіз емерджентності комп'ютерних мереж	71
3.2. Аналіз мережевого розпаралелення криптозахисту	80

комп'ютерних мереж	
3.2.1. Мережеві технології в криптографії еліптичних кривих	80
3.2.2. Робота розробленої системи визначення порядку ЕК	91
ВИСНОВКИ	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	96
Додаток А	
Додаток Б	

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

ЕК – еліптичні криві;

ЕОМ – електронно-обчислювальні мережі;

КМ – комп'ютерна мережа;

КС – комп'ютерна система;

ПКД – пам'ять колективного доступу;

РКС – розподілені комп'ютерні системи;

СП – системне програмування;

СС – системний сервер;

ШПС – шумоподібний сигнал;

## ВСТУП

Основним призначенням комп'ютерної мережі є надання великій кількості користувачів одночасного доступу до її обчислювальних ресурсів. Виходячи з цього, комп'ютерна мережа являє собою систему розподілу обробки інформації, яка складається з комп'ютерів, котрі взаємодіють між собою за допомогою пристроїв зв'язку. Комп'ютери, які входять у склад мережі, виконують достатньо широке коло функцій, основними серед яких є організація доступу до мережі, управління передачею інформації, представлення обчислювальних ресурсів і послуг абонентам мережі.

Мережа - це сукупність об'єктів, що утворюються пристроями передавання і обробки даних. Міжнародна організація по стандартизації визначила обчислювальну мережу як послідовну біт-орієнтовану передачу інформації між пов'язаними один з одним незалежними пристроями.

Розподілені комп'ютерні мережі розташовані в різних будівлях, містах і країнах, які бувають територіальними, змішаними і глобальними. Залежно від цього глобальні мережі бувають чотирьох основних видів: міські, регіональні, національні і транснаціональні. Як приклади розподілених мереж дуже великого масштабу можна назвати: Internet, EUNET, Relcom, FIDO.

Сьогодні світ перебуває у стадії переходу до постіндустріальної фази свого розвитку – інформаційного суспільства, основою якого стане глобальна інформаційна інфраструктура. При цьому спостерігається стрімкий розвиток інформаційних технологій. [1-4].

Значну роль у вирішенні даної проблеми посідає досвід розробки та застосування розподілених комп'ютерних мереж [5-8]. Розподілені комп'ютерні системи передбачають формування та обробку інтенсивних потоків інформаційних даних в реальному масштабі часу.

Аналіз світових тенденцій розвитку розподілених комп'ютерних систем показує, що їх системні функції все більше охоплюють не тільки задачі формування та управління потоками даних, але і задачі штучного інтелекту,

прийняття рішень, створення баз знань та ін. Тому розподілені комп'ютерні системи класифікуються як розподілені комп'ютеризовані системи (РКС) [1]. Інтенсивний розвиток комп'ютерної техніки, засобів програмування та телекомунікаційних систем [13-16] дозволяє в даний час максимально автоматизувати процеси формування, перетворення, передавання, цифрової обробки, архівізації та використання даних в РКС. Зростання об'ємів потоків інформаційних даних на сучасних виробництвах не зменшує актуальність класичних задач оптимізації методів формування даних шляхом ефективного кодування, зменшення їх надлишковості, захисту від помилок та несанкціонованого доступу [17-19].

Важливим питанням ефективного використання ресурсів комп'ютерних мереж є оптимізація вибору їх архітектури з метою адаптації до джерел інформації, трафіків передавання даних, інтерфейсів, протоколів та ін., що складає предмет дослідження дипломної роботи.



## 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

### 1.1. Історія виникнення комп'ютерних мереж

Комп'ютерною мережею називається сукупність комп'ютерів, які з'єднані між собою каналами зв'язку, що дозволяє створити єдину систему, яка повністю задовольняє вимоги щодо розподіленої обробки інформації [1]. Таким чином, головне призначення комп'ютерних мереж - це спільна обробка даних, в якій беруть участь всі компоненти системи, незалежно від їх фізичного розташування. Забезпечити злагоджену роботу допоможе правильний монтаж КС.

Комп'ютерна мережа - це система зв'язку комп'ютерів та комп'ютерного обладнання. Для передачі даних можуть бути використані електричні сигнали, світлові сигнали або електромагнітне випромінювання [2].

Створення мереж передавання даних та розподіленого їх опрацювання було результатом науково-технічної революції та розвитку мікроелектроніки. Ще в 50-х роках 20ст., коли з'явилися потужні ЕОМ, виникла потреба сполучати їх з одним або багатьма терміналами для ефективнішого використання їхніх ресурсів. Було створено системи з розподілом часу роботи центрального процесора, де кожному терміналу по черзі виділявся квант часу. Така структура системи телеопрацювання даних показана на рис. 1.1

Рис. 1.1. Початкова структура системи телеопрацювання даних.

Канали зв'язку в такій системі були досить дорогими і використовувалися терміналами неефективно. Тому згодом були розроблені спеціальні пристрої, які збирали трафік(інформаційні потоки) з розташованих поблизу терміналів для спрямування його до центрального процесора.

Елементом такої системи також був фронтальний процесор, який виконував функції організації зв'язку(рис.1.2).

Рис. 1.2. Структура системи телеопрацювання з фронтальним процесором.

Унаслідок еволюції мережа поступово набула сучасного вигляду (рис. 1.3). Тепер вона має не один, а багато центральних процесорів, терміналів та мережу зв'язку, яка складається з вузлів. Кожен вузол мережі – це спеціалізована на виконанні комунікаційних функцій ЕОМ (маршрутизатор). Для передавання даних між вузлами використовують призначені канали наявної телефонної мережі. Замість терміналів щораз частіше використовують персональні комп'ютери.

Рис. 1.3. Структура сучасних глобальних мереж.

Причиною інтенсивного розвитку інформаційних технологій є зростаюча потреба у швидкій і якісній обробці інформації, потоки якої з розвитком суспільства ростуть.

Комп'ютери міцно увійшли в сучасний світ, в усі сфери діяльності та науки, створюючи необхідність в забезпеченні їх різноманітним програмним забезпеченням. Звичайно, в першу чергу це пов'язано з розвитком електронної обчислювальної техніки і з її швидким вдосконаленням та впровадженням в різні сфери людської діяльності.

Об'єднання комп'ютерів у мережі дозволило значно підвищити продуктивність праці. Комп'ютери використовуються як для виробничих потреб, так і для навчання.

Крім усього іншого, в деяких сферах діяльності просто неможливо обійтися без комп'ютерних мереж. До таких сфер належать: банківська справа,

складські операції великих компаній, електронні архіви бібліотек та ін У цих сферах кожна окремо взята робоча станція в принципі не може зберігати всієї інформації (в основному, через великий її об'єм). Мережа дозволяє обраним (зареєстрованим на файл-сервері) користувачам отримувати доступ до тієї інформації, до якої їх допускає оператор мережі.

## 1.2.Класифікація комп'ютерних мереж.

Для класифікації комп'ютерних мереж використовуються різні ознаки, вибір яких полягає в тому, щоб виділити з існуючого різноманіття такі, які дозволили б забезпечити даній класифікаційній схемі такі обов'язкові якості:

- можливість класифікації всіх, як існуючих, так і перспективних КМ;
- диференціацію істотно різних мереж;
- однозначність класифікації будь-якої комп'ютерної мережі;
- наочність, простоту й практичну доцільність класифікаційної схеми.

Певна невідповідність цих вимог робить завдання вибору раціональної схеми класифікації КМ досить складною, такою, котра не знайшла до цього часу однозначного рішення. В основному КМ класифікують за такими групами ознак (рис 1.4) [3]:

Рис. 1.4. Класифікаційні ознаки комп'ютерних мереж.


Класифікація комп'ютерних мереж за призначенням (рис.1.5):

- обчислювальні комп'ютерні мережі - вирішують завдання всіх користувачів, з питань обміну даних між абонентами;
- інформаційні мережі - надають інформаційні послуги користувачам;
- змішані мережі - поєднують в собі обидві функції;
- розподілені комп'ютерні системи – автоматично розподіляють роботу по різних машинах, заставляючи набір мережевих машин працювати як віртуальний процесор;

- спеціалізовані комп'ютерні системи – комп'ютерні системи для вирішення вузьких класів задач.

Рис. 1.5. Класифікаційні комп'ютерних мереж за призначенням.

Розподілені КС (РКС) реалізуються на основі обчислювальних мереж та віддалених процесорів-сателітів, які обслуговуються та інформаційно взаємодіють з одним або багатьма системними серверами (СС). РКС можуть мати різні архітектури, які відображаються узагальнено моделлю на рис.1.6.

Рис.1.6. Узагальнена архітектура РКС (РОУ – розподілений об'єкт управління,  – ознака багаточисельності).

Розподілені КС реального часу можуть належати двом класам:

- універсальні РКС;
- спеціалізовані РКС або спеціалізовані КС (СКС).

Спеціалізовані КС також можуть бути реалізовані на основі різних архітектур та топологій. Глобальна модель таких систем показана на рис.1.7.

Рис.1.7. Глобальна модель СКС.

З рис.1.7 видно, що в інформаційну структуру РКС та СКС, крім процесорів, даних, системи передавання даних та операторів, обов'язково входить віддалений розподілений об'єкт управління.

За способом організації мережі поділяються на:

- реальні - дозволяють зв'язувати комп'ютери за допомогою спеціальних пристроїв комутації і фізичного середовища передачі даних;

- штучні - (псевдомережі) дозволяють зв'язувати комп'ютери разом через виту пару, а раніше використовувалися послідовні або паралельні порти, і не потребують додаткових пристроїв. Штучні мережі використовуються коли необхідно передати інформацію з одного комп'ютера на інший.

За територіальної поширеності мережі можуть бути:

- локальні (LocalAreaNetworks– LAN) - це мережі, розташовані в межах однієї будівлі;
- регіональні (MetropolitanAreaNetworks– MA) - розташовані на території міста або області;
- глобальні (WideAreaNetworks– WAN) на території держави або групи держав, наприклад, всесвітня мережа Internet.

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.

Локальні мережі 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. Глобальні мережі є відкритими і орієнтовані на обслуговування будь-яких користувачів [4].

Відмінними ознаками локальної мережі є наступні:

- висока швидкість передачі, більша пропускну здатність;
- низький рівень помилок передачі (або високоякісні канали зв'язку);
- ефективний, швидкодіючий механізм керування обміном;
- обмежена, точно визначене число комп'ютерів, які підключаються до мережі.

Глобальні мережі відрізняються від локальних тим, що розраховані на необмежене число абонентів і використовують, як правило, не надто якісні канали зв'язку і порівняно низьку швидкість передачі, а механізм керування обміном, у них в принципі не може бути гарантовано швидким. У глобальних мережах набагато важливіше не якість зв'язку, а сам факт його існування.

Однак, зараз вже не можна провести чітку і однозначну межу між локальними та глобальними мережами, більшість локальних мереж мають вихід в глобальну мережу.

За швидкістю передачі інформації комп'ютерні мережі поділяються на:

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

За типом середовища передачі мережі поділяються на:

- дротові – коаксіальні, на кручений парі, оптоволоконні;
- бездротові – з передачею інформації по радіоканалах, в інфрачервоному діапазоні.

За способом організації взаємодії комп'ютерів мережі поділяють на:

- однорангові - це об'єднання рівноправних комп'ютерів, кожен з яких може функціонувати, як в ролі сервера, так і в ролі клієнта. Будь-який користувач мережі може отримати доступ до даних, що зберігаються на будь-якому комп'ютері.

Перевагами однорангових мереж є:

- найбільш прості в установці і експлуатації.
- поширені операційні системи володіють усіма необхідними функціями, що дозволяють будувати однорангову мережу.

Недоліком таких мереж є те, що в умовах тимчасових мереж ускладнене вирішення питань захисту інформації. Тому такий спосіб організації мережі використовується для мереж з невеликою кількістю комп'ютерів (не більше 10) і там, де питання захисту даних не є принциповим.

- ієрархічні мережі - при установці мережі заздалегідь виділяються один або кілька комп'ютерів, які керують обміном даних по мережі і розподілом ресурсів. Такий комп'ютер називають сервером.

Будь-який комп'ютер, що має доступ до послуг сервера називають клієнтом мережі або робочою станцією.

Сервер в ієрархічних мережах - це постійне сховище поділюваних ресурсів. Сам сервер може бути клієнтом тільки сервера вищого рівня ієрархії. Тому ієрархічні мережі іноді називаються мережами з виділеним сервером.

Сервери зазвичай являють собою високопродуктивні комп'ютери, можливо, з кількома паралельно працюючими процесорами, з вінчестерами великої місткості, з високошвидкісною мережевою картою (100 Мбіт / с і більше).

Ієрархічна модель мережі дозволяє створити найбільш стійку структуру мережі і більш раціонально розподілити ресурси. Також перевагою ієрархічної мережі є більш високий рівень захисту даних.

До недоліків ієрархічної мережі, в порівнянні з однорангових мережами, відносяться:

- необхідність додаткової ОС для сервера.
- більш висока складність установки і модернізації мережі.
- необхідність виділення окремого комп'ютера в якості сервера.

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

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

У системах з архітектурою клієнт-сервер обмін даними здійснюється між додатком-клієнтом і додатком-сервером. Зберігання даних і їх обробка проводиться на потужному сервері, який виконує також контроль за доступом до ресурсів і даних. Робоча станція одержує тільки результати запиту. Розробники додатків по обробці інформації зазвичай використовують цю технологію.

Наступною не менш поширеною класифікацією є класифікація КМ по типу топології.

### 1.3. Топологія комп'ютерних мереж

Під топологією комп'ютерної мережі звичайно розуміється фізичне розташування комп'ютерів мережі один щодо іншого та спосіб їх з'єднання лініями зв'язку. Важливо відзначити, що поняття топології ставиться, насамперед, до локальних мереж, у яких структуру зв'язків можна легко простежити. У глобальних мережах структура зв'язків звичайно схована від користувачів і не надто важлива, тому що кожний сеанс зв'язку може виконуватися по своєму власному шляху [5].

Мережева топологія може бути:

- фізичною - визначає топологію фізичних з'єднань між комп'ютерами (описує реальне розташування і зв'язки між вузлами мережі).
- логічною - визначає логічну організацію взаємодії комп'ютерів між собою (описує проходження сигналу в рамках фізичної топології). Доповнюючи одна одну, фізична та логічна структури дають найповніше уявлення про комп'ютерну мережу.
- інформаційною - описує напрям направлення потоків інформації, що передаються по мережі.
- управління обміном - це принцип передачі права на захоплення ефіру мережі.

Топологія мережі спричиняється її характеристиками. Зокрема, вибір тієї або іншої топології впливає на:

- склад необхідного мережного устаткування;
- характеристики мережного устаткування;
- можливості розширення мережі;
- спосіб керування мережею.

Базові топології – це три топології, що мають суттєві відмінності між собою. Всі мережі будуються на основі трьох базових топологій:

- шина (bus);
- зірка (star);



- [кільце](#) (ring).

### 1.3.1. Топологія «шина»

Шина (bus) (рис. 1.8): – топологія при якій всі комп'ютери під'єднуються до одного кабеля. Кабель називається магістраллю або загальною шиною. Ця топологія є найбільш поширеною і простою у використанні. При передачі даних електричний сигнал від комп'ютера передавача поширюється у кабелі одночасно до всіх решта комп'ютерів [6].

Дані приймає тільки той комп'ютер, адреса якого співпадає з адресою вказаного у повідомленні. Сигнал також надходить до країв кабеля і відбивається. Відбитий сигнал накладається на корисний і створює його, що призводить до помилок передачі і мережа стає нероботоздатною. Для того, щоб відбивання хвиль не було на кінцях кабеля встановлюються термінатори. Термінатори – електричний опір, який поглинає відбиті електричні сигнали.

Рис. 1.8. Топологія шина.

Переваги та недоліки топології шини наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Переваги та недоліки топології шини.

Переваги	Недоліки
1) Відмова будь-якої з робочих станцій не впливає на роботу всієї мережі.	1) При розриві кабеля, або відсутності термінатора, мережа перестає функціонувати;
2) Простота у використанні і дешевизна;	2) Обмежена довжина кабелю і кількість робочих станцій.
4) Необхідно невелика кількість кабелю.	3) Важко виявити дефекти з'єднань.
5) Прокладка кабелю не викликає	4) Низька пропускну здатність, пропускну здатність каналу зв'язку

особливих складнощів.	завжди поділяється тут між усіма станціями мережі; 5) При великому обсязі переданих даних головний кабель може не справлятися з потоком інформації, що призводить до затримок; 6) Не підсилює сигнал при передачі.
-----------------------	--

### 1.3.2. Топологія «зірка»

Зірка (star): – топологія при якій всі комп'ютери за допомогою кабелів під'єднуються до центрального компонента-концентратора (hub) (рис. 1.9). У функції концентратора входить направлення інформації, що передається якимось комп'ютером, одному чи усім іншим комп'ютерам мережі [7].

У інтелектуальних концентраторах може відбуватися адресація, тобто сигнал від концентратора буде передаватися тільки вказаному комп'ютеру.

Рис. 1.9. Топологія зірка.

Переваги та недоліки топології шини наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Переваги та недоліки топології зірка.

Переваги	Недоліки
1) вихід з ладу одного комп'ютера чи обриві кабеля, не впливають на роботу решти.	1) вища вартість мережевого устаткування через необхідність придбання концентратора.
2) велика надійність.	2) можливості по нарощуванню кількості вузлів в мережі обмежуються кількістю портів концентратора.
3) лише несправність концентратора може вивести з ладу всю мережу.	3) великий розхід кабелю.
4) концентратор може грати роль інтелектуального фільтру інформації і при необхідності блокувати	4) потреба додаткового

заборонені адміністратором передачі.	концентратора; 5)при виході з ладу концентратора припиняється робота всієї мережі.
--------------------------------------	---

### 1.3.3. Топологія «кільце»

Кільце (ring): – топологія при якій всі комп'ютери під'єднуються до кабеля, який замкнутий у кільце(рис. 1.10).

Тут сигнали передаються послідовно від одного комп'ютера до наступного, як правило, в одному напрямку, одночасно при цьому підсилюється [6].

Для організації передачі використовується маркер.

Маркер (token) –це особливий пакет, що передається по кільцю і надає комп'ютеру на якийвін прийшов, можливість передавати дані.

Це мережева топологія, в якій кожна станція має точно два зв'язки з іншими станціями. Якщо комп'ютер розпізнає дані як “свої”, то він копіює їх у свій внутрішній буфер. Оскільки у випадку виходу з ладу мережевого адаптера будь-якої станції переривається канал зв'язку між іншими станціями мережі, даний вид топології використовується в якості логічної топології.

Рис. 1.10. Кільцева топологія.

Переваги та недоліки топології шини наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Переваги та недоліки кільцевої топології.

Переваги	Недоліки
1) Підключення нових робочих станцій не викликає особливих труднощів.	1) Відмова концентратора призводить до відключення від мережі всіх робочих станцій, підключених до неї

Продовження таблиці 1.3

Переваги	Недоліки
<p>2) надійна організація передачі даних, можливість збільшення загальної довжини кабеля.</p> <p>3) Можливість моніторингу мережі та централізованого управління мережею.</p> <p>4) При використанні централізованого управління мережею локалізація дефектів з'єднань максимально спрощується.</p> <p>5) Гарна розширюваність і модернізація.</p> <p>6) підсилення сигналу.</p>	<p>2) Досить висока вартість реалізації, тому що потрібна велика кількість кабелю.</p> <p>3) при виході з ладу комп'ютера чи обриві кабеля мережа перестає працювати.</p>

Будь-яку з цих топологій рідко можна зустріти на практиці в чистому вигляді. Як правило, сучасні мережі є складним поєднанням базових топологій та їх видозмін.

Пропускна здатність мережі визначається обчислювальною потужністю вузла і гарантується для кожної робочої станції. Колізій (зіткнень) даних не виникає.

Кабельне з'єднання зв'язане з всіма пристроями, тому що кожна робоча станція зв'язана з вузлом. Витрати на прокладку кабелів високі, особливо коли центральний вузол географічно розташований не в центрі топології.

При розширенні обчислювальних мереж не можуть бути використані раніше виконані кабельні зв'язки: до нового робочого місця необхідно прокласти окремий кабель з центра мережі.

Топологія у виді зірки є найбільш швидкодіючою з усіх топологій обчислювальних мереж, оскільки передача даних між робочими станціями проходить через центральний вузол (при його гарній продуктивності) по

окремих лініях, використовуваним тільки цими робітниками станціями. Частота запитів передачі інформації від однієї станції до іншої невисока в порівнянні з іншими топологіями.

Продуктивність обчислювальної мережі в першу чергу залежить від потужності центрального файлового сервера. Він може бути вузьким місцем обчислювальної мережі. У випадку виходу з ладу центрального вузла порушується робота всієї мережі.

Центральний вузол керування – файловий сервер може реалізувати оптимальний механізм захисту проти несанкціонованого доступу до інформації. Вся обчислювальна мережа може керуватися з її центра.

#### 1.3.4. Комбіновані топології

У той час як невеликі мережі, як правило, мають типову топологію – зірка, кільце або загальна шина, для великих мереж характерним є існування довільних зв'язків між комп'ютерами [8]. У таких мережах можна виділити окремі довільно пов'язані фрагменти (підмережі), що мають типову топологію, тому їх називають мережами зі з комбінованою топологією. Можна виділити наступні види:

- змішана (гібридна) топологія.

Це поєднання двох або більшої кількості мережевих топологій (рис. 1.11). Можна навести приклади, коли дві об'єднані основні мережеві топології не змінюють характеру топології мережі і тому не створюють гібридної мережі. Наприклад, сполучення мереж із топологією дерева дає мережу з такою ж топологією. Тому гібридна топологія мережі виникає тільки тоді, коли сполучені дві мережі з основними топологіями дають у результаті мережу, топологія якої не відповідає жодному з означень основних топологій. Наприклад, дві мережі із зірковою топологією при об'єднанні утворюють мережу з гібридною топологією. Гібридна топологія мережі виникає також при сполученні мереж із різними видами топологій.

### Рис. 1.11. Змішана (гібридна) топологія.

- топологія дерева.

Ця мережева топологія з чисто топологічної точки зору схожа на зіркову, в якій окремі периферійні мережеві пристрої можуть передавати до або приймати від тільки одного іншого мережевого пристрою в напрямку до центрального мережевого пристрою (рис. 1.12). Як і в класичній зірковій топології, окремі мережеві пристрої можуть бути ізольовані від мережі внаслідок ліквідації одного зв'язку (гілки), наприклад, внаслідок аварії на лінії. У мережі з топологією дерева існує один виділений мережевий пристрій, який є коренем дерева.

### Рис. 1.12. Топологія дерева.

- топологія сітки.

Даний вид топології дістають із топології повного з'єднання шляхом видалення деяких можливих зв'язків (рис. 1.13.) Це мережева топологія, в якій існують щонайменше два комп'ютери з двома або більше шляхами між ними.

### Рис. 1.13. Топологія сітки.

- топологія подвійного кільця.

Мережами з такою конфігурацією є мережі FDDI. Вони відрізняються вбудованою надлишковістю, яка забезпечує захист від системних відмов: основне кільце служить для передавання даних, а допоміжне кільце – для передавання управляючих сигналів (рис. 1.14). Існує можливість передавання даних по обох кільцях у протилежних напрямках у випадку відсутності обривів кабелю. Якщо ж трапляється обрив кабелю або одна зі станцій виходить із ладу

основне кільце об'єднується з допоміжним, знову утворюючи єдине кільце. Цей режим роботи мережі називається завертанням кілець.

Рис. 1.14. Топологія подвійного кільця.

- лінійна (ланцюгова) топологія

Це топологія, у якій кожний комп'ютер з'єднаний із попереднім та наступним відносно себе. Виникає з кільцевої при видаленні однієї гілки. Часом трактується як ідентично до шини.

#### 1.4.Адресація в комп'ютерних мережах

При об'єднанні в мережу трьох і більш вузлів виникає проблема ідентифікації конкретного вузла, якому призначені дані, що пересилаються. Інакше кажучи, виникає проблема адресації вузлів комп'ютерної мережі.

Адресація є однією з ключових функцій протоколів мережевого рівня, які забезпечують обмін даними між хостами в тій же мережі або в різних мережах [9].

Термін “хост” (від англ. host) використовують як синонім терміна “вузол мережі”, зазвичай говорячи про мережі, об'єднані на основі використання стека TCP/IP.

Проектування і впровадження ефективного плану адресного простору гарантує, що мережі будуть працювати ефективно і раціонально.

На практиці адресація проводиться не для самих вузлів мережі, а для їхніх мережевих інтерфейсів, тобто наборів засобів і правил, які дозволяють здійснювати обмін інформацією. Це пояснюється тим, що один вузол мережі може мати кілька мережевих інтерфейсів, наприклад, у мережі, яка має фізичну

топологію “кільце”, кожному вузлу необхідно мінімум два мережеві інтерфейси, що зв’язують його з його сусідами.

Існує безліч систем адресації і, відповідно, безліч форматів представлення адрес [10].

До адреси вузла мережі і схеми його призначення можна пред’явити декілька вимог:

- адреса повинна унікально ідентифікувати комп’ютер в мережі будь-якого масштабу;
- схема призначення адрес повинна зводити до мінімуму ручну працю адміністратора і ймовірність дублювання адрес;
- адреси повинні мати ієрархічну структуру, зручну для побудови великих мереж. Цю проблему добре ілюструють міжнародні поштові адреси, які дозволяють поштовій службі, що організує доставку листів між країнами, користуватися тільки назвою країни адресата і не враховувати назву міста, а тим більше вулиці. У великих мережах, які складаються з багатьох тисяч вузлів, відсутність ієрархії адреси може привести до великих витрат - кінцевим вузлам і комунікаційному обладнанню доведеться оперувати з таблицями адрес, що складаються з тисяч записів;
- адреса повинна бути зручною для користувачів мережі, а це значить, що вона повинна мати символічне подання, наприклад Servers або [www.microsoft.com](http://www.microsoft.com);
- адреса повинна мати при можливості компактне подання, щоб не перевантажувати пам’ять комунікаційної апаратури - мережевих адаптерів, маршрутизаторів тощо.

Неважко помітити, що ці вимоги суперечливі. Наприклад, адреса, яка має ієрархічну структуру, швидше за все буде менш компактною, ніж неієрархічна (таку адресу часто називають “плоскою”, тобто вона не має структури). Символьна ж адреса швидше за все буде займати більше пам’яті, ніж числова адреса.



Оскільки всі перераховані вимоги важко поєднати в рамках якої-небудь однієї схеми адресації, то на практиці зазвичай використовується одразу декілька схем, тому комп'ютер одночасно має декілька адрес-імен. Кожна адреса використовується в тій ситуації, коли відповідний вид адресації найбільш зручний. А щоб не виникало плутанини і комп'ютер завжди однозначно визначався своєю адресою, використовуються спеціальні допоміжні протоколи, які за адресою одного типу можуть визначити адреси інших типів.

Найбільше поширення отримали три схеми адресації вузлів [11]:

1. Апаратні (hardware) адреси. Ці адреси призначені для мережі невеликого або середнього розміру, тому вони не мають ієрархічної структури. Типовим представником адреси такого типу є адреса мережевого адаптера локальної мережі (MAC-адреса). Така адреса зазвичай використовується тільки апаратурою, тому її намагаються зробити за можливістю компактною і записують у вигляді двійкового або шістнадцяткового значення, наприклад, 00-11-D8-5E-E6-59. При заданні апаратних адрес зазвичай не потребується виконання ручної роботи, тому що вони вбудовуються в апаратуру компанією-виробником, але за потребою мережевий адміністратор їх може змінювати. Крім відсутності ієрархії, використання апаратних адрес пов'язано ще з одним недоліком - при заміні апаратури, наприклад, мережевого адаптера, змінюється і адреса комп'ютера. Більш того, при встановленні декількох мережевих адаптерів у комп'ютера з'являється кілька адрес, що не дуже зручно для користувачів мережі.

2. Символьні адреси або імена. Ці адреси призначені для запам'ятовування людьми і тому зазвичай несуть смислове навантаження. Символьні адреси легко використовувати як в невеликих, так і великих мережах. Для роботи у великих мережах символічне ім'я може мати складну ієрархічну структуру, наприклад ftp-arch1.ucl.ac.uk. Ця адреса говорить про те, що цей комп'ютер підтримує ftp-архів в мережі одного з коледжів Лондонського університету (University College London - ucl) і ця мережа належить до академічної галузі (ac) Internet Великобританії (United Kingdom -

uk). При роботі в межах мережі Лондонського університету таке довге символічне ім'я явно надмірне і замість нього зручніше користуватися коротким символічним ім'ям, на роль якого добре підходить наймолодша складова повного імені, тобто ім'я ftp-arch1.

3. Числові складені адреси. Символьні імена зручні для людей, але через змінний формат і потенційно велику довжину їх передача по мережі не дуже економічна. Тому в багатьох випадках для роботи у великих мережах як адреси вузлів використовують числові складені адреси фіксованого і компактного форматів. Типовими представниками адрес цього типу є IP- та IPX-адреси. У них підтримується дворівнева ієрархія, адреса поділяється на старшу частину - номер мережі і молодшу - номер вузла. Такий розподіл дозволяє передавати повідомлення між мережами тільки на підставі номера мережі, а номер вузла використовується тільки після доставки повідомлення в потрібну мережу; так само, як назва вулиці використовується листоношею тільки після того, як лист доставлено в потрібне місто. Останнім часом, щоб зробити маршрутизацію у великих мережах ефективнішою, пропонуються більш складні варіанти числової адресації, відповідно до яких адреса має три і більше складових. Такий підхід, зокрема, реалізований у новій версії протоколу IPv6, призначеного для роботи в мережі Internet.

У сучасних мережах для адресації вузлів застосовуються, як правило, одночасно всі три наведені вище схеми. Користувачі адресують комп'ютери символічними іменами, які автоматично замінюються у повідомленнях, що передаються по мережі, на числові адреси. За допомогою цих числових адрес повідомлення передаються з однієї мережі в іншу, а після доставки повідомлення в мережу призначення замість числової адреси використовується апаратна адреса комп'ютера. Сьогодні така схема характерна навіть для невеликих автономних мереж, де, здавалося б, вона явно надлишкова - це робиться для того, щоб при включенні цієї мережі у велику мережу не потрібно було змінювати склад операційної системи.

У сучасних операційних системах найчастіше використовується набір протоколів TCP/IP.

### 1.5. Передавальні середовища комп'ютерних мереж

У будь-якій комп'ютерній мережі передавання даних здійснюється за допомогою електричних (електромагнітних) сигналів [12]. Можна виділити два основні середовища передачі даних:

- обмежене - дротове (за участю кабелів);
- необмежене - бездротове (без участі кабелів).

Кожне середовище має свої переваги та недоліки. Одним з основних показників є швидкість затухання сигналу, яка визначається фізичними характеристиками середовища та природою сигналу. Вибираючи середовище передавання, бувають до уваги також інші показники: вартість (придбання, монтажу та обслуговування), пропускну здатність, безпеку передавання інформації тощо.

Необмежене середовище забезпечує передавання та прийом електромагнітних сигналів без пристрою (каналу), який би містив цей сигнал у собі. Прикладами комунікаційних систем, що використовують необмежене середовище, є мікрохвильовий, лазерний, інфрачервоний та радіозв'язок [13].

Мікрохвильові комунікації реалізуються в двох варіантах – наземному та супутниковому. Звичайно, такі комунікації використовують для передавання на великі відстані багатьох телефонних каналів, даних, каналів телебачення для віддалених районів тощо. Супутникові комунікації використовують мікрохвильові промені від та до супутника, що знаходиться на геостаціонарній орбіті Землі. Такий зв'язок дає змогу об'єднувати спільним комунікаційним середовищем країни та континенти.

Наземна мікрохвильова передача використовується для налагодження зв'язку між окремими будівлями в межах локальної або кампусної мережі, якщо прокладання витої пари або коаксіального кабелю пов'язане з труднощами та

високою вартістю робіт. Мікрохвильовий спосіб зв'язку підтримує високі швидкості передавання, однак більш залежний від зовнішніх впливів (дощ, туман, сильна хмарність), що особливо характерно для великих відстаней.

Лазерні комунікації використовують промінь світла (звичайно, інфрачервоного), що модулюється імпульсами для передавання даних. Прийнятий промінь, в свою чергу, перетворюється в послідовність біт. Найчастіше використовують два паралельні промені, що дає змогу виконувати передавання сигналів в обох напрямках. Лазерні комунікації дають змогу досягнути найвищих швидкостей передавання даних, однак обмежені відстанями та необхідністю прямої видимості.

Інфрачервоні комунікації найчастіше використовуються у приміщеннях. Прикладом інфрачервоних комунікацій є різноманітні пульти дистанційного управління. Інфрачервоні системи зв'язку дешеві, однак малий радіус дії є перешкодою їх широкого використання [14].

Радіозв'язком звично називають електромагнітні хвилі в частотному діапазоні від 3 до 300 МГц. Цей діапазон поділяють на короткі та ультракороткі хвилі. Радіохвилі поширюються у всіх напрямках від передавальної антени. Прикладом радіозв'язку є поширення радіопередач, телебачення, службові системи зв'язку з мобільними абонентами. Недоліком такого виду зв'язку є малі швидкості передавання, вплив перешкод (рельєф місцевості, будівлі тощо), вузька смуга передавання.

Обмежене середовище – це провід (кабель), який проводить електричний або світловий сигнал. Щоб комп'ютери могли обмінюватися кодованою інформацією, середовище повинно забезпечити їхнє фізичне з'єднання один з одним.

Найчастіше в комп'ютерних мережах застосовуються кабельні з'єднання, які виступають як середовище передачі електричних або оптичних сигналів між комп'ютерами та іншими мережевими пристроями. При цьому використовуються наступні типи кабелю:

- коаксіальний кабель;

- неекранована вита пара;
- екранована вита пара;
- оптоволоконний кабель.

Основні проблеми, характерні для всіх дротових мереж - їхня низька мобільність, досить великі капіталовкладення у кабельну інфраструктуру і відносно мала дальність передачі сигналу. Бездротових мереж це стосується меншою мірою, тому вони все частіше входять у наше життя. Для бездротової передачі даних використовують декілька способів:

- технологію радіозв'язку;
- передачу у мікрохвильовому діапазоні;
- інфрачервоне випромінювання;
- світлове випромінювання у видимому діапазоні (лазерна технологія).

Кабельні з'єднання застосовуються у високошвидкісній передачі даних на обмежених відстанях. При побудові мобільних мереж, великих корпоративних мереж або глобальних мереж застосовується комбінація кабельних та бездротових з'єднань [15].

Коаксіальний кабель (coaxial cable). Коаксіальний кабель складається із зовнішнього циліндричного пустотілого провідника, що оточує один внутрішній дріт (рис.1.15).

Рис. 1.15. Структура коаксіального кабелю.

Коаксіальний кабель складається із двох провідних елементів. Один з них - мідний дріт, який перебуває в центрі кабелю й оточений шаром гнучкої ізоляції. Поверх ізоляційного матеріалу розташований екран з тонких переплетених мідних дротів або з металевої фольги, який в електричному колі відіграє роль другого дроту. Зовнішнє оплетення слугує для екранування центрального дроту від впливу перешкод. Зовні екран покритий оболонкою.

Для локальних мереж застосування коаксіального кабелю надає декілька переваг:

- коаксіальний кабель може використовуватися без посилення сигналу на більших відстанях, ніж екранована або неекранована вита пара. Це означає, що сигнал може проходити довші відстані між мережевими вузлами без повторювача для посилення сигналу;

- коаксіальний кабель дешевше за оптоволоконний.

Нарешті, протягом довгого часу коаксіальний кабель використовувався у всіх типах обміну даними, що дозволило добре вивчити дану технологію.

Неекранована вита пара (unshielded twisted-pair - UTP). Кабель на основі неекранованої вити пари використовується в багатьох мережах і являє собою чотири пари скручених між собою дротів, при цьому кожна пара ізольована від інших (рис. 1.16).

Рис. 1.16. Неекранована вита пара.

Використання кабелю UTP простіше у монтажі та дешевше за інші типи середовища передачі даних. Фактично питома вартість UTP на одиницю довжини менше, ніж у будь-якого іншого типу кабелів, що використовуються в локальних мережах [16]. Однак реальною перевагою вити пари залишається її розмір. Оскільки цей тип кабелю має невеликий зовнішній діаметр, він буде не так швидко заповнювати перетин коробів, як інші види. Цей фактор стає особливо важливим, коли мова йде про монтаж мережі в старих будинках. Крім того, на кінцях кабелю UTP, як правило, використовується спеціальний роз'єм - RJ-конектор (registered jack connector) (рис. 1.17).

Рис. 1.17. RJ –конектор.

Слід зазначити, що кабель UTP є більш схильним до впливу електричних шумів і перешкод, ніж інші типи носіїв. Раніше можна було говорити, що

кабель UTP поступається за швидкістю передачі даних іншим видам кабелів, але зараз, фактично, UTP є найшвидшим середовищем передачі даних на основі мідних провідників. Однак, у випадку використання кабелю UTP, відстань між підсилювачами сигналу менше, ніж при використанні коаксіального кабелю.

Залежно від характеристик кабелі на витій парі розділяються на п'ять категорій [17]:

- кабелі категорії 1 (UTP 1) застосовують там, де вимоги до швидкості передачі мінімальні. Зазвичай, це кабелі для передачі голосу й низькошвидкісної передачі даних. До 1983 р. кабель категорії 1 був основним кабелем для телефонного з'єднання в США;

- кабелі категорії 2 (UTP 2) розроблені фірмою IBM для застосування у власних кабельних системах. Головна їхня відмінність від кабелю категорії 1 - це смуга пропускання 1 МГц;

- кабелі категорії 3 (UTP 3) мають смугу пропускання 16 МГц. Такі типи кабелів використовувалися як для передачі даних, так і для передачі голосу, тому сьогодні кабельні системи багатьох будинків побудовані на кабелі третьої категорії;

- кабелі категорії 4 (UTP 4) являють собою покращений варіант кабелю категорії 3 - смуга пропускання 20 МГц, підвищена стійкість до перешкод і низькі втрати. На практиці застосовувався рідко, в основному там, де було необхідно збільшити довжину сегмента мережі;

- кабелі категорії 5 (UTP 5) спеціально розроблені для підтримки високошвидкісних технологій. Смуга пропускання кабелю категорії 5 - 100 МГц. Він сьогодні замінив кабель категорії 3, і всі нові технології локальних мереж орієнтуються саме на нього.

Особливе місце займають кабелі категорій 6 і 7, які мають смугу пропускання 200 і 600 МГц відповідно. Кабелі категорії 7 обов'язково екрануються; категорії 6 можуть бути як екранованими, так і ні. Вони використовуються у високошвидкісних мережах на відрізках більшої довжини за кабелі п'ятої категорії. Ці кабелі дорожчі за вартістю.

Екранована вита пара (shielded twisted-pair - STP). Кабель на основі екранованої вити пари (рис. 1.18) поєднує в собі методи екранування й скручування дротів. Призначений для використання в мережах передачі даних і правильно прокладений STP-кабель у порівнянні з UTP-кабелем має більшу стійкість до електромагнітних і радіочастотних перешкод без істотного збільшення ваги або розміру кабелю.

Рис. 1.18. Структура екранованої вити пари.

Кабель STP має всі переваги та недоліки кабелю UTP, але він краще захищає від усіх типів зовнішніх перешкод. Кабель на основі екранованої вити пари дорожче, ніж на основі неекранованої.

На відміну від коаксіального кабелю, у кабелі STP екран не є частиною ланцюга передачі даних. Тому у кабеля повинен бути заземлений тільки один кінець. Зазвичай його заземлюють у концентраторі або в комутаційній шафі. Неправильне заземлення кабелю може стати основною причиною проблем у мережі, оскільки в цьому випадку екран починає працювати як антена, яка приймає електричні сигнали від інших дротів у кабелі та від зовнішніх джерел електричних шумів. І, нарешті, довжина відрізків кабелю на основі екранованої вити пари без встановлення підсилювачів сигналів не може бути такою ж великою, як при використанні інших середовищ передачі даних.

Оптоволоконний кабель (fiber optic cable). Оптоволоконний кабель є середовищем передачі даних, яке здатне проводити модульований світловий сигнал. Існують два різні типи оптоволоконного кабелю: багатомодовий (multi-mode) або одномодовий (single-mode) [18]. Суть відмінності між цими двома типами зводиться до різних режимів проходження світлових променів у кабелі. В одномодовому кабелі практично всі промені проходять той самий шлях, у результаті чого вони досягають приймача одночасно, і форма сигналу майже не змінюється. Для одномодового кабелю застосовуються лазерні прийомопередавачі, що використовують світло виключно з необхідною



довжиною хвилі. У багатомодовому кабелі траєкторія світлових променів має помітний розкид, у результаті чого форма сигналу на прийомному кінці кабелю змінюється. Для передачі використовується звичайний (не лазерний) світлодіод, що знижує вартість і збільшує термін служби прийомопередавачів у порівнянні з одномодовим кабелем. Багатомодовий кабель - це основний тип оптоволоконного кабелю на теперішній час, тому що він дешевший і доступніший.

Оптоволоконний кабель несприйнятливий до електромагнітних перешкод і здатний забезпечувати більш високу швидкість передачі даних, ніж кабелі на основі виті пари і коаксіальний кабель. На відміну від інших середовищ передачі даних, що мають в основі мідні елементи, оптоволоконний кабель не проводить електричні сигнали. Замість цього в оптоволоконному кабелі відповідні до бітів сигнали замінюються світловими імпульсами.

Оптоволоконний кабель, що використовується в мережах передачі даних, складається із двох скловолокон, які поміщені в окремі оболонки (рис. 1.19). Якщо подивитися на кабель у поперечному розрізі, то можна побачити, що кожне скловолокно оточене шаром відбиваючого покриття, потім іде шар із пластмаси, що має назву кевлар (Kevlar), і далі йде зовнішня оболонка. Зовнішня оболонка зазвичай робиться із пластику й служить для захисту всього кабелю. Вона відповідає вимогам відповідних протипожежних і будівельних норм.

Рис. 1.19. Структура оптоволоконного кабелю.

Призначення кевлару полягає в тому, щоб дати кабелю додаткові пружні властивості й уберегти від механічного ушкодження тендітні, товщиною з людське волосся, скловолокна. Якщо потрібен монтаж кабелю під землею, то іноді, для додання додаткової твердості, у його конструкцію вводять дріт з нержавіючої сталі. Світлопровідними елементами оптоволоконного кабелю є центральна жила й світловідбиваюче покриття. Центральна жила - це, як

правило, дуже чисте скло з високим коефіцієнтом переломлення. Якщо центральну жилу оточити покриттям зі скла або пластмаси з низьким коефіцієнтом переломлення, то світло може як би захоплюватися центральною жилою кабелю. Цей процес називається повним внутрішнім відбиттям і дозволяє оптоволоконному волокну відігравати роль світловоду й проводити світло на величезні відстані, навіть при наявності вигинів.

Крім того, що оптоволоконний кабель стійкий до електромагнітних перешкод, він також не піддається впливу радіочастотних перешкод. Завдяки відсутності внутрішніх і зовнішніх шумів сигнал може проходити по оптоволоконному кабелю більшу відстань, ніж у будь-яких інших середовищах передачі даних. Оскільки електричні сигнали не використовуються, оптоволоконний кабель є ідеальним рішенням для з'єднання будинків, які мають різне електричне заземлення. Беручи до уваги, що довгі прольоти мідного кабелю між будинками можуть бути місцем влучення ударів блискавки, використання оптоволоконна в цій ситуації також є більш зручним.

Також, подібно кабелю UTP, оптоволоконний кабель має невеликий діаметр, він відносно плоский і схожий на шнур від лампи. Тому в один жолоб легко поміститься кілька оптоволоконних кабелів. Таким чином, цей носій є ідеальним рішенням для старих будинків з обмеженим простором.

Необхідно відзначити, що оптоволоконний кабель дорожче й складніше у монтажі за інші носії. Оскільки роз'єми для цього кабелю являють собою оптичні інтерфейси, то вони повинні бути ідеально пласко відполірованими й не мати подряпин. Таким чином, його монтаж може виявитися досить складним. Зазвичай, навіть досвідченому монтажникові для створення одного з'єднання потрібно кілька хвилин. Усе це може суттєво підвищити погодинну вартість роботи, і при створенні великих мереж вартість робіт може стати неприйнятно високою.

**Бездротові з'єднання.**

Технології радіозв'язку пересилають дані по радіочастотах і практично не мають обмежень за дальністю. Вони використовуються як в локальних

мережах, так і для мережевих з'єднань на великих відстанях. Оскільки радіосигнали легко перехопити, потрібен обов'язково захист даних кодуванням і/або шифруванням.

Передача даних у мікрохвильовому діапазоні використовує більш високі частоти і застосовується як на коротких відстанях (об'єднання локальних мереж в різних будівлях), так і в глобальних комунікаціях - за допомогою супутників і наземних супутникових антен [19]. Головне обмеження такого зв'язку: і передавач, і приймач мають бути в зоні прямої видимості один одного.

Технології, що використовують інфрачервоне (ІЧ) випромінювання, часто застосовуються для двосторонньої або широкомовної передачі на близьких відстанях. Інфрачервона передача зазвичай використовується в складських і офісних приміщеннях, частіше за все для взаємодії з портативними (мобільними) пристроями. Хоча швидкість інфрачервоних мереж і зручність їх використання дуже привабливі, виникають труднощі при передачі сигналів на відстань більше 30 метрів. До того ж, ІЧ-сигнали легко блокуються будь-якими предметами, а також схильні до перешкод з боку сильних джерел світла та тепла, які є практично в будь-якому приміщенні.

Для бездротових мереж також застосовують світлове випромінювання у видимому діапазоні (наприклад, за допомогою лазерів), хоча цей спосіб передачі використовується рідко. Проте цей спосіб з'єднання може бути зручний для зв'язку між висотними будівлями. Лазерна передача стійка до інтерференцій (перекриття сигналів), прослуховувань, але дуже залежить від атмосферних явищ і працює на коротких відстанях в умовах прямої видимості.

Багатожильні кабелі часто застосовуються для з'єднання як вузлів мережі, так і периферійних пристроїв (клавіатура, монітор, маніпулятор "мишка", принтер) із системним блоком комп'ютера. Різні проводи кабелю можуть використовуватись з різною метою. Наприклад, вісім проводів – для передавання даних, дев'ятий – для індикації активності всієї шини, ще два – для підтримки протоколів взаємодії вузла–відправника та вузла–приймача.

Передавання даних паралельними лініями збільшує пропускну здатність каналу, вивільняє його від передавання службової інформації тощо. Багатожильні кабелі використовуються в конфігураціях мереж з двоточковими з'єднаннями (топології зірки та кільця). Недоліками такого середовища передавання є висока вартість та складність підімкнення нових вузлів.

### 1.6. Технологія забезпечення гарантованої якості зв'язку (QoS)

QoS (англ. Quality of Service — якість обслуговування) — цим терміном в області комп'ютерних мереж називають ймовірність, що мережа зв'язку відповідає заданій угоді про трафік або ж у ряді випадків, неформальне позначення ймовірності того, що пакет пройде між двома точками мережі.

Механізми QoS описують засоби, необхідні для забезпечення потрібного рівня мережевого обслуговування певних користувачів, додатків або мережних потоків через протоколи транспортного рівня, такі як Frame Relay, АТМ, Ethernet або IP [20].

Зокрема, QoS передбачає вирішення наступних завдань:

- визначення пріоритетів і диференціювання трафіку;
- забезпечення інформаційних потоків необхідними мережевими ресурсами;
- підвищення надійності передачі;
- запобігання мережевим перевантажень;
- формування мережевого трафіку для згладжування і створення більш рівномірного потоку

#### Механізм роботи QoS

Для більшості випадків якість зв'язку визначається чотирма параметрами.

1. Смуга пропускання (Bandwidth), описує номінальну пропускну здатність середовища середі передачі інформації, визначає ширину каналу. Вимірюється в bit/s (bps), kbit/s (kbps), Mbit/s (Mbps).

2. Затримка при передачі пакету (Delay), вимірюється в мілі- секундах.

3. Коливання (тремтіння) затримки при передачі пакетів - джиттер (Jitter).

4. Втрата пакетів (Packet loss). Визначає кількість пакетів, втрачених згубити в мережі під час передачі.

Суть технології забезпечення гарантованої якості обслуговування полягає в тому, що користувач подає службі заявку на послуги необхідного йому якості, а служба виконує цю заявку або повідомляє користувачеві про неможливість її реалізації. Останній варіант розглядається як надзвичайна ситуація.

При QoS необхідна якість послуг досягається не шляхом надмірного збільшення пропускної здатності служби, а за рахунок наступних заходів:

- поділу всіх користувачів і їх заявок на кілька категорій з різними пріоритетами;
- запровадження системи управління навантаженням, передачею та комутацією пакетів.

Система управління є єдиною, тобто вона регулює і бізнес та послуги (служби) і мережі та елементи мереж. В даному аспекті вона забезпечує можливість оптимального розподілу смуги частот між заявками з урахуванням їх пріоритетів, управління потоками, скорочення черг в маршрутизаторах, зменшення числа пакетів з помилками і втрат пакетів, скорочення часу їх передачі та його флуктуацій (джитера).

Результат функціонування системи управління в системах QoS проявляється в тому, що користувачеві гарантується замовлене їм якість послуг, незалежно не тільки від його трафіку, а й від трафіків інших користувачів. Природно, що цей ефект у ряді випадків може супроводжуватися деяким зниженням якості послуг у користувачів, що володіють більш низьким пріоритетом.

Очевидно, що кількість користувачів, які володіють вищим пріоритетом, має бути відносно невелика в порівнянні із загальним числом користувачів, а високопріоритетні послуги повинні надаватися за підвищеними тарифами.

Відмінність служб за технологією QoS полягає в тому, що гарантовані послуги забезпечуються в рамках однієї служби.

Необхідно відзначити, що особливо гостро необхідність QoS виникає в

багатофункціональних мережах, за якими одночасно передаються повідомлення різних видів, а також в службах мультимедіа.

### 1.7.Мережні адаптери

Кожен комп'ютер, незалежно від того, підключений він до мережі чи ні, має унікальну фізичну адресу. Не існує двох однакових фізичних адрес. Фізична адреса (MAC-адреса - Media Access Control) зашита на платі мережевого адаптера (рис. 1.20).

Таким чином, у мережі саме плата мережевого адаптера підключає обладнання до середовища передачі даних. Кожна плата мережевого адаптера, який працює на канальному рівні еталонної моделі OSI, має свою унікальну MAC-адресу. У мережі, коли один пристрій прагне переслати дані іншому пристрою, він може встановити канал зв'язку із цим іншим пристроєм, скориставшись його MAC-адресою [20].

Рис. 1.20. Мережевий адаптер.

Дані, що пересилаються джерелом, мають MAC-адресу одержувача. У міру просування пакета по середовищу передачі даних мережеві адаптери кожного з пристроїв у мережі порівнюють MAC-адресу одержувача, яка знаходиться у пакеті даних, зі своєю власною фізичною адресою. Якщо адреси не збігаються, мережевий адаптер ігнорує цей пакет, і дані продовжують рух до наступного обладнання. Якщо ж адреси збігаються, то мережевий адаптер робить копію пакета даних і розміщує її на канальному рівні комп'ютера. Після цього вихідний пакет даних продовжує рух мережею, і кожний наступний мережевий адаптер проводить аналогічну процедуру порівняння.

Мережеві адаптери перетворюють пакети даних у сигнали для передачі мережею. У ході виготовлення фірмою-виробником кожному мережевому адаптеру привласнюється фізична адреса, яка заноситься в спеціальну

мікросхему, що встановлена на платі адаптера. У більшості мережевих адаптерів MAC-адреса зашивається в постійні запам'ятовувальні пристрої (ПЗП). Коли адаптер ініціюється, ця адреса копіюється в оперативну пам'ять комп'ютера. Оскільки MAC-адреса визначається мережевим адаптером, то при заміні адаптера зміниться й фізична адреса комп'ютера: вона буде відповідати MAC-адресі нового мережевого адаптера.

## 2. АРХІТЕКТУРИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ.

### 2.1. Модель OSI

За довгі роки існування комп'ютерних мереж була створена велика кількість різних мережевих протоколів. Мережевий протокол - це набір правил, що дозволяє здійснювати з'єднання та обмін даними між двома і більше включеними в мережу пристроями. Протоколи бувають як відкриті (опубліковані для безкоштовного застосування), так і закриті (розроблені комерційними компаніями, що вимагають ліцензування для використання). Однак усі ці протоколи прийнято співвідносити з так званою еталонною моделлю взаємодії відкритих систем (Open Systems Interconnection Reference Model), або моделлю OSI. Її опис був опублікований у 1984 р. Міжнародною організацією зі стандартизації (International Standards Organization, ISO), тому для неї часто використовується інша, назва: модель ISO/OSI. Ця модель являє собою набір специфікацій, які описують мережі з неоднорідними пристроями, вимоги до них, а також способи їх взаємодії.

Модель OSI має вертикальну структуру, у якій усі мережеві функції розподілені між сімома рівнями (рис. 2.1) [20]. Кожному такому рівню суворо відповідають певні операції, пристрої та протоколи.

Реальна взаємодія рівнів, тобто передача інформації усередині одного комп'ютера, можлива тільки по вертикалі та тільки із сусідніми рівнями, які розташовані вище або нижче.

Логічна взаємодія (відповідно до правил того або іншого протоколу) виконується горизонтально з аналогічним рівнем іншого комп'ютера на протилежному кінці лінії зв'язку. Кожний більш високий рівень користується послугами більш низького рівня, знаючи, у якому вигляді і яким способом (тобто через який інтерфейс) потрібно передати йому дані.

Рис. 2.1. Структура моделі OSI.



Завдання більш низького рівня - прийняти дані, додати свою інформацію (наприклад, адресу, яка необхідна для правильної взаємодії з аналогічним рівнем на іншому комп'ютері) і передати дані далі. Тільки дійшовши до найнижчого, фізичного рівня, мережевої моделі, інформація попадає в середовище передачі та досягає комп'ютера-одержувача. У ньому вона проходить крізь усі рівні у зворотному порядку, поки не досягне того ж рівня, з якого була передана комп'ютером-відправником.

## 2.2.Рівні і протоколи моделі OSI

Розглянемо рівні моделі OSI і визначимо мережеві послуги, які вони надають суміжним рівням [20].

*Рівень 0.* Він не визначений у загальній схемі (див. рис. 2.1), але досить важливий для розуміння. Тут представлені посередники, якими власне і відбувається передача сигналів: кабелі різних типів, радіосигнали, ІЧ- сигнали і т.д. На цьому рівні нічого не описується, рівень 0 надає фізичному рівню 1 тільки *середовище передачі*.

*Рівень 1 - Фізичний (Physical).* Тут здійснюється передача неструктурованого потоку бітів, отриманих від канального рівня 2, по фізичному середовищу, наприклад, у вигляді електричних або світлових сигналів. При прийомі / отриманні з лінії зв'язку дані декодуються та передаються для подальшої обробки канальному рівню. Фізичний рівень відповідає за *підтримку зв'язку (link)*, тобто здійснює інтерфейс між мережевим носієм та мережевим пристроєм. На цьому рівні регламентуються напруги, частоти, довжини хвиль, типи конекторів, число й функціональність контактів, схеми кодування сигналів тощо. Фізичному рівню відповідають наступні протоколи: RS-232, RS-422, RS-423, RS-449, RS-485, xDSL, ISDN (T1, E1), Ethernet (10BASE-T, 10BASE2, 10BASE5), Fast Ethernet (100BASE-T, 100BASE-TX, 100BASE-T4, 100BASE-FX), Gigabit Ethernet (1000BASE-T,

1000BASE-TX, 1000BASE-SX).

*Рівень 2 - Канальний (Data Link).* Забезпечує безпомилкову передачу даних, отриманих від мережевого рівня 3, через фізичний рівень який сам по собі відсутності помилок не гарантує та може видозмінювати дані. Інформація на цьому рівні розміщується в *кадрах (frames)*, де на початку (*у заголовку кадру*) розміщується адреса одержувача та відправника, а також керуюча інформація, а наприкінці - *контрольна сума*, яка дозволяє виявити виникаючі при передачі помилки (рис. 2.2).

Преамбула необхідна для синхронізації приймача і передавача	SFD (Start Frame Delimiter) позначає початок нового кадру	Адреса одержувача MAC-	Адреса відправника адреси	Протокол або тип зазвичай вказує на вкладений пакет IP	IP-дані	FCS контрольна сума	EFD (End Frame Delimiter) Кінець кадру
7	1	6	6	2	від 46 до 1500	4	1

Рис. 2.2. Структура кадру протоколу HDLC.

Преамбула (Preamble) - поле містить набір нулів і одиниць, та дозволяє синхронізувати передачу даних. Преамбула має завдовжки сім октетів і представляється наступним бінарним набором: 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010.

Обмежувач початку кадру (Start Frame Delimiter - SFD) - поле має довжину один октет і відзначає кінець інформації синхронізації та представляється двійковим значенням 10101011.

Адреса одержувача (Destination Address). Це поле довжиною 6 октетів містить MAC-адресу одержувача, яка може бути адресою одноадресної розсилки (окремий вузол), багатоадресної розсилки (група вузлів) або широкомовною (розсилка усіх вузлів).

Адреса відправника (Source Address). Це поле містить шестиоктетну MAC-адресу відправника. Передбачається, що адреса відправника може бути тільки одноадресним ідентифікатором передавальної Ethernet станції. Однак частіше застосовуються віртуальні протоколи, які іноді використовують конкретний MAC-адреса для ідентифікації віртуального об'єкта.

Тип фрейма (тип Ethernet). Поле типу фрейму (Type), довжиною 2 октети, вказує протокол більш високого рівня, якому будуть передані дані після закінчення обробки на рівні Ethernet.

Дані та біти заповнення (Data and Pad field). Це поле може мати довільну довжину, яка не перевищує максимально допустимий розмір фрейма. Згідно параметрам структури фрейма, довжина поля даних повинна знаходитися в інтервалі від 46 до 1500 октетів. На вміст цього поля не накладаються ніякі умови.

Контрольна послідовність кадру (Frame Check Sequence FCS) має довжину 4 октети та містить чотирьохбайтове значення циклічного надмірного коду.

Передавальна станція обчислює контрольну суму для переданого фрейму, а отримане значення вставляється за полем даних (або за бітами заповнення). Приймальня станція (станції) виконує ті ж обчислення і порівнює нову контрольну суму з розташованою в кінці фрейму. Якщо ці два значення збігаються, вважається що фрейм не був пошкоджений в процесі передачі.

EED – кінець кадру довжиною 1 октет не є обов'язковим.

При одержанні даних на канальному рівні визначається початок і кінець кадру в потоці бітів. Сам кадр виймається з потоку та перевіряється на наявність помилок. Пошкоджені при передачі кадри, а також кадри, для яких не отримане підтвердження про прийняття, пересилаються заново (*ретранслюються*). Але функція виправлення помилок за рахунок повторної передачі пошкоджених кадрів є необов'язковою, тому у деяких реалізаціях канального рівня вона відсутня, наприклад, у Ethernet, Token Ring, FDDI. Також на канальному рівні забезпечується керування доступом до середовища передачі.

Канальний рівень досить складний, тому у відповідності до стандартів IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), випущених в лютому 1980 р. у рамках "Проекту 802" (Project 802), його часто розбивають на два

підрівні (рис. 2.3): управління доступом до середовища (Media Access Control - MAC) і управління логічним зв'язком (Logical Link Control - LLC).

Рис. 2.3. Розділення каналного рівня на підрівні LLC та MAC.

Рівень MAC забезпечує спільний доступ мережевих адаптерів до фізичного рівня, визначення меж кадрів, розпізнавання *адрес призначення кадрів* (ці адреси часто називають фізичними, або MAC- адресами). Рівень MAC, який діє над рівнем MAC, відповідає за встановлення каналу зв'язку та за безпомилкову відправку й приймання повідомлень із даними. Протоколи, які відповідають каналному рівню: STP, ARCnet, ATM., DTM, SLIP, SMDS, Ethernet, FDDI, Frame Relay, LocalTalk, Token ring, StarLan, L2F, L2TP, PPTP, PPP, PPPoE, PROFIBUS, CSMA/CD, CSMA/CA.

*Рівень 3 - Мережевий (Network)*. Цей рівень забезпечує доставку даних між двома вузлами в мережі. Повідомлення мережевого рівня називають *пакетами (packets)*. Головна задача мережевого рівня - це пошук маршруту від одного комп'ютера до іншого і передача пакета цим маршрутом. Пакет узагальнено складається із заголовка і поля даних. У полі даних розміщується сегмент транспортного рівня, а заголовок містить службову інформацію, а також адреси відправника та одержувача. На мережевому рівні вводиться адресація комп'ютерів. Адреси мережевого рівня називають логічними адресами, оскільки адресація не залежить від апаратного забезпечення. Адресація мережевого рівня ієрархічна, адреса складається мінімум з двох частин - номера мережі і номера вузла у цій мережі. Передача даних між мережами здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв, які називаються *маршрутизаторами*. Основні задачі маршрутизатора - визначення маршруту і комутація пакета. Задача вибору маршруту називається *маршрутизацією*. Мережевому рівню відповідають протоколи: IP, IPv6, ICMP, IGMP, IPX,

NWLink, NETBEUI, DDP, IPSec, ARP, RARP, BOOTP, SKIP, RIP, GRE.

*Рівень 4 - Транспортний (Transport).* Цей рівень пов'язує більш високі рівні, які сильно залежать від додатків, з нижніми рівнями, які більше прив'язані до ліній зв'язку. На транспортному рівні відбувається розбиття потоку даних на сегменти при відправленні даних або збирання вихідного потоку даних із сегментів при прийманні. *Сегментом* називається блок даних транспортного рівня. Транспортний рівень призначений для доставки даних без помилок, втрат і дублювання в тій послідовності, у якій вони були передані. Він забезпечує передачу даних між двома додатками з необхідним рівнем надійності. Протоколи транспортного рівня, які гарантують надійну доставку даних, встановлюють перед обміном даними віртуальне з'єднання та у випадку втрати або пошкодження сегментів повторно їх відправляють (наприклад, TCP). Протоколи ненадійної доставки не ретранслюють дані (наприклад, UDP). Транспортному рівню відповідають наступні протоколи: TCP, UDP, SOCKS, NETBEUI, AEP, ATP, IL, NBP, RTMP, SMB, SPX, SCTP, DCCP, RTP, TFTP.

*Рівень 5 - Сеансовий (Session).* Дозволяє двом мережевим додаткам на різних комп'ютерах встановлювати, підтримувати й завершувати з'єднання, яке називається *мережевим сеансом*. Цей рівень також відповідає за відновлення аварійно перерваних сеансів зв'язку. Крім того, на п'ятому рівні виконується перетворення зручних для людей імен комп'ютерів у мережеві адреси (розпізнавання імен), а також реалізуються функції захисту сеансу. Протоколи, які відповідають сеансовому рівню: ASP, ADSP, DLC, Named Pipes, NBT, NETBIOS, NWLink, Printer Access Protocol, Zone Information Protocol, SSL, TLS, RPC.

*Рівень 6 - Рівень представлення даних (Presentation).* Визначає формати переданої між комп'ютерами інформації. Тут вирішуються такі завдання, як перекодування, стиск і розпакування даних, шифрування й дешифрування, підтримка, мережових файлових систем і т.д. Протоколи, які відповідають рівню представлення: ASN.1, XML-RPC, TDI, XDR, SNMP, Telnet, NCP, AFP,

ІСА.

*Рівень 7 - Прикладний, або Рівень додатків (Application).* Забезпечує інтерфейс взаємодії програм, які працюють на комп'ютерах у мережі. Саме за допомогою цих програм користувач одержує доступ до таких мережеских послуг, як обмін файлами, передача електронної пошти, віддалений термінальний доступ і т.д. Протоколи, які відповідають прикладному рівню: HTTP, gopher, Telnet, DNS, DHCP, SMTP, SNMP, CMIP, FTP, TFTP, SSH, IRC, AIM, NFS, NNTP, NTP, SNTP, XMPP, FTAM, APPC, X.400, X.500, AFP, LDAP, SIP, ITMS, Modbus TCP, BACnet IP, IMAP, POP3, SMB, MFTP, BitTorrent, eD2k, PROFIBUS, NCP та ін.

### 2.3. Взаємодія рівнів моделі OSI

Семирівнева модель OSI є теоретичною, і містить ряд недоліків. Були спроби будувати мережі в точній відповідності із моделлю OSI, але створені таким чином мережі були дорогими, ненадійними і незручними в експлуатації.

Рівні взаємодіють згори вниз і знизу догори за допомогою інтерфейсів і можуть ще взаємодіяти з таким же рівнем іншої системи за допомогою протоколів. Кожен рівень може взаємодіяти лише зі своїми сусідами і виконувати відведені тільки йому функції.

Реальні мережескі протоколи, які використовуються в існуючих мережах, вимушені відхилятися від неї, забезпечуючи непередбачені можливості, тому прив'язка деяких з них до рівнів OSI є умовною: певні протоколи займають декілька рівнів моделі OSI, функції забезпечення надійності реалізовані на декількох рівнях моделі OSI.

Основний недолік OSI — непродуманий транспортний рівень.

На ньому OSI дозволяє обмін даними між програмами (вводячи поняття порту — ідентифікатора програми), однак, можливість обміну простими дейтаграмами (за типом UDP) у OSI не передбачена — транспортний рівень повинен утворювати з'єднання, забезпечувати доставку, управляти потоком і

тому подібне (за типом TCP). Однак, реальні протоколи таку можливість реалізують.

#### 2.4.Сімейство TCP/IP

Сімейство TCP/IP має два транспортні протоколи: TCP, повністю відповідний OSI, такий, що забезпечує перевірку отримання даних, і UDP, що відповідає транспортному рівню тільки наявністю порту, забезпечує обмін дейтаграмами між програмами, не гарантує отримання даних. У сімействі TCP/IP є ще близько двохсот протоколів, найвідомішим з яких є ICMP; але вони службові — використовуються для внутрішніх потреб забезпечення роботи мережі, а не транспортні. Хоча приклади реалізації транспортного каналу зв'язку на нетранспортних протоколах існують і працюють [21].

#### 2.5.Рівні стека TCP/IP

Існують розбіжності в тому, як вписати модель TCP/IP в модель OSI, оскільки рівні в цих моделях не співпадають.

До того ж, модель OSI не використовує додатковий рівень - «Internetworking» — між транспортним і мережевим рівнями. Прикладом спірного протоколу може бути ARP або STP.

Зазвичай в стеку TCP/IP верхні 3 рівні (прикладний, представницький і сеансовий) моделі OSI об'єднують в один — прикладний. Оскільки в такому стеку не передбачається уніфікований протокол передачі даних, функції за визначенням типу даних передаються додатку. Спрощено інтерпретацію стека TCP/IP можна представити так:

Прикладний «7 рівень», напр. HTTP, FTP, DNS (RIP, що працює поверхнево UDP, і BGP, що працює поверхнево TCP, є з'являються частиною часткою мережевого рівня)

Транспортний, напр. TCP, UDP, RTP, SCTP, DCCP (протоколи

маршрутизації, подібні OSPF, що працюють поверхнево IP, є з'являються частиною часткою мережевого рівня)

Міжмережевий, для TCP/IP це IP (IP) (допоміжні протоколи, ніби начеб ICMP і IGMP працюють поверхнево IP, але та є з'являються частиною часткою мережевого рівня; ARP не працює поверхнево IP)

Канальний, напр. Ethernet, Token ring, і подібні.

Фізичний, напр. фізичне середовище і принципи кодування інформації, T1, E1.

## 2.6. Мережні архітектури першого покоління

ARCnet (AttachedResourceComputernetwork) – архітектура мереж, що ґрунтується на логічній топології шини, з розподіленим середовищем передавання, маркерним (Tokenpassing) методом доступу до середовища передавання, описана стандартом IEEE802.4–85.

Одна з перших комерційних архітектур для локальних мереж, що використовує тонкий коаксіальний кабель та виту пару. Фізична топологія – комбінація шини та зірки (рис.2.4). Відрізки кабелю (звичайно, застосовується тонкий коаксіальний кабель RG–62 з хвильовим опором 93 Ом) з'єднуються T–конекторами, відстань між якими не може бути меншою за 1 м. Допускається не більше 8 вузлів у сегменті. Сегмент має закінчуватись термінатором або активним хабом (адаптером). Використовуються активні (від 4 до 64 портів) та пасивні хаби (4 порти). Активний хаб може бути з'єднаний з адаптером або іншим активним хабом сегментом кабелю до 610 м, з пасивним хабом – кабелем довжиною до 30 м.

Рис.2.4. Змішана топологія мережі ARCnet.



Кожен адаптер мережі має свою унікальну восьмибітову адресу, яка задається під час інсталяції перемикачами в діапазоні від 1 до 254. Право на відправлення даних мережею передається за допомогою спеціального пакета-маркера, що формується контролером-вузлом з найменшою адресою. Узел, що отримав маркер, здійснює запит щодо готовності отримувача і, одержавши підтвердження, відправляє пакет даних. Після цього маркер передається наступному вузлу. Узел, що не отримав маркер за визначений час (840 мс), передає спеціальну довгу бітову послідовність, яка руйнує старий маркер та призводить до процесу визначення нового контролера.

Основні характеристики та переваги:

- швидкість передавання: 2,5 Мбіт/с у базовому варіанті, від 20 до 100 Мбіт/с у малопоширених модифікаціях на витій парі та оптоволоконному кабелі;
- низька (порівняно з Ethernet) вартість з'єднувальних схем;
- гнучка топологія.

Недоліки:

- низька ефективність використання каналу передавання;
- використання однобайтових адрес ускладнює об'єднання мереж;
- малий розмір фрейма (508 байтів) ускладнює узгодження з вищими рівнями моделі OSI.

AppleTalk – мережна архітектура фірми Apple (штатна підсистема комп'ютерів Macintosh) використовує шинну топологію, виту пару як середовище передавання та метод доступу CSMA/CA. Швидкість передавання – 230 Кбіт/с, максимальна довжина мережі – 300 м (рис.2.5).

Рис. 2.5. Мережна архітектура AppleTalk.

TokenRing (маркерне кільце) – архітектура мереж, що ґрунтується на логічній топології кільця, з маркерним методом доступу до середовища передавання, описана стандартом IEEE802.5(рис.2.6).

Рис. 2.6. Топологія TokenRing.

Основним провідником цієї архітектури є фірма IBM. Логічне кільце реалізується на фізичній топології зірки, в центрі якої міститься MAU (Multistation Access Unit) – хаб з портами для під'єднання кожного вузла. Для під'єднання кабелів використовуються спеціальні роз'єкти, що забезпечують замикання кільця у випадку від'єднання вузла від мережі. Мережа може бути розширена завдяки додатковим MAU, що об'єднуються у спільне кільце. Використання витої пари STP забезпечує підключення не більше 260 вузлів до 33 MAU з максимальною відстанню 100 м між вузлом та хабом. Довжина кабелів, що з'єднує MAU, не повинна перевищувати 100 м при їх сумарній довжині до 200 м. Використання оптоволоконного кабелю збільшує довжину сегмента до 1 км.

Інформація передається кільцем в одному напрямку від одного вузла до іншого. Мережний адаптер копіює у свій буфер тільки ті пакети, що адресовані йому. Право на передавання інформації передається вузлу за допомогою трибайтового маркера, який складається з байта початкового роздільника, байта контролю доступу та байта кінцевого роздільника. У структуру байта контролю доступу входять поле пріоритету, що задає рівень пріоритету вузла, який має право захопити маркер, та біт маркера, який вказує вільним чи зайнятим є маркер. Маркер у кільце запускає активний "монітор" – вузол (звично, це сервер), що відповідає за його наявність та єдиність. Решта вузлів є резервними моніторами і, у випадку зникнення активного монітора, ініціюють процес визначення нового активного монітора. Кожен вузол отримує та регенерує всі пакети. Вузол, що бажає здійснити передавання інформації, повинен дочекатись вільного маркера, додати адресну інформацію, дані та помітити

маркер зайнятим. Пакет, що не знайшов свого адресата за один оберт кільцем вилучається монітором кільця або вузлом, що здійснив його передавання.

Основні характеристики та переваги:

- швидкість передавання – 4 або 16 Мбіт/с;
- визначений час очікування (що не збільшується у випадку збільшення трафіка) та управління пріоритетами дає змогу використовувати TokenRing в мережах реального часу;
- великий розмір фрейма – 18000 байтів;
- легке об'єднання з мережами великих машин (mainframe);

Недоліки:

- висока вартість обладнання;
- складність побудови великих мереж WAN/GAN.

Token Bus (рис. 2.7.) – мережна архітектура, що визначена стандартом IEEE802.4 та використовує логічну топологію кільця, а фізичну – шини. Середовище передавання – коаксіальний кабель з хвильовим опором 75 Ом або оптоволокну, метод доступу – передача маркера. Підтримується система пріоритетів, що забезпечує заданий час відгуку для різних рівнів. Часто використовується у промисловій автоматичі, наприклад, на цій архітектурі ґрунтується протокол MAP (ManufacturingAutomationProtocol).

Рис. 2.7. Мережа Token Bus.

## 2.7. Мережні архітектури другого покоління

FastEthernet являє собою розвиток архітектури Ethernet на витій парі завдяки підвищенню у 10 раз тактової частоти. Основні принципи архітектури (метод доступу, формат фрейма та інші) залишаються незмінними. Стандартом IEEE802.3u визначено три типи FastEthernet: 100BaseT4 та 100BaseTX – для витій пари та 100BaseFX – для оптоволоконного кабелю.

Архітектура 100BaseTX має певні переваги – вона ґрунтується на використанні кабелю (неекранованої виті пари 5 категорії) та роз'язтів, аналогічних до вимог 10BaseT. Це дає змогу проводити заміну мережних адаптерів 10BaseT на 100BaseTX без заміни кабелю та роз'язтів.

Усі типи FastEthernet мають обмеження 100 м на довжину променя та 200 м (400 м для FX) – на діаметр мережі (максимальну відстань між двома вузлами мережі).

100BaseVG – 100Мбіт/с, мережа на витій парі категорії 3 для звукової телефонії (VG – Voice–Grade). Архітектура розроблена фірмами Hewlett–Packard та AT&T Microelectronics у розвиток Ethernet (IEEE802.12), що ґрунтується на фізичній топології зірки та методі доступу DemandPriority (пріоритет запитів), який забезпечує визначений час відгуку для критичних до часу задач.

100BaseVG–AnyLAN – 100Мбіт/с, мережа на витій парі категорії 3, 4 або 5, розширення архітектури 100BaseVG, введене фірмами Hewlett–Packard та IBM. 100BaseVG–AnyLAN являє собою певний гібрид архітектур Ethernet та TokenRing та підтримує їх формати фреймів (802.3 та 802.5). Окрім пріоритетів доступу, підтримує 2 рівні пріоритетів передавання, що дає змогу використовувати мережу для відеоконференцій, мультимедійних та інших критичних до часу застосувань.

FDDI (FiberDistributedDataInterface) – 100Мбіт/с, стандартизована Американським національним інститутом стандартів (ANSI) специфікація X3T9.5 для високошвидкісного передавання даних у мережах на базі оптоволоконного кабелю. Топологія – подвійне кільце (можливе включення зірко– та деревоподібних підмереж через концентратор), метод доступу – маркерний з можливістю одночасного циркулювання у кільці багатьох пакетів. Максимальна кількість вузлів у мережі – 1000, відстань між вузлами – від 2 до 45 км, залежно від кабелю (багатомодовий або одномодовий), довжина кільця – до 100 км.

CDDI (Copper Distributed Data Interface ) або TPDDI (Twisted Pair Distributed Data Interface) – суто "електрична" реалізація архітектури FDDI на витій парі. Суттєво дешевший варіант FDDI, в якому, однак, довжина сегмента не більша як 100 м.

ATM (Asynchronous Transfer Mode) – технологія комутації пакетів, що забезпечує передавання цифрових, голосових та мультимедійних даних одними й тими ж лініями. Швидкість передавання 662 Мбіт/с (в експериментальних реалізаціях – 2,5 Гбіт/с) ATM використовується як в локальних, так і в глобальних мережах. Ґрунтується на виділених та комутуваних оптоволоконних лініях. Кожен вузол може мати виділений зв'язок (канал) з будь-яким іншим.

Мережна архітектура відповідає реалізації фізичного та каналного рівнів моделі OSI. Архітектура визначає кабельну систему, кодування сигналів, швидкість передавання, структуру фреймів, топологію мережі та метод доступу до середовища передавання. Кожній з архітектур відповідає свій набір компонент – кабелі, роз'єкти, мережні адаптери, кабельні центри тощо.

Перше покоління мережних архітектур забезпечувало низькі та середні швидкості передавання: LocalTalk – 230 Кбіт/с, ARCnet – 2,5 Мбіт/с, Ethernet – 10 Мбіт/с, TokenRing – 16 Мбіт/с. Ці архітектури зорієнтовані на використання електричних кабелів.

Друге покоління мережних архітектур забезпечує високі швидкості передавання: FDDI – 100 Мбіт/с, ATM – 155 Мбіт/с, FastEthernet – 100 Мбіт/с та, звичайно, зорієнтовані на використання оптоволоконних кабелів.

Ethernet – архітектура мереж, що ґрунтується на логічній топології шини, з розподіленим середовищем передавання, методом доступу до середовища передавання CSMA/CD, описана стандартом IEEE802.3. За фізичною реалізацією розрізняють:

10Base5 – Thick ("товстий") Ethernet;

10Base2 – Thin ("тонкий") Ethernet;

10BaseT – Twisted-pair Ethernet (Ethernet на витій парі);

10Broad36 – мережа на широкосмуговому 75-Омному коаксіальному кабелі;

10BaseF – кілька варіантів мережі на оптоволоконному кабелі;

100BaseT – стандарти FastEthernet на витій парі (100BaseT4, 100BaseTX).

Перший елемент в умовному позначенні архітектури – швидкість передавання в Мбіт/с; другий елемент позначає спосіб передавання: Base – пряме немодульоване передавання, Broad – використання широкосмугового кабелю з частотним ущільненням каналів; третій елемент – середовище передавання (T – вита пара, F – оптоволокно) або довжина сегмента кабелю в сотнях метрів (сучасні мережні адаптери дають змогу збільшувати довжину сегмента, наприклад для 10Base2, до 250-300 метрів).

## 2.8.Мережа Петрі

Мережа Петрі – це графічний і математичний засіб моделювання систем і процесів. Як правило, мережами Петрі моделюють паралельні (синхронні та асинхронні) системи і процеси. Галузі застосування мереж Петрі включають дослідження телекомунікаційних мереж, мережних протоколів, обчислювальних систем і обчислювальних процесів, виробничих і організаційних систем [22].

Проста Мережа Петрі (рис. 2.8.) є орієнтованим дводольним графом, який має чотири базових елементи: вузди, або місця (places), переходи (transitions), дуги (arcs) і маркери (tokens). Вузли позначаються кружками і визначають стан, в якому може знаходитись мережа або її частина. Переходи-це активні елементи мережі, які позначають дії, виконувані під час спрацювання переходів. Для того щоб перехід міг спрацювати, необхідне виконання певних умов, які визначаються наявністю маркерів у вузлах мережі, з'єднаних з переходом. Якщо умови настання подій виконано, то вважають, що перехід збуджений. Переходи позначаються короткими вертикальними або

горизонтальними лініями. Вузли та переходи з'єднуються орієнтованими ребрами (дугами). Два вузли або два переходи з'єднуватись дугами не можуть.

Рис.2.8. Проста мережа Петрі з одним переходом, трьома вузлами, два з яких містять маркери

Функціонування мережі Петрі можна описати так: вузли як певні умови, а переходи-як події (рис 2.9). Таким чином, стан мережі в кожний момент часу задається системою умов. Для зручності задання умов мережі Петрі вводяться маркери(фішки), які зображуються крапками всередині вузлів. Виникнення певної комбінації маркерів у вузлах приводить до настання деякої події, яка у свою чергу викликає зміну стану умов мережі. Стан маркування або стан мережі Петрі визначається сукупністю маркерів кожного окремого вузда мережі.

Рис.2.9. Графічне зображення спрацювання переходу.

Перехід, в якого всі вхідні вузли містять маркери, називається збудженим (рис.2.8). Збуджений перехід може спрацювати, після чого всі маркери із вхідних вузлів переходу перемістяться у вихідні (рис.2.9). Таким чином, настає подія, яка змінює стан мережі.

Якщо одночасно збуджуються кілька переходів мережі, виникає невизначеність, тому одночасне спрацювання кількох переходів у мережі Петрі неможливе, тобто переходи спрацьовують послідовно, миттєво. Незважаючи на те, що маркери змінюють своє положення у вузлах, прості мережі Петрі- це статичні моделі, в яких не враховується динаміка в часі (зміна станів мережі не залежить від моментів часу). Для того щоб за допомогою мережі Петрі відтворити динаміку роботи деякої детермінованої динамічної системи в часі, необхідно зазначати моменти спрацювання переходів. Такі можливості мають тільки розширення мереж Петрі, в яких спрацювання переходів

здійснюється в задані моменти модельного часу з деяким постійним кроком дельта( $t$ ).

Прості мережі Петрі містять лише три основних елементи:

- вузли;
- переходи;
- маркери.

Тому побудувати за їх допомогою моделей складних динамічних систем, в яких протікає велика кількість взаємодіючих паралельних і асинхронних процесів та існує багато інформаційних і матеріальних потоків, стає досить складною та громіздкою процедурою. Це помітно звужує клас моделей систем, які можна побудувати на основі простих мереж Петрі які дають можливість значно спростити побудову складних моделей і їх графічне зображення.

Розширення мережі Петрі - це така їх модифікація, яка збільшує можливості мережі стосовно опису та моделювання систем. Існують різні розширення мереж Петрі, орієнтовані на моделювання систем різних типів: стохастичних, динамічних, предикатних та ін. Кольорові мережі Петрі дають змогу значно зменшити розміри мереж, які використовуються, наприклад, для опису моделей складних паралельних обчислювальних систем. На практиці широко використовуються проблемно-орієнтовані розширення мереж Петрі, серед яких найбільш відомі E-мережі, комбі-мережі, FIF1-мережі, M-мережі та ін. У простих мережах Петрі допускається наявність у вузлі лише одного маркера, тоді як у розширених мережах кожний вузол може містити кілька маркерів у вузлі позначає число поряд з вузлом. Відповідно для цих вузлів змінюються і правила маркування: перехід збуджується тільки тоді, коли число, яке визначає кількість маркерів у кожному вхідному вузлі, більше або дорівнює одиниці;

Якщо збуджений перехід спрацьовує, то число маркерів у всіх вхідних вузлах, які містять маркери, зменшуються на одиницю, а в усіх вихідних вузлах - збільшується на одиницю. Певна річ, кількість маркерів не може біти від'ємним значенням.



Мережі Петрі достатньо для опису причинно-наслідкових подій, які виникають у системах, однак мережі не забезпечують повну спільність з логічними операціями. Зрозуміло, що проста мережа Петрі відтворює роботу тільки логічного елемента "І" ("AND"), тому за допомогою цієї мережі не можна змоделювати збудження переходу, коли вхідний вузол не має маркерів (логічний оператор заперечення "НІ"). Для цього в розширених мережах усводяться дуги заперечення, які зображуються у вигляді лінії з кружечком на кінці замість стрілки (рис.2.10.) і не мають дугової ваги (дугова вага визначає пропускну здатність дуги). Дуги, визначені раніше, розглядаються як позитивні. Вони завжди направлені від деякого вузла до переходу і не можуть мати зворотнього напрямку.

Рис. 2.10. Графічне позначення дуги заперечення.

Наявність дуги заперечення змінює правила маркування на такі:

- перехід збуджується лише тоді, коли число, яке визначає кількість маркерів кожного вхідного вузла з позитивною дугою, більше або дорівнює одиниці, та коли кількість маркерів кожного вхідного вузла з дугою заперечення дорівнює нулю;
- якщо збуджений перехід спрацьовує, то число маркерів усіх вхідних вузлів з позитивною дугою зменшується на одиницю, у той час як кількість маркерів вхідних вузлів з дугами заперечення залишається незмінною. Кількість маркерів усіх вихідних вузлів збільшується на одиницю.

Для кожної позитивної дуги можна задати певний ваговий коефіцієнт (або вагу), рівний одиниці або більший за неї (рис.2.11.). За замовчуванням ваговий коефіцієнт дуги дорівнює одиниці. Тоді збудження та спрацьовування переходу відбувається за такими правилами:

- прехід збуджується тільки тоді, коли кількість маркерів у кожному вхідному вузлі більше ваги дуги або дорівнює їй, а для дуги заперечення дорівнює нулю;

у разі перемикання переходу кількість маркерів кожного вхідного вузла зменшується на відповідну вагу вхідної дуги та залишається незмінною для дуг заперечень. Кількість маркерів кожного вихідного вузла збільшується на вагу відповідної вихідної дуги.

Рис.2.11. Введення ваги дуги.

Один із найсладніших етапів створення моделі - це вибір методу її формалізації. Зазвичай існує кілька підходів до зображення моделі системи і мережі Петрі.

Подальше розширення можливостей мереж Петрі для виконання завдань моделювання пов'язане з переходом від використання вузлів з маркерами і переходів до використання сховищ даних (вузол з деякою структурою даних) і потоків даних. Вище зазначалось, що в мережі Петрі всі допустимі стани моделі позначаються вузлами з маркерами. У загальному випадку вузли виступають як сховища даних заданого об'єму, а переходи - як потоки даних. Можливості вузлів мережі Петрі можна значно розширити, якщо маркерам призначити різні типи даних, наприклад рядки символів, цілі або дійсні числа, множини, структури, як це робиться в мовах програмування. Тоді у разі зображення вузлів з такими маркерами необхідно вказувати типи даних і визначити максимальну кількість маркерів кожного типу, які можуть знаходитись у вузлі. Існує ще одна можливість розширення функцій вузлів - зазначити режим доступу до маркерів, тобто задати, яким чином маркери(дані) надходять до вузлів та як вони в них вилучаються. Це дає змогу формувати у вузлах черги маркерів подібно тому, як створюються черги вимог у СМО. У Табл.1 наведено основні режими доступу до вузлів.

## Основні режими доступу до вузлів у розширеннях мереж Петрі.

Режим доступу	Опис
RAM	Принцип випадкового доступу. Маркер, який надійшов до вузла, розміщується в черзі випадково. У разі спрацювання переходу маркер, який вилучається з черги, вибирається випадково.
FIFO	Принцип "перший прийшов-перший пішов". Маркер, який надійшов до вузла, розміщується в черзі останнім. У разі спрацювання переходу вилучається перший маркер черги.
LIFO	Принцип "останній прийшов-перший пішов". Маркер, який надійшов до вузла останнім, розміщується в черзі першим. У разі спрацювання переходу вилучається перший маркер.
FIFORAM	Принцип "прийшов випадково - перший покинув". Маркер, який надійшов, розміщується в черзі випадково. У разі спрацювання переходу з черги вилучається перший маркер.
LIFORAM	Принцип "прийшов випадково - останній покинув". Маркер, який надійшов, розміщується в черзі випадково. У разі спрацювання переходу з черги вилучається перший маркер.

Вибір режимів формування черги і вилучення із неї маркерів залежить від того, в якій послідовності потрібно перевіряти маркери у вузлах. Тому навряд чи можна дати загальну пораду відносно того, які режими доступу використовувати. У простих мережах Петрі автоматичного використовується режим довільного доступу (порядок поставлення маркерів у чергу та порядок їх вилучення для них не має значення). Розширення можливостей вузлів мереж Петрі є досить зручним засобом для моделювання матеріальних та інформаційних потоків у виробничих системах.

Основні методи дослідження мереж Петрі:

1. Дерево досягальності,
2. Графічний,
3. Аналітичний,
4. За допомогою еквівалентних перетворень.

Взагалі, мережі Петрі досліджують на такі властивості:

1. Безпечність - досліджує виконання умови що кількість «фішок» в позиції не перевищує 1;
2. Обмеженість - досліджує виконання умови що кількість «фішок» в позиції не перевищує заданого числа,
3. Зберігальність - досліджує виконання умови що кількість «фішок» в мережі не змінюється,
4. Оберненість - для довільного досяжного стану досліджується існування послідовності виконань переходів яка повертає мережу в початковий стан),
5. Активність переходів - досліджує можливість виконання певних переходів та наявність тупиків - станів у яких переходи не дозволені та для яких неможливо досягти стану в якому ці переходи дозволені,
6. Досяжність маркування - досліджує існування послідовності виконань переходів при якій можна досягнути задане маркування,
7. Покриття - досліджує існування послідовності виконань переходів при якій можна досягнути маркування що покриває, тобто є більшим за задане маркування.

Умова зберігальності може бути послаблена, для чого вводять поняття функції ваги, яка залишається постійною під час роботи.

## 2.9. Альтернативна мережа FIDONET

Фідонет (коротко Фідо́, від англ. *Fidonet*) — міжнародна некомерційна комп'ютерна мережа, створена 1984 року двома американськими програмістами — Томом Дженнінґсом (Tom Jennings) і Джоном Медиллом (John Madill), які займалися сумісним написанням програмного забезпечення BBS під назвою Fido. Фідонет виконує функції, які стоять перед будь-якою мережею: пересилка особистої пошти (netmail), електронні конференції (echoconferences або echomail), файлові конференції (fileechos) і ін. Для іншого Фідонет не придатний. Наприклад, у ньому немає гіпертекстових сайтів, а

передача і розсилання нетекстових даних (файлів) існує у ролі побічної можливості.

В червні 1984 року вийшла в світ 7 версія програми Fido, в якій не було маршрутизації повідомлень, обробки помилок, ведення журналів. Операторам BBS сподобалася ідея про реалізацію FidoNet, і почалося інтенсивне зростання мережі.

Фідонет не є частиною Інтернету. Зокрема, можна підключатися до Фідонету, не маючи облікового запису в Інтернеті і не платячи грошей нікому. Проте, в Павутині є чимало ресурсів, присвячених Фідонету, зокрема, є сайти, де можна читати ехоконференції користувачів Фідонета.

Зазвичай доступ до мережі Фідонет проводиться через модем по телефонній лінії, але за відсутності звичайного телефонного зв'язку або модему мережа Фідонет може працювати на будь-якому пристрої - ISDN-телефон, Ір-протокол, e-mail або локальна мережа, головною умовою є можливість передавати файли або пакети.

Поглинання Фідонет Інтернетом не спостерігається зараз і не передбачається найближчим часом, взаємодія двох глобальних мереж схожа на симбіоз.

Не дивлячись на величезну перевагу Інтернету у розмірі (по кількості користувачів і валовому трафіку) Фідонет має свої переваги: вища якість інформації, конференції Фідонет мають конкретні тематики і в більшості з них панує порядок.

Тісні взаємини між Фідонет і Інтернетом виявляється навіть в тому, що будь-який користувач Фідонет може написати лист в Інтернет і навпаки (існує система так званий гейтів - шлюзів, які конвертують нетмейл Фідонет в e-mail Інтернету і назад), також проводиться обмін листами в конференціях - учасники Фідонет можуть читати news через гейти, ці ж гейти конвертують ехоконференції Фідонет для читання інтернетовцями.

Мережа змінюється технічно - широко використовується Ір-протокол для передачі пошти і навіть у Фідонет з'явилися так звані Ір-вузли, технічно схожі більше на вузли інтернету.

Проведений аналіз сучасних комп'ютерних мереж та їх архітектур відображає широкі можливості їх адаптації до характеристик джерел інформації, типів ліній зв'язку та характеру структуризованих даних, які формуються у вигляді функціонально-завершених фреймів.

Важливою характеристикою комп'ютерних мереж є оцінка їх інтелектуально-інформаційної характеристики – емерджентності. Дослідження емерджентності комп'ютерних мереж, оснащених різними типами ліній зв'язку та можливостями розпаралелення інформаційних потоків, є важливою складовою обґрунтування вибору архітектури КМ при їх проектуванні та вдосконаленні.

### 3. АНАЛІЗ СИСТЕМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

#### 3.1. Аналіз емерджентності комп'ютерних мереж

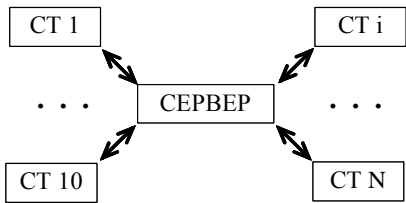
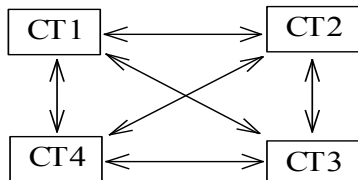
Аналіз архітектур розподілених комп'ютерних систем, які використовуються в локальних, проблемно-орієнтованих та спеціалізованих комп'ютерних мережах [23-27] дозволяє визначити наступні класи їх архітектур, що представлені в табл. 3.1. При цьому важливим параметром є коефіцієнт емерджентності (інтелектуальності) архітектури запропонований відомим американським вченим Дж. Мартіном [28,29], який визначається відношенням числа зв'язків  $n_z$  до числа елементів  $n_e$  в системі:

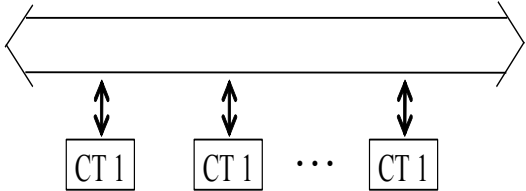
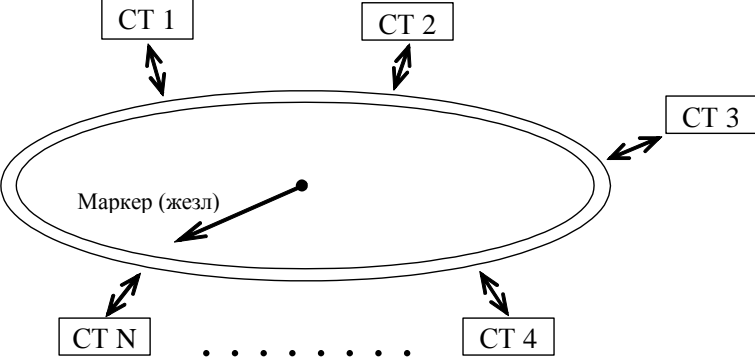
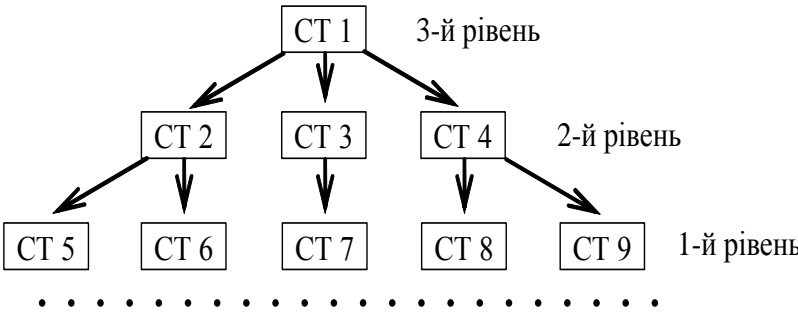
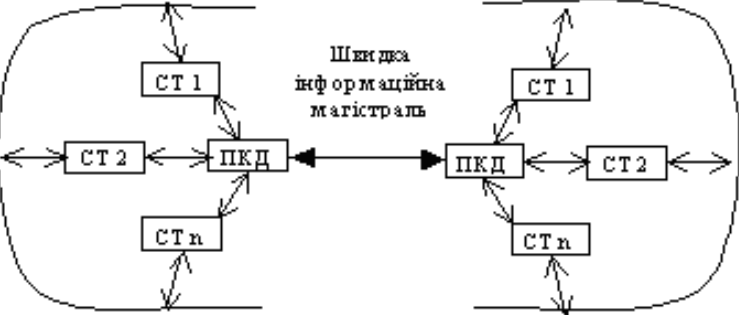
$$K_e = \frac{n_z}{n_e},$$

де  $n_z$  - число зв'язків,  $n_e$  - число компонентів.

Таблиця 3.1

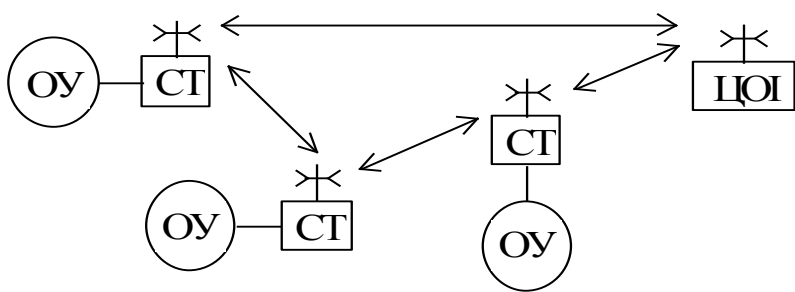
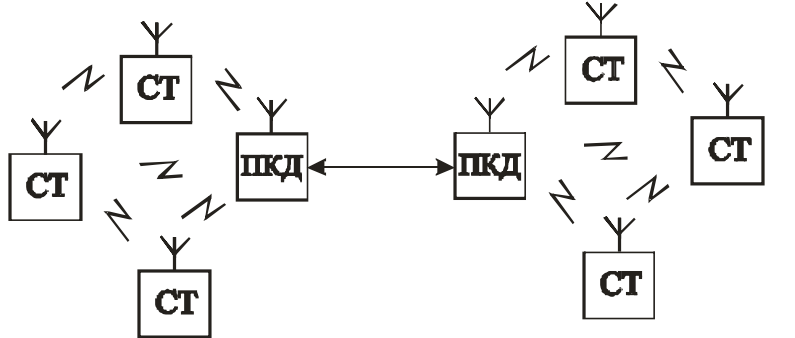
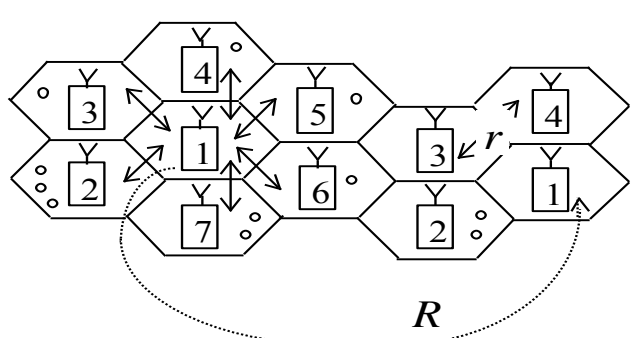
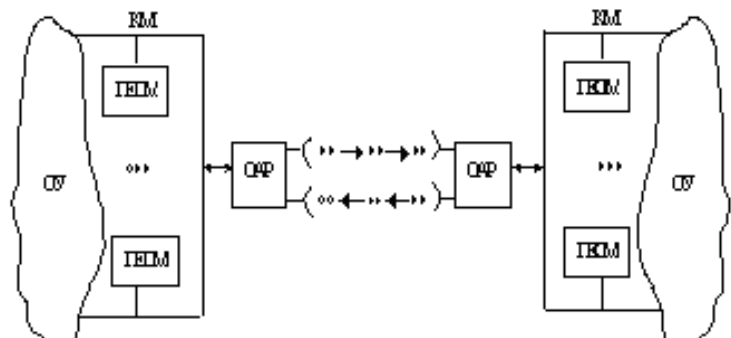
Тип та архітектури комп'ютерних мереж [22]

№	Тип та архітектура КМ	Емерджентність
1	2	3
Однорівневі архітектури		
1	<p>Зіркова</p> 	$K_e=3$
2	<p>Систолічна</p> 	$K_e=10$

Продовження таблиці 3.1		
№	Тип та архітектура КМ	Емерджентність
1	2	3
3	<p>Моноканал</p> 	$K_e=1$
4	<p>Кільцева</p> 	$K_e=1$
<b>Баготорівневі архітектури</b>		
5	<p>Ієрархічна</p> 	$K_e=1$
6	<p>Зіково-магістральна</p> 	$K_e=10$



Продовження таблиці 3.1		
№	Тип та архітектура КМ	Емерджентність
1	2	3
7	<p>Мережно-ієрархічна</p> <p>3-й рівень</p> <p>2-й рівень</p> <p>1-й рівень</p> <p>.....</p>	$K_e=8$
Безпроводні архітектури		
8	<p>Без ретрансляційна</p>	$K_e=10$
9	<p>З пасивним ретранслятором</p>	$K_e=3$
10	<p>З активним ретранслятором</p>	$K_e=4$

Продовження таблиці 3.1		
№	Тип та архітектура КМ	Емерджентність
1	2	3
11	<p>3 активним ретранслятором та кільцевою структурою</p> 	$K_e=6$
12	<p>Зірково-магістральна</p> 	$K_e=10$
13	<p>Сотова</p> 	$K_e=6$
Архітектури КС з відкритим оптичним каналом зв'язку		
14	<p>Високошвидкісна дуплексна</p> 	$K_e=1$

Продовження таблиці 3.1		
№	Тип та архітектура КМ	Емерджентність
1	2	3
15	<p>Середньошвидкісна кільцева</p>	$K_e=3$
16	<p>Низькошвидкісна кільцева</p>	$K_e=3$
17	<p>Розгалужена</p>	$K_e=4$

На рис 3.1 показана гістограма коефіцієнтів емерджентності різних архітектур КС. З гістограми видно, що найкращими показниками емерджентності характеризуються: систолічна архітектура; зіково-магістральна; безпроводна безретрансляційна; безпроводна зірково-магістральна.

Очевидно, що найбільш перспективною архітектурою КС, в якій доцільно використовувати автономні сенсори, спецпроцесори та АЦК з вихідними шумоподібними сигналами, є безпроводна зірково-магістральна архітектура. В зв'язку з цим доцільно дослідити ефективність трафіку передавання даних досліджуваним класом СП при реалізації різних процедур доступу до віддаленого концентратора даних.

Рис 3.1. Ефективність мережевих архітектур за параметром емерджентності. Однорівневі: 1-зіркова; 2-моноканал; 3-кільцева; 4- систолічна; Багаторівневі: 5-ієрархічна; 6-зірково-магістральна; 7- мережно-ієрархічна; безпроводні: 8- з пасивним ретранслятором; 9- безретрансляційні; 10- з активним ретранслятором; 11- зірково-магістральна; 12- з активним ретранслятором та кільцевою структурою; 13- сотова; з відкритими оптичними каналами зв'язку: 14- високошвидкісна дуплексна; 15- середньошвидкісна кільцева; 16- низькошвидкісна кільцева; 17- розгалужена.

Розглянемо паралельну систему з  $k$  абонентами з'єднаних з пам'яттю колективного доступу [30] (ПКД) окремими каналами зв'язку [31] (рис.3.2). Абонентами виступають автономні сенсори без зворотного зв'язку, які з певним періодом передають пакети даних про стан об'єкту управління.

Оскільки існує тільки зв'язок сенсор – ПКД низового рівня КС, що унеможливорює синхронізацію процесу передачі даних від автономних сенсорів то розрахунок продуктивності такої системи буде мати наступний вигляд [31]

$$P = \frac{\sum_{i=0}^N K_i}{N}, \quad (3.1)$$

де  $P$  – коефіцієнт продуктивності системи,  $K_i$  – кількість активних автономних сенсорів в  $i$ -й момент часу,  $N$  – загальна кількість автономних сенсорів системи,  $N$  – кількість відліків часу в дискретному просторі.

Рис. 3.2. Структура системи низового рівня КС на базі ПКД( $A_1-A_k$  – автономні сенсори, ПКД – пам'ять колективного доступу,  $\Pi_1-\Pi_n$  – процесори,  $OK_1-OK_f$  – об'єкти керування).

Для розрахунку продуктивності системи вибрано три основних режими роботи при мінімальному, середньому та максимальному трафіку в каналах системи. Також введено такі параметри системи: кількість автономних сенсорів системи  $N = 10$ ; частота опитування автономного сенсора  $\varphi = 10$  Гц; об'єм інформаційного пакету  $V = 128$  біт; швидкість передачі  $v = 3600$  біт/с. Введемо умову, що всі автономні сенсори працюють в режимі реального часу при цьому кількість відліків часу в дискретному просторі  $N = \varphi$ .

При будь-якому трафіку в структурі КС час формування та передавання даних кожним сенсором дорівнює  $t = T/N$ .

При мінімальному трафіку сумарний час активності автономних сенсорів  $T$  дорівнює  $T \leq 1/\varphi$ . На рис. 3.3 показано часову діаграму роботи паралельної системи з низьким трафіком.

Рис. 3.3. Часова діаграма автономних сенсорів паралельної системи з низьким трафіком.

Розрахувавши продуктивність системи на основі виразу (3.1) в  $i$ -ті моменти часу отримаємо графік продуктивності (рис. 3.4).

Рис. 3.4. Графік продуктивності паралельної системи з низьким трафіком.

Аналіз даних рис. 1.20 дозволяє визначити загальну продуктивність системи з низьким трафіком, яка дорівнює  $P = 24\%$ .

При середньому трафіку сумарний час активності автономних сенсорів  $T$  дорівнює  $T \leq (1/\varphi)/2$ . На рис.3.5 показано часову діаграму роботи паралельної системи з середнім трафіком, на рис.3.6 зображено графік продуктивності системи з середнім трафіком, в якій загальна продуктивність дорівнює  $P = 33\%$ .

Рис.3.5. Часова діаграма абонентів паралельної системи з середнім трафіком.

Рис.3.6. Графік продуктивності паралельної системи з середнім трафіком.

При максимальному трафіку сумарний час активності автономних сенсорів  $T$  дорівнює  $T \geq 0$ . На рис.3.7 показано часову діаграму роботи паралельної системи з високим трафіком.

Рис.3.7. Часова діаграма абонентів паралельної системи з високим трафіком.

На основі виразу (1.2) розраховуємо продуктивність системи з високим трафіком в  $i$ -ті моменти часу отримаємо графік продуктивності (рис. 3.8), звідки загальна продуктивність дорівнює  $P=44\%$ .

Рис.3.8. Графік продуктивності паралельної системи з високим трафіком.

В результаті аналізу трафіку автономних сенсорів безпроводних архітектур КС витікає висновок, що СП низових рівнів безпроводних зірково-магістральних КС забезпечують максимальну ефективність при режимі паралельного асинхронного формування та передавання даних. При цьому даний режим, як показує світовий досвід розробки автономних сенсорів

необхідно реалізовувати на основі ШПС та їх паралельного кореляційного оброблення на рівні концентраторів даних.

### 3.2. Аналіз мережевого розпаралелення криптозахисту комп'ютерних мереж

#### 3.2.1. Мережеві технології в криптографії еліптичних кривих

Для опису системи визначення параметрів ЕК доцільно скористатись моделю ресурсу мережі, при цьому обчислена функція ресурсу для всіх можливих комбінацій стратегій розвитку мережі.

Аналітичне розв'язання задачі визначення оптимальної стратегії ресурсу мережі для визначення параметрів мережі можливе за умов, що оптимальна стратегія розвитку є незмінною, тому вона є інваріантна та детермінована на проміжку часу дослідження  $[0; h]$ . Отже розглянемо три типи інваріантного розвитку: а) невідкладна заміна існуючих систем новими на початку періоду дослідження ( $i=r=0$ ); б) невідкладне накладання ( $i=0; r=h$ ); в) тривале зростання, тобто розширення вузла за допомогою існуючого обладнання ( $i=r=h$ ). Ресурс розвитку вузла для кожної із стратегій визначається як: а)  $C(0,0) = \alpha + \gamma + \delta$ ; б)  $C(0,h) = \alpha + \delta$ ; в)  $C(h,h) = \delta$ .

Зв'язок між оптимальною та незмінною стратегіями розвитку встановлюють співвідношення:  $C(\theta, r)$  – ресурс розвитку вузла, що відповідає стратегії  $(\theta, r)$ , при  $0 \leq \theta \leq r$ , а  $\tau^* = (\alpha + \gamma) \beta^{-1/\rho}$ ;  $\sigma = (\alpha + \gamma) \beta^{-1/\rho} - \min\{\alpha + \gamma, 0\}$ . Оптимальна стратегія розвитку вузла є незмінною тоді і тільки тоді, коли виконана одна з умов: а)  $\beta \geq 0$ ; б)  $\beta < 0, \tau^* \geq 0$ ; в)  $\beta < 0, \tau^* < 0, \sigma \geq 0$ ; Якщо  $\beta < 0, \tau^* < 0, \sigma < 0$ , то оптимальною є відкладена заміна  $(-\tau^*, \tau^*)$ .

Функція ресурсу розвитку вузла описується наступним співвідношенням  $C(\theta, r) = \alpha e^{-\rho\theta} + (\beta\theta + \gamma)e^{-\rho r} + \delta \quad -0 \leq \theta \leq r$ . Якщо  $\alpha, \beta, \gamma \geq 0$  та  $\beta \leq \rho\sqrt{\alpha\gamma}$ , функція  $C(\theta, r)$  приймає критичні значення.

Прирівнюючи ресурси розвитку мережі для визначення параметрів ЕК, отримаємо межу переваги, що розділяє площину  $s_0-g$  на дві області, які визначають перевагу заміни технічних параметрів ЕК накладанням, та навпаки (рис. 3). Цей процес описує співвідношення  $\alpha + \gamma + \delta = \alpha + \delta$ .

$$\gamma = \frac{1}{\rho} (\hat{c}_{rBR} - \hat{c}_{\theta BR})g + (\hat{c}_{rBR} - c_{sA} + \frac{1}{\rho} (\hat{c}_{BR} - \tilde{c}_A))s_0 + c_{rBR}^* = 0.$$

Таким чином отримуються криві переваги для будь-якої пари параметрів ЕК, такі лінії зручні для швидкого вибору переваги розвитку за заданого початкового обсягу та заданим коефіцієнтом росту обсягу мережі.

В результаті отримані критерії, які визначають оптимальні значення комп'ютерної мережі для розв'язку задачі генерування параметрів ЕК, однак, сукупність оптимальних значень кожного вузла мережі не дає оптимальної розвитку мережі для пошуку порядку ЕК загалом. Для цього знайдемо оптимальні значення параметрів паралельних обчислень. Згідно з математичною моделлю:

$$C_{ij}^{\theta R} = C_j^R(0, \infty) + \min\{C_i^B(0, h), C_i^B(0, 0)\} + d_{ij}\bar{c}_{BR};$$

$$C_{ij}^{rR} = C_j^R(0, 0) + \min\{C_i^B(0, h), C_i^B(0, 0)\} + d_{ij}\bar{c}_{BR}$$

де  $i, j \in I$ ,  $j$  - ресурс розвитку вузла;

$C_j^A$  - відповідає стратегії тривалого росту;

$C_{ij}^{\theta R}$  - невідкладне накладання виносних модулів (ВМ) та підключення їх до вузла  $i$ ;

$C_{ij}^{rR}$  - невідкладна заміна існуючого обладнання на виносних модулях та підключення його до вузла  $i$ ;

$C_j^{\theta B}$  - невідкладне накладання опорного обладнання;

$C_j^{rB}$  - невідкладна заміна існуючого обладнання на нове опорне. Для величин  $C_{ij}^{\theta R}$  та  $C_{ij}^{rR}$  врахована значення комунікаційного ресурсу між  $i$  та  $j$ .

$C_j^B(\theta, r)$  - функція ресурсу для опорного обладнання;



$C_j^R(\theta, r)$  – функція ресурсу для вузлів комутації (ВК);

$\bar{c}_{BR}$  – нормоване значення ресурсу.

Розвиток мережі доцільно проводити для генерування параметрів ЕК згідно наступного алгоритму, представити у вигляді бінарних змінних  $\chi_{ij}$  та  $z_j$

$$\chi_{ij} = \text{sgn } y_j(0) \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in I, \quad z_j = \text{sgn card } x_j(0) \cap B \in \{0,1\} \quad \forall j \in I.$$

Нуль в аргументах функцій  $x_j$  та  $y_j$  пов'язаний з інваріантністю розвитку мережі в часі і може бути замінений на будь-який момент періоду, що досліджується.

Тоді, ресурс розвитку для  $\chi_{ij}$  та  $z_j$  всієї мережі може бути визначений наступним чином

$$C = \sum_{j=1}^n \left( C_j^B z_j + \sum_{i=1, i \neq j}^n C_{ij}^R \chi_{ij} + C_j^A \left( -z_j - \sum_{k=1, k \neq j}^n \chi_{kj} \right) \right);$$

З введенням змінних  $\eta_j = C_j^B - C_j^A \quad \forall j \in I$  та  $\mu_{ij} = C_{ij}^R - C_j^A \quad \forall i, j \in I$ , які визначають ресурс вузла, після низки перетворень, отримаємо формулювання задачі пошуку оптимальних значень розвитку комп'ютерної мережі для генерування параметрів ЕК у вигляді задачі дискретного лінійного програмування:

$$\min \sum_{j=1}^n \left( \eta_j z_j + \sum_{i=1, i \neq j}^n \mu_{ij} \chi_{ij} \right) \text{ відносно } \chi_{ij}, z_j \text{ за умов:}$$

$$z_j + \sum_{i=1, i \neq j}^n \chi_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in I, \quad \chi_{ij} \leq z_i \quad \forall i, j \in I, i \neq j, \quad \chi_{ij}, z_j = \overline{0,1} \quad \forall i, j \in I;$$

$$\eta_j = \min \left\{ \theta_j^B, C_j^{rB} \right\} - C_j^A \quad \forall j \in I, \quad \mu_{ij} = \min \left\{ \theta_{ij}^R, C_{ij}^{rR} \right\} - C_j^A \quad \forall i, j \in I.$$

Не розв'язуючи задачу, на основі лише її формулювання впливає, що:

$$\eta_j + \sum_{i=1, i \neq j, \eta_{ik} < 0} \mu_{ij} \chi_{ij} > 0 \Rightarrow z_j = 0; \quad \eta_j < 0 \Rightarrow z_j + \sum_{i=1, i \neq j}^n \mu_{ij} \chi_{ij} = 1;$$

$$\mu_{ij} > 0 \Rightarrow \chi_{ij} = 0.$$

У загальному випадку такі задачі дискретного нелінійного програмування класифікуються як *NP*-складні, однак, після певних перетворень, цю задачу можна звести до відомої транспортної задачі, для цього, у якості потенційних опорних вузлів, розглядаємо доповнену нулем множину вузлів  $I_0$ , додатково

визначивши значення  $\chi_{ij}$  та  $C_{ij}^R$ :  $\chi_{0j} = \text{sgn card } x_j(0) \cap A \forall j \in I$ ,  $C_{0j}^R = C_j^A \quad \forall j \in I$ . Вузли з основним обладнанням вважаємо підключеними до себе ж  $\chi_{ii} = z_i \quad \forall i \in I_0$ . Щоб введення додаткового вузла не вплинуло на зростання ресурсу мережі, присвоємо значенню його ресурсу  $C_0^B = 0$ . З урахуванням введених позначень, цільову функцію задачі дискретного лінійного програмування можна привести до вигляду  $C = \sum_{j=0}^n C_j^B z_j + \sum_{i=1}^n C_{ij}^R \chi_{ij}$  та отримати формулювання задачі визначення оптимального ресурсу мережі

$$\min \sum_{j=0}^n \left( C_j^B z_j + \sum_{i=1}^n C_{ij}^R \chi_{ij} \right) \text{ відносно } \chi_{ij}, z_j, \text{ за умов } \sum_{i=0}^n \chi_{ij} = 1 \quad \forall j \in I,$$

$$\chi_{ij} \leq z_i \quad \forall i \in I_0, j \in I, \chi_{ij}, z_j = \overline{0,1} \quad \forall i \in I_0, j \in I,$$

$$C_{ij}^R = \min \{ C_{ij}^{\theta R}, C_{ij}^{rR} \} \quad \forall i, j \in I, C_j^B = \min \{ C_j^{\theta R}, C_j^{rR} \} \quad \forall j \in I.$$

Задача вирішена за допомогою алгоритму Ефроїмсона та Рея. До наведеної постановки можна ввести обмеження на продуктивність обладнання. Покладаючи  $N_j$  – кількість ліній доступу, підключених до  $j$ , та  $K$  – продуктивність опорного вузла, отримаємо  $\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n N_j \chi_{ij} \leq z_i (K - N_i) \quad \forall i \in I_0$ . Умову

$\chi_{ij} = \overline{0,1}$  можна ослабити до  $0 \leq \chi_{ij} \leq 1$ . В оптимальному розв'язку задачі  $\chi_{ij}$  буде цілим, тому що в її постановці відсутні обмеження на продуктивність вузлів.

Для випадку з одним типом існуючого, нового виносного та нового опорного обладнання в яких реалізується алгоритм Шуфа, в кожному з класів містяться тільки по одному підалгоритму задачі пошуку порядку ЕК [32]. Вони передбачають тільки потенційну можливість подій накладання та заміни. Тоді для кожного вузла можна однозначно визначити одну з трьох стратегій, за якою буде проходити його розвиток  $\forall i, j \in I$ .

$X^1$ ,  $X^2$  та  $X^3$  - множини бінарних змінних, що відповідають кожному з трьох типів стратегій  $X^1 = \{x_j^1 \mid j \in I\}$ ,  $X^2 = \{x_{ij}^2 \mid i, j \in I, i \neq j\}$ ,

$X^3 = \{ \chi_{ij}^3 \mid i, j \in I, i \neq j \}$ . Визначивши множини  $P_\theta = \{ \theta_j \mid j \in I \}$  та  $P_r = \{ r_j \mid j \in I \}$  як сукупність моментів накладання та заміни, стратегію розвитку представимо як систему  $P = (P_\theta, P_r, X)$ . Перелічені типи розвитку є повними та незалежними  $\forall j \in I \chi_j^1 + \sum_{i=1, i \neq j}^n (\chi_{ij}^2 + \chi_{ij}^3) \leq 1$ . На момент підключення ВК, основне обладнання повинно бути встановлене, тобто, якщо  $\theta_j < h \wedge \chi_{ij}^2 = 1$ , або  $\theta_j < h \wedge \chi_{ij}^3 = 1$ , то необхідно  $\chi_i^1 = 1 \wedge \theta_i \leq \theta_j$ , або  $\sum_{k=1; k \neq i, j}^n \chi_{ki}^3 = 1 \wedge r_i \leq \theta_j$ . При функції Хевісайда  $\Gamma(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \geq 0; \\ 0 & \text{при } x < 0; \end{cases}$  умови приймуть вигляд  $\forall i, j \in I, i \neq j$ ,  $\theta_j < h \Rightarrow \chi_{ij}^2 \leq \Gamma(\theta_j - \theta_i) \chi_i^1 + \Gamma(\theta_j - r_i) \sum_{k=1; k \neq i, j}^n \chi_{ki}^2$ ,  $\theta_j < r_j \Rightarrow \chi_{ij}^3 \leq \Gamma(\theta_j - \theta_i) \chi_i^1 + \Gamma(\theta_j - r_i) \sum_{k=1; k \neq i, j}^n \chi_{ki}^3$ .

Виразивши значення ресурсу мережі через значення розвитку кожного вузла як:  $\forall j \in I C_j^1(\theta_j, r_j)$  – значення розвитку ресурсу за стратегією  $K_1$ ,  $\forall i, j \in I i \neq j C_{ij}^2(\theta_j, r_j)$  ( $C_{ij}^3(\theta_j, r_j)$ ) – значення ресурсу розвитку за стратегією  $K_2$  ( $K_3$ ), отримаємо значення розвитку мережі в цілому  $C = \sum_{i=1}^n \left( C_i^1(\theta_j, r_j) \chi_i^1 + \sum_{j=1, j \neq i}^n \left( C_{ij}^2(\theta_j, r_j) \chi_{ij}^2 + C_{ij}^3(\theta_j, r_j) \chi_{ij}^3 \right) \right)$ .

На основі цього, оптимальне значення ресурсу розвитку мережі для генерування параметрів ЕК при допустимих стратегіях перелічених типів подається у вигляді бінарної задачі нелінійного програмування:

$$\min \sum_{i=1}^n \left( C_i^1(\theta_j, r_j) \chi_i^1 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left( C_{ij}^2(\theta_j, r_j) \chi_{ij}^2 + C_{ij}^3(\theta_j, r_j) \chi_{ij}^3 \right) \right) \text{ відносно}$$

$$\theta_j, r_j, \chi_{ij}^1, \chi_{ij}^2, \chi_{ij}^3, \text{ за умов } 0 \leq \theta_j \leq r_j \quad \forall j \in I, \chi_j^1 + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n (\chi_{ij}^2 + \chi_{ij}^3) \leq 1 \quad \forall j \in I,$$

$$\theta_j < h \Rightarrow \chi_{ij}^2 \leq \Gamma(\theta_j - \theta_i) \chi_i^1 + \Gamma(\theta_j - r_i) \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, j}}^n \chi_{ki}^2 \quad \forall i, j \in I, i \neq j,$$

$$\theta_j < r_j \Rightarrow \chi_{ij}^3 \leq \Gamma(\theta_j - \theta_i)\chi_i^1 + \Gamma(\theta_j - r_i) \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i, j}}^n \chi_{ki}^3 \quad \forall i, j \in I, i \neq j,$$

$$\chi_j^1, \chi_{ij}^2, \chi_{ij}^3 = \overline{0,1} \quad \forall i, j \in I.$$

Визначивши функції  $C_j^1(\theta_j, r_j)$ ,  $C_{ij}^2(\theta_j, r_j)$  та  $C_{ij}^3(\theta_j, r_j)$ , сформулюємо ознаку інваріантності оптимальної стратегії розвитку всієї мережі. Для будь-якої пари  $i, j \in I$  функції  $C_j^1(\theta_j, r_j)$ ,  $C_{ij}^2(\theta_j, r_j)$  та  $C_{ij}^3(\theta_j, r_j)$  досягають максимального значення на множині допустимих значень  $\theta_j$  та  $r_j$ . Тоді оптимальна стратегія еволюції мереж з множиною вузлів  $I$  є незмінною. Ці твердження дозволяють на основі вихідних даних однозначно визначити, коли оптимальна стратегія розвитку мережі є незмінною.

Для формулювання задачі в найбільш загальному випадку визначимо стратегію розвитку мережі  $P_\theta$  та  $P_r$  та значення ресурсу розвитку окремих елементів мережі генерування параметрів ЕК як:  $C_{jj}(\theta_j, r_j), \forall i \in I$ ;  $C_{ij}(\theta_j, r_j), \forall i, j \in I: i \neq j$ , та отримаємо  $C_{ij}(\theta_j, r_j) = \alpha_{ij} e^{-\rho\theta_j} + \beta_{ij} \theta_j + \gamma_{ij} e^{-\rho r_j} + \delta_j$ . Залежність коефіцієнтів  $\alpha$ ,  $\beta$  та  $\gamma$  від  $i$  та  $j$  пов'язана з необхідністю урахування значення комунікаційного ресурсу між вузлами  $i$  та  $j$  у випадку використання додаткового обладнання.

Визначимо структуру підключень  $X$  як  $X = \{\chi_{ij} \mid i, j \in I\}$ . Якщо  $\chi_{ij} = 1$ , вузол  $j$  може бути виносом, підключеним до вузла  $i$ , тоді та тільки тоді, коли  $\theta_j < h$ . В іншому випадку на вузлі  $j$  зберігається існуюче обладнання. Отже визначення оптимальної стратегії розвитку мережі в цілому за критерієм мінімального значення ресурсу, в залежності від моментів накладання та заміни нового обладнання, можна сформулювати у вигляді задачі нелінійного програмування:

$$\min \sum_{i, j \in I} C_{ij}(\theta_j, r_j) \chi_{ij} \quad \text{відносно } P = \{P_\theta, P_r, X\} \quad \text{за умов } \sum_{i \in I} \chi_{ij} = 1, \quad \forall j \in I;$$

$$0 \leq \theta_j \leq r_j, \quad \forall j \in I; \quad x_{ij} \leq x_{ii} \Gamma(\theta_j - \theta_i), \quad \forall i, j \in I; \quad x_{ij} = \overline{0,1}, \quad \forall i, j \in I.$$

Однак ці умови складно формалізувати у вигляді обмежень бінарної цілочисельної задачі нелінійного програмування, яка і без того відноситься до класу  $NP$ -складних.

Подальше розв'язання задачі виконане алгоритмічними та комбінаторними методами. Для цього розраховується значення ресурсу мережі  $C^A$ , при використанні стратегії тривалого зростання, яка використана в якості еталону. Згідно з введеним обмеженням, рішення щодо розвитку приймаються на рівні вузла, тому значення ресурсних параметрів для  $i$ -го вузла задаються наступними співвідношеннями:

$$C_i^B(t) = \min\{C_i^{\theta B}(t), C_i^{rB}(t)\}, \quad C_i^R(t) = \min\{C_i^{\theta R}(t), C_i^{rR}(t)\}$$

$$U_i(t) = \begin{cases} U_i^{\theta} & \text{при } D_i^{\theta} \leq D_i^r \\ U_i^r & \text{при } D_i^r \leq D_i^{\theta} \end{cases}, \quad N_i(t) = \begin{cases} N_i^{\theta} & \text{при } D_i^{\theta} \leq D_i^r \\ N_i^r & \text{при } D_i^r \leq D_i^{\theta} \end{cases}$$

де:  $C_i^A$  – існуючим обладнанням;

$C_i^{\theta B}(t)$  – основним, при накладанні;

$C_i^{rB}(t)$  – основним, при заміні;

$C_i^{\theta R}(t)$  – виносним, при накладанні;

$C_i^{rR}(t)$  – виносним, при заміні.

А також прийнявши:

$U_i^{\theta}(t)$  за значення ресурсу одиниці довжини ЗЛ, при накладанні;

$U_i^r(t)$  – значення ресурсу одиниці довжини ЗЛ, при заміні;

$N_i^r$  – число нових ліній для підключення користувачів, введених до кінця періоду дослідження при повній заміні існуючого обладнання;

$N_i^{\theta}(t)$  – кількість ліній, введених до кінця періоду дослідження при накладанні, покажемо, що  $N_i^r$  не залежить від часу в силу того, що як невідкладна, так і відкладена заміна охопить одну й ту саму ємність до кінця періоду дослідження.

Визначимо, на яких вузлах має встановлюватися основне обладнання, на

яких виносне, а які модернізувати недоцільно. Обмеження на витрати та доступність обладнання враховуються параметрами  $M_B(t)$  і  $M_R(t)$ , що задають кількість доступних в момент  $t$  одиниць нового опорного та виносного обладнання. В результаті задача визначення розташування опорного та виносного обладнання, яке забезпечує мінімальну ресурс розвитку мережі, з дотриманням обмежень щодо доступності обладнання приймає від P1.

$$P1: \min \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \left( C_i^B(t) z_{it} + C_i^R(t) x_{it} + C_i^A y_i \right) \right\} \text{ відносно } x_{it}, y_i, z_{it}, \text{ за умов}$$

$$\sum_{t \in T} (z_{it} + x_{it} + y_i) = 1 \quad \forall i \in I, \quad \sum_{t \in T} z_{it} \leq M_B(t), \quad \forall t \in T,$$

$$\sum_{t \in T} x_{it} \leq M_R(t), \quad \forall t \in T, \quad z_{it}, x_{it}, y_i = \overline{0,1}.$$

де бінарні змінні  $x_{it}$ ,  $y_i$  та  $z_{it}$  визначають встановлення ВК, збереження існуючого або встановлення опорного обладнання. Рішенням задачі P1 є три множини  $X = \{x_{it}^*\}$ ,  $Y = \{y_i^*\}$  та  $Z = \{z_{it}^*\}$ , які відповідають мініимальному значенню цільової функції та згідно з якими виконано розділення множини вузлів на три взаємно непересічних класи:  $I_A = \{i \in I \mid y_i^* = 1\}$  – вузли, де залишається існуюче обладнання;  $I_R = \left\{ i \in I \mid \sum_{t \in T} x_{it}^* = 1 \right\}$  – вузли, де вводяться ВК,  $I_B = \left\{ i \in I \mid \sum_{t \in T} z_{it}^* = 1 \right\}$  – вузли, де встановлюється нове опорне обладнання.

Позначивши початкову множину опорних вузлів як  $I_s^o = I_B = \{\beta_1, \dots, \beta_{S_0}\}$ , а – початкову множину потенційних виносів –  $I_r^o = I_R = \{\sigma_1, \dots, \sigma_{r_0}\}$ , ззовні обмежену множину виносів для потенційного опорного вузла  $i$  як  $R_i^c$ , визначимо допустиму схему підключення виносів  $F_i$  для потенційного опорного вузла  $i \quad \forall i \in I_s^o \quad F_i = \{j \mid t_j^* \geq t_i^*; \quad i \in I_s^o, \quad j \in I_r^o\}$ , де  $t_i^*$  – оптимальний час встановлення опорного обладнання на вузлі  $i$ ;  $t_j^*$  – оптимальний час для встановлення виносу на вузлі  $j$ , (тобто  $x_{jt_j^*} = 1$ ), якщо

$t_j^* \geq t_i^*$  інакше ця величина співпадає з  $t_i^*$ . Тоді потенційно допустима множина виносів, підключених до вузла  $i$

$$\forall i \in I \quad R_i = \begin{cases} R_i^c \cap F_i, & \text{якщо } i \in I_s^o, \\ \emptyset, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Для потенційного вносу  $j$  величина  $\gamma_{ij}$  визначає економію за рахунок використання вносу, у порівнянні з розвитком вузла існуючим обладнанням

$$\forall i \in I_s^o, \quad j \in I_r^o \quad \gamma_{ij} = C_j^A - \left[ R_j^* \right] + U_j^* - d_{ij}. \quad \text{Далі виконується наступна}$$

ітеративна процедура. Якщо на даній ітерації  $I_s^m = \emptyset$ , здійснюється перехід до

процедури виділення нових опорних вузлів. Для кожного вузла  $\beta \in I_s^m$

визначається множина дозволених виносів  $P_\beta$ , як перетин множини допустимих

виносів з множиною потенційних виносних вузлів, що залишилися на цій

ітерації  $\forall \beta \in I_s^m \quad P_\beta = R_\beta \cap I_r^m$ . Якщо  $P_\beta = \emptyset$ , переходимо до наступного

опорного вузла. В іншому випадку для вузла  $\beta$ , формулюється дискретна

задача лінійного програмування «про рюкзак». В нашому випадку задача

формулюється як P2

$$P2 \quad \max \left\{ \sum_{\sigma \in P_\beta} \gamma_{\beta\sigma} \xi_{\beta\sigma} \right\} \text{ за умов } \sum_{\sigma \in P_\beta} N_\sigma \xi_{\beta\sigma} \leq V_\beta; \quad \xi_{\beta\sigma} = \overline{0,1}.$$

де  $\xi_{\beta\sigma}$  – бінарна величина, що визначає, чи підключається винос до вузла  $\beta$ .

Розв'язанням цієї задачі є множина  $\Xi_\beta = \{\xi_{\beta\sigma}^*\}$ . На основі отриманої інформації визначається множина  $\Sigma_\beta$  виносів, які підключаються до опорного

вузла  $\beta \quad \Sigma_\beta = \{\sigma_\beta^*\} = \{\sigma \in I_r^m \mid \xi_{\beta\sigma}^* = 1\}$ . Для всіх потенційних опорних вузлів

$\beta \in I_s^m$  визначається ресурс розвитку мережі  $C(\beta)$ , при підключенні всіх

виносів з множини  $\Sigma_\beta$  до опорного вузла  $\beta$  та слідуванні рештою мережі за

тією ж стратегією, що була використана на попередній ітерації. Після цього

визначається оптимальна ресурс розвитку вузла на цій ітерації

$$C^m = \min_{\beta \in I_s^m} C(\beta^m), \text{ оптимальний вибір опорного вузла } \beta^m \in I_s^m : C(\beta^m) = C^m \text{ та}$$

оптимальна множина виносів  $\Sigma^m = \{\sigma^m\} = \{\sigma_{\beta^m}^*\}$ . Для наступної ітерації

множина потенційних опорних вузлів та виносів оновлюється:

$$I_s^{m+1} = I_s^m \setminus \{\beta^m\}, I_r^{m+1} = I_r^m \setminus \Sigma^m.$$

У тому випадку, якщо потенційні опорні вузли не можуть обслуговувати всі потенційні виноси, виділяються додаткові опорні вузли. Це можливо тільки в тому випадку, коли розв'язання задачі P1 не обмежено можливістю отримання нового обладнання, тобто існує можливість придбати обладнання для встановлення додаткових опорних вузлів. Для визначення оптимальної множини виносів, які підключаються до опорного вузла, необхідно розв'язати задачу P2.

Базуючись на її розв'язку, знаходиться множина виносів  $\Sigma_\beta$  та розраховується відповідна ресурс еволюції мережі  $C(\beta)$ . В результаті

процедури оптимізації отримаємо  $B = \{(\beta^m, t^m) \mid z_{\beta^m t^m}^* = 1, m = \overline{1, m'}\}$  – множину оптимальних опорних ВК, з часом їх встановлення;

$\Sigma = \{(\sigma^m, t^m) \mid \sigma^m \in \Sigma^m, x_{\sigma^m t^m}^* = 1, m = \overline{1, m'}\}$  – множину оптимальних виносів,

з часом їх встановлення;  $A = I_A \setminus B$  – множину вузлів, модернізація яких недоцільна.

Беручи за основу розроблену алгоритмічну процедуру оптимізації, створено програмний продукт, який здійснює весь процес оптимізації розвитку мережі, починаючи зі збору вихідних даних та закінчуючи представленням результатів у вигляді звіту. Програмний комплекс умовно поділений на три програми: завдання вихідних даних та навколишнього середовища, пошук оптимального сценарію розвитку мережі, формування звітів про оптимальний сценарій. Найбільш складною та функціонально об'ємною є програма для



пошуку оптимального сценарію розвитку мережі. Ця програма складається з двох модулів: імітаційної моделі еволюції мережі (ІМЕМ) та оптимізатора еволюції мережі (ОЕМ), який створює навколишнє середовище та передає ці дані ІМЕМ. ІМЕМ розраховує грошові потоки, що відповідають еволюції заданої мережі та приводить їх до виду, необхідного для обчислення економічного критерію. Отриманий результат повертається ОЕМ, і процедура оптимізації продовжується. По завершенні роботи формується оптимальний сценарій еволюції мережі. ІМЕМ реалізована у вигляді функціонально закінченого модуля бібліотеки, що динамічно підключається, у зв'язку з чим може бути корисною не тільки ОЕМ, але і для інших задач.

### 3.2.2. Робота розробленої системи визначення порядку ЕК

Структура системи, що підлягає управлінню, є розподіленою, тому управління мережею є розподіленим процесом. Це дозволяє організувати обмін інформацією між процедурами управління для цілей моніторингу і контролю різних фізичних і логічних мережевих ресурсів (ресурсів комутації і передачі).

Для передачі повідомлень використовуються протокол FTAP. Логічна багаторівнева архітектура типу LLA класифікує завдання щодо складності керованих елементів згідно визначеного пріоритету.

Пріоритет мережевих елементів типу NEL відіграє роль інтерфейсу між даними розпаралеленого криптоаналітичного алгоритму Шуфа та службовою інформацією МІВ. Він знаходиться на окремому пристрої, використовує інфраструктуру TMN. Діні паралельного алгоритму розподіляються на комутаційних станціях, системах передачі даних, мультиплексорах мережі.

Рівень управління окремими елементами алгоритму Шуфа типу EML відповідає системам підтримки функціонування OSS, який контролює роботу груп мережевих елементів, що дозволяє управляти групами підзадач розподіленого криптоалгоритму. На цьому рівні реалізуються функції для базових операцій на ЕК, і ця особливість маскується на високому рівні

розподіленого програмування. На цьому етапі відбувається визначення продуктивності обчислювальних ресурсів, оновлення програмних засобів розподіленого алгоритму Шуфа.

На рівні управління мережею NML формується загальна реалізація криптоаналітичного алгоритму, здійснюється контроль взаємодії мережевих елементів, формуються маршрути передачі даних між робочими станціями та серверами, корегується маршрутизація паралельного криптоаналітичного алгоритму, аналізується системна інформація роботи мережі, удосконалюється робота мережі на основі використання розробленого алгоритму.

На рівні управління послугами типу SML доцільно проводити контроль розв'язання підзадач на окремих робочих станціях. Відповідно до загальних принципів LLA на цьому рівні використовуються відомості, що поступили з рівня NML. На цьому етапі перевіряється якість роботи серверів і робочих станцій.

Рівень типу BML підтримує зовнішні контакти і не впливає на час роботи криптоаналітичного алгоритму, оскільки не бере участі у розв'язку підзадач паралельного алгоритму.

Таким чином, рівні типу LLA задають функціональну ієрархію процедур управління криптоаналітичною мережею без фізичної сегментації програмного забезпечення. Отже, використання такої архітектури збільшує ефективність керування роботою розподіленого алгоритму Шуфа та Поларда і дозволяє використовувати відкриті стандартні інтерфейси для організації взаємодії між різними рівнями.

Для дослідження паралельної реалізації  $\rho$  - Поларда метода, скористаємось аналітичною моделлю телекомунікаційної мережі, що відображає залежність ресурсу від продуктивності і кількості вузлів.

$$F(P, N) = (e^{-k} + e^{-N} + 1) \cdot P^{1/2}$$

де  $P$  – продуктивність вузла мережі;  
 $N$  – кількість вузлів;  
 $F$  – ресурс мережі;  
 $k$  – нормований коефіцієнт, що визначається для кожної конкретної мережі.

Рис. 3.9. Продуктивність ресурсу телекомунікаційної мережі для реалізації  $\rho$  - Поларда метода (для  $p=256$  біт).

Дослідження показали, що із зростанням кількості вузлів до 18 штук продуктивність ресурсу збільшується і подальше нарощування вузлів є недоцільним для вирішення задачі дискретного логарифмування методом  $\rho$  - Поларда, для 4608 комп'ютерів. Ресурс досягає свого максимуму при використанні високопродуктивної обчислювальної техніки кластерного типу.

Для дослідження паралельної реалізації алгоритму Шуфа, скористаємось аналогічною моделлю

$$F(P, N) = (e^{-k} + e^{-N} + 1) \cdot (\log P)^8.$$

Рис. 3.10. Продуктивність ресурсу телекомунікаційної мережі для реалізації алгоритму Шуфа (для  $p=256$  біт).

Чисельний експеримент показав, що алгоритм Шуфа потребує значно більшого мережного ресурсу, а саме доцільно використати 256 вузлів телекомунікаційної мережі. Оскільки при більшій їхній кількості, значна частина ресурсу буде задіяна не для розв'язку поставленої задачі, а для обробки мережної інформації.

Дослідження показали, що алгоритм Шуфа є самим ефективним під час визначення інформаційної стійкості алгоритмів шифрування на ЕК. Оскільки алгоритм трудомісткий, то доцільно скористатися паралельними обчисленнями

на основі використання телекомунікаційної мережі, як альтернативу високопродуктивній обчислювальній техніці. Отже доцільно використовувати розроблений метод в криптосистемах, що базуються на еліптичних кривих для захисту інформації на практиці.

## ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз архітектур комп'ютерних мереж та їх системних характеристик. У першому розділі розглянуто основні принципи та поняття комп'ютерних мереж (КМ), еволюцію їх розвитку. Проведено класифікацію КМ за різними ознаками. Вибір комп'ютерної мережі може бути зведений до вибору її топології, протоколів, апаратних засобів, мережевого забезпечення та передавального середовища. Кожен з цих компонентів є відносно незалежним. Наприклад, мережі з однаковою топологією можуть використовувати різні методи доступу, протоколи і мережеве забезпечення. У різних мережах можуть застосовуватись однакові протоколи і (або) мережне програмне забезпечення. Це розширює можливість вибору найбільш оптимальної архітектури комп'ютерної мережі.

У другому розділі проведено аналіз мережевих архітектур першого та другого покоління, перелічені їх характеристики. Описана мережа Петрі та альтернативна мережа FIDONET. Розглянута абстрактна модель для мережних комунікацій та розробки мережевих протоколів OSI. Описаний базовий набір протоколів, відповідальний за розбивання вихідного повідомлення на пакети (TCP), доставку пакетів на вузол адресата(IP) і збирання (відновлення) вихідного повідомлення з пакетів (TCP).

У третьому розділі проаналізовані і досліджені архітектури та трафіки комп'ютерних мереж на основі оцінки їх емерджентності. Показано, що найбільш перспективною архітектурою мережевих технологій опрацювання інформаційних потоків є зірково-магістральна.

Отримано аналітичні вирази характеристик складності формування та опрацювання інформаційних потоків за умови застосування еліптичних кривих, які склали теоретичну основу спрощення часових компонентів алгоритму Шуфа.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Палагин А.В. Системная интеграция средств компьютерной техники: Моногр. / А.В. Палагин, Ю.С. Яковлев – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. — 680 с.
2. Алишов Н.И. Развитые методы взаимодействия ресурсов в распределенных системах / Алишов Н.И. – К.: Сталь, 2009. – 449 с.
3. Алишов Н.И. Оптимизация коммутации пакетов в распределенных системах / Н.И. Алишов // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2004. – №3. – С. 87-95.
4. Жаровський В.С. Україна на шляху до інформаційного суспільства / Жаровський В.С. – К.: ІВЦ „Політехніка”, 2004. – 484 с.
5. Шатт С. Мир компьютерных сетей / С.Шатт – К.: ВНУ, 1996. – 314 с.
6. Буров Є. Комп'ютерні мережі. / Є. Буров – Львів: БАК, 1999 – 468 с.
7. Кулаков Ю.А. Компьютерные сети. / Ю.А. Кулаков, Г.М.Луцкий – К.:Юниор, 1998.–384с.
8. Виснадул Б. Д. Основы компьютерных сетей [Текст] : учебное пособие / Б. Д. Виснадул, С. А. Лупин, С. В. Сидоров, П. Ю. Чумаченко. - М. : ФОРУМ:ИНФРА-М, 2007. - 272 с. - ISBN 5-8199-0294-7.
9. Майкрософт. Основы компьютерных сетей [Текст] / Майкрософт.- Бином, 2007. - 160 с. - ISBN: 978-5-94774-752-2.
10. An Ethernet Address Resolution Protocol [Електронний ресурс] / Protocol specification. Request for Comments: 826. - November 1982. - Режим доступу : <http://tools.ietf.org/html/rfc826>. - Назва з сторінки Інтернету.
11. Domain names - implementation and specification [Електронний ресурс] / Standard. Request for Comments: 1035. - November 1987. - Режим доступу : <http://tools.ietf.org/html/rfc1035>. - Назва з сторінки Інтернету.
12. Администратор сетевой операционной системы NetWare v.3.11.– К.:АО "Квазар–Микро", 1994.–191с.
13. Е.Н. Компьютерные сети. / Е.Н. Баня – К.:СВІТ, 1999.–112с.

14. Галіцин В.К., Багатокористувацькі обчислювальні системи та мережі. / В.К. Галіцин, Ф.А. Левченко – К.:КНЕУ, 1998.–360с.
15. Горлач В.М. Побудова та адміністрування INTRANET-мереж Ч.1. Основи мережних технологій. Тексти лекцій. / В.М. Горлач, В.М. Макар – Львів: Львів. ун–т, 1999.-45с.
16. Горлач В.М., Побудова та адміністрування INTRANET-мереж Ч.2. Адміністрування мереж Windows NT. Тексти лекцій. / В.М. Горлач, В.М. Макар – Львів: Львів. ун–т, 1999.-41с.
17. Гук М. Локальные сети Novell. Карманная энциклопедия. / М. Гук – СПб:Питер, 1996.–288с.
18. Фролов А.В. Сети компьютеров в вашем офисе. / А.В. Фролов, Г.В. Фролов – М.:Диалог–МИФИ, 1995.–272с.
19. Рикалюк Р.Є. Вступ до комп'ютерних мереж. Текст лекцій. / Р.Є. Рикалюк, О.М. Стягар, П.В. Данчак – Львів: Львів. ун–т, 1996.–60с.
20. Николайчук Я.М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем. / Навчальний посібник / Я.М. Николайчук, Н.Я. Возна, І.Р. Пітух – Тернопіль: ТзОВ „Тернограф”, 2010. – 392 с.
21. Порєв Г.В. Архітектура сучасних комп'ютерних мереж: Методичний посібник. / Г.В. Порєв — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008— 98 с.
22. Столлингс В. Структурная организация и архитектура компьютерных систем., 5-е изд.: Пер. с англ. / В. Столлингс – М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. - 896с.
23. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети.: Пер. с англ. / В. Столлингс – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
24. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. / Э. Таненбаум – СПб.: Питер, 2003. – 992с.
25. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації. Монографія / Я. М. Николайчук – Тернопіль: ТзОВ "Терно-граф", 2008. – 536с.

26. А.В. Палагин А.В. Микропроцессорные вычислительные системы обработки информации: проектирования и отладка / А.В. Палагин, Е.Л. Денисенко, Р.И. Белицкий, В.И. Вигалов. – К.: Наукова думка, 1993. – 352с
27. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер – СПб.: Питер, 2000. – 672 с
28. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем. / Дж. Мартин - М.: Финансы и статистика, 1984. – 196с.
29. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. / Дж. Мартин – М.: Мир, 1980. – 662с.
30. Круцкевич Перспективи розвитку комп'ютерних мереж з реконфігурацією архітектури на базі пам'яті колективного доступу / Н.Д. Круцкевич // Вісник «Радіоелектроніка та телекомунікації» Національного університету "Львівська політехніка", Львів, 2004, №508, С. 240 – 245.
31. Y. Nykolaychuk Architecture and system characteristic of distributed computer network with autonomus sensor equipment / Y. Nykolaychuk, N. Krutskevych, O. Zastavnyy // Proc. of the International Conf."Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science" TCSET 2006. – Lviv-Slavsko (Ukraine). – P. 394 – 398с.
32. Якименко І.З. Прискорення алгоритму Шуфа методом паралельних обчислень / І.З. Якименко, А.А. Хомінчук // Матеріали дванадцятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, ТДТУ, 14-15 травня 2008 р. – С:116.