

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ МІЖНАРОДНИХ ВІДНОСИН  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
С.М. Лобода

“ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ  
“МАГІСТР”**

**Тема:** “ Оптимізація вибору засобів комп'ютерних мереж передачі  
мультимедійного трафіка ”

**Виконавець:** студент групи 213М Супруна Руслана Віталійовича

**Керівник:** Мелешко Микола Андрійович

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ ст. викладач Таран Віктор Миколайович

Київ 2020

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет** міжнародних відносин  
**Кафедра** комп'ютерних мультимедійних технологій  
**Освітнього ступеня** магістр  
**Спеціальність** 186 "Видавництво та поліграфія"

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач випускової кафедри  
Лобода С.М.  
" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р

## ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проекту студента  
Супруна Руслана Віталійовича

1. Тема проекту: «Оптимізація вибору засобів комп'ютерних мереж передачі мультимедійного трафіка»  
затверджена наказом ректора №1869/ст від " 01 " жовтня 2020 р.
2. Термін виконання проекту: з 7 жовтня 2019 р. по 21 грудня 2020 р.
3. Вихідні данні до проекту: програмний продукт розробити за допомогою системи візуального проектування Visual Studio.
4. Зміст пояснювальної записки:
  1. Аналіз предметної області «Оптимізація вибору засобів комп'ютерних мереж передачі мультимедійного трафіка».
  2. Аналіз вимог.
  3. Структура проекту.
  4. Прототип проекту.
5. Перелік обов'язкових слайдів презентації:
  1. Тема, виконавець, керівник.
  3. Вимоги до програмного засобу.
  4. Структура засобу, діаграма класів
  5. Інтерфейс програмного засобу
  6. Демонстрація роботи прототипу засобу

2

Існуючи методики, аналіз недоліків, постановка завдання.

## 6. Календарний план-графік

№ пор	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Ознайомлення з постановкою задачі та вивчення літератури. Складання графіку роботи	01.10.2020р.- 05.10.2020р.	
2.	Написання 1 розділу, представлення керівнику	05.10.2020р.- 10.10.2020р.	
3.	Написання 2 розділу, представлення керівнику	10.10.2020р.- 17.10.2020р.	
4.	Написання 3 розділу, представлення керівнику	18.10.2020р.- 22.10.2020р.	
5.	Написання 4 розділу, представлення керівнику	22.10.2020р.- 25.10.2020р.	
6.	Загальне редагування та друк пояснювальної записки, графічного матеріалу	25.10.2020р.- 30.10.2020р.	
7.	Проходження нормо-контролю, перепліт пояснювальної записки.	01.11.2020р.- 05.11.2020р.	
8.	Розробка тексту доповіді. Оформлення графічного матеріалу для презентації	05.11.2020р.- 10.11.2020р.	
9.	Отримання відгуку керівника, рецензії.	10.11.2020р.- 22.11.2020р.	
10.	Підготовка матеріалів для передачі секретарю ДЕК (ПЗ, ГМ, CD-R з електронними копіями ПЗ, ГМ, презентації, відгук керівника, рецензія, довідка про успішність, 1 папка, 1 конверт)	02.12.2020р.- 15.12.2020р.	

## 7. Дата видачі завдання

Керівник:

Мелешко М.А.

Завдання прийняв до виконання:

Супрун Р.В.

Дата \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту «Оптимізація вибору засобів комп'ютерних мереж передачі мультимедійного трафіка».

**Об'єкт дослідження** – розробка і реалізація об'єктно-орієнтованої імітаційної моделі мультисервісної мережі.

**Мета дипломного проекту** – оптимізація мереж передачі мультимедійного трафіку.

**Метод розробки** – об'єктно-орієнтований підхід.

**Технічні та програмні засоби** – персональний комп'ютер з операційною системою Linux.

**Результати** розподілений адаптивний алгоритм IP-маршрутизації зі зворотним зв'язком DARL

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ .....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ «Комп'ютерна мережа та мультимедійний трафік».....	9
1.1. Комп'ютерна мережа або мережа передачі даних.....	9
1.2. Класифікація мультимедійного трафіку .....	28
РОЗДІЛ 2. ПЕРЕДАЧА МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ .....	37
2.1. Особливості передачі мультимедійного трафіку в безпроводних мережах .....	37
2.2. Протоколи передачі мультимедійного трафіку.....	44
РОЗДІЛ 3. Шляхи модернізації та оптимізації комп'ютерних мереж для передачі мультимедійного трафіку.....	50
3.1. Оптимізація роботи локальної мережі .....	50
3.2. Модернізація магістральних мереж .....	60
РОЗДІЛ 4. Розробка і реалізація об'єктно-орієнтованої імітаційної моделі мультисервісної мережі для передачі мультимедійні трафіку з адаптивної маршрутизації .....	69
4.1. Класифікації математичних моделей комп'ютерних мереж.....	69
4.2. роводимо аналіз існуючого стандартного алгоритму маршрутизації в Інтернеті .....	73
4.3 Розробка адекватної об'єктно-орієнтованої імітаційної моделі мультисервісної IP-мережі .....	77
4.4 Аналіз ефективності роботи алгоритму DARL .....	85
Висновок.....	89
Джерела та посилання.....	90

## **ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ**

RTP - Real-Time Protocol

QoS - Quality of Service

ЕОМ - електронно-обчислювальна машина

DARL - Distributed Adaptive Routing with Loopback

VoIP - Voice over IP

## ВСТУП

Характерною тенденцією сучасного етапу розвитку комп'ютерних мереж є принципова зміна структури переданого трафіку. Аналіз статистики агрегованого трафіку більшості мереж доступу в Інтернет явно показує високу частку в ньому аудіо- і відео- потоків даних. Можна точно стверджувати, що трафік мереж доступу в Інтернет, а також мереж великих підприємств, став мультимедійним. При цьому постійно розробляються і впроваджуються нові алгоритми, протоколи і технології, які в певній мірі покращують якість передачі трафіку реального часу в IP-мережах. Наслідком цього є істотне ускладнення архітектури мереж TCP / IP, які тепер характеризується не просто як мережі передачі даних, а як мультисервісні.

Все це робить застосування апарату аналітичного моделювання для дослідження новостворюваних алгоритмів і протоколів досить складним, а часто і неможливим. Альтернативним підходом є імітаційні моделі комп'ютерних мереж, які можуть бути як завгодно близькі до моделюється системі. При цьому в більшості існуючих мережевих симуляторів створення і впровадження модуля знову розробляється протоколу зачіпає якщо не всю, то більшу частину архітектури імітаційної моделі мережі, так як виникає необхідність модифікації інших модулів. Таким чином, при впровадженні нових і заміни існуючих мережевих об'єктів виникає необхідність зміни концептуальної структури моделі. Як наслідок, виникає залежність між розробниками, що небажано. У зв'язку з цим актуальною є задача застосування концепції об'єктно-орієнтованого проектування та аналізу для побудови імітаційної моделі мультисервісної мережі.

# РОЗДІЛ 1

## Аналіз предметної області “Комп'ютерна мережа та мультимедійний трафік”

### 1.1. Комп'ютерна мережа або мережа передачі даних

Комп'ютерна мережа або мережа передачі даних є телекомунікаційною мережею, яка дозволяє комп'ютери для обміну даних. У комп'ютерних мережах обчислювальні пристрої, що працюють у мережі, обмінюються даними між собою за допомогою каналу передачі даних. Зв'язки між вузлами встановлюються за допомогою кабельних носіїв або бездротових носіїв. Найвідоміша комп'ютерна мережа - Інтернет.

Мережеві комп'ютерні пристрої, які створюють, маршрутизують і завершують дані, називаються мережевими вузлами. Вузли можуть включати такі хости, як персональні комп'ютери, телефони, сервери, а також мережеве обладнання. Можна сказати, що два таких пристрої об'єднані в мережу, коли один пристрій здатний обмінюватися інформацією з іншим пристроєм, незалежно від того, чи мають вони прямий зв'язок між собою. Комп'ютерні мережі відрізняються середовищем передачі, яке використовується для передачі їхніх сигналів, протоколами зв'язку для організації мережевого трафіку, розміром мережі, топологією та організаційними намірами. Комп'ютерні мережі підтримують величезну кількість програм і послуг, таких як доступ до всесвітньої павутини, цифрове відео, цифрове аудіо, спільне використання серверів програм та сховищ, принтерів та факсів, а також використання програм електронної пошти та обміну миттєвими повідомленнями, а також багато інших.

У більшості випадків специфічні для додатків комунікаційні протоколи шаруються (тобто передаються як корисне навантаження) над іншими більш загальними протоколами зв'язку.

Властивості

Комп'ютерні мережі можна вважати

галуззю електротехніки, телекомунікацій, обчислювальної



техніки , інформаційних технологій або обчислювальної техніки , оскільки вона спирається на теоретичне та практичне застосування відповідних дисциплін.

Комп'ютерна мережа сприяє міжособистісним комунікаціям, дозволяючи користувачам ефективно та легко спілкуватися за допомогою різних засобів: електронної пошти, обміну миттєвими повідомленнями, чатів, телефону, відеодзвінків та відеоконференцій. Надання доступу до інформації на спільних пристроях зберігання є важливою особливістю багатьох мереж. Мережа дозволяє обмінюватися файлами, даними та іншими типами інформації, що надає авторизованим користувачам доступ до інформації, що зберігається на інших комп'ютерах мережі. Мережа дозволяє спільно використовувати мережеві та обчислювальні ресурси. Користувачі можуть отримувати доступ та використовувати ресурси, що надаються пристроями в мережі, наприклад, друк документа на спільному мережевому принтері. Розподілені обчислення використовують обчислювальні ресурси в мережі для виконання завдань. Комп'ютерна мережа може використовуватись як комп'ютерні зломщики для розгортання комп'ютерних вірусів або комп'ютерних хробаків на пристроях, під'єднаних до мережі, або для запобігання доступу цих пристроїв до мережі через атаку відмови в обслуговуванні. Із застосуванням своєї системи підприємство отримує можливість оптимізувати витрати, спростити внутрішній документообіг, вдосконалити облік і аналіз потреб різних відділів і служб. Процес проведення інвентаризації виробничих активів значно спрощується і займає набагато менше часу, роблячи більш ефективним співробітництво між відділами.

Існують локальні (Local Area Network) та глобальні мережі (Wide Area Network).

Локальні мережі. У локальних мережах інформація передається на невелику відстань. Локальні мережі поєднують комп'ютери, що розташовані недалеко один від одного. Для передачі інформації використовується високошвидкісний канал передачі даних, швидкість у якому приблизно така сама, як швидкість внутрішньої шини комп'ютера.

## ФІЗИЧНІ ТА ЛОГІЧНІ ТОПОЛОГІЇ

Існує два типи топологій: фізична та логічна. Фізична топологія мережі відноситься до компонування кабелів, комп'ютерів та іншої периферії. Спробуйте уявити себе в кімнаті з невеликою мережею, ви можете бачити мережеві кабелі, що виходять з кожного комп'ютера, що є частиною мережі, потім ці кабелі підключаються до концентратора або комутатора. Ви дивитесь на фізичну топологію цієї мережі!

Логічна топологія - це метод, що використовується для передачі інформації між комп'ютерами. Іншими словами, дивлячись на ту саму кімнату, якби ви спробували побачити, як працює мережа з усіма комп'ютерами, що розмовляють (згадайте про комп'ютери, що генерують трафік, і пакети даних, що йдуть всюди в мережі), ви б дивилися на логічне частина мережі. Те, як комп'ютери будуть розмовляти між собою та напрямок руху, контролюється різними протоколами (наприклад, Ethernet) або, якщо хочете, правилами.

Якби ми використовували токен-кільце, тоді фізична топологія повинна була б змінитися, щоб відповідати вимогам того, як працює протокол кільцевого маркера (логічно).

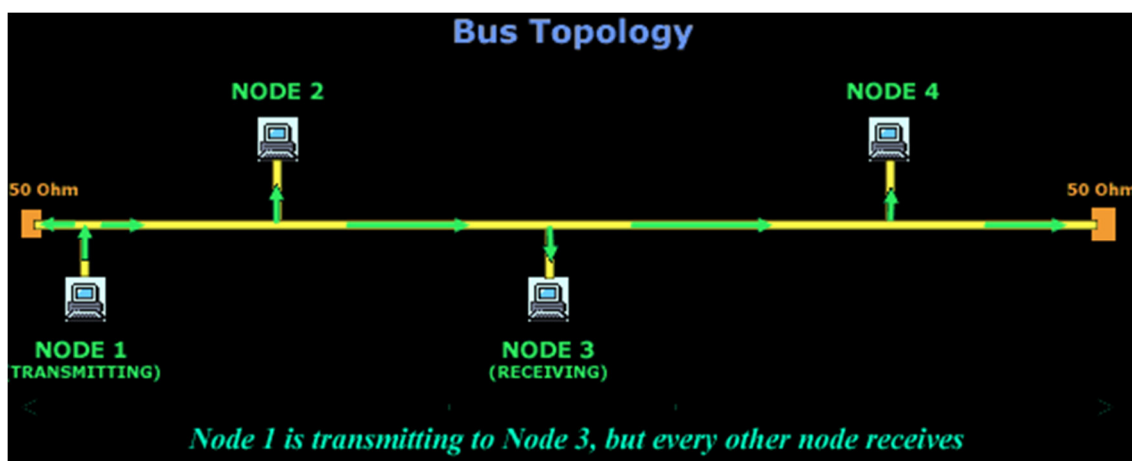
Якщо все це все ще бентежить, розгляньте це: Фізична топологія описує схему мережі, подібно до того, як карта показує схему різних доріг, а логічна топологія описує, як дані передаються по мережі або як машини можуть подорожувати (напрямок і швидкість) на кожній дорозі на карті.

Найпоширенішими типами фізичних топологій, які ми збираємося проаналізувати, є: шина, концентратор / зірка та кільце.

### *ТОПОЛОГІЯ ФІЗИЧНОЇ ШИНИ*

Топологія автобусів - досить стара новина, і ви, мабуть, не побачите багато з цього в жодному сучасному офісі чи будинку.

За допомогою топології шини всі робочі станції підключаються безпосередньо до основної магістралі, яка несе дані. Трафік, що генерується будь-яким комп'ютером, буде проходити через магістраль і отримуватиметься на всіх робочих станціях. Це добре працює в невеликій мережі з 2-5 комп'ютерів, але із збільшенням кількості комп'ютерів збільшується і мережевий трафік, і це може значно зменшити продуктивність та доступну пропускну здатність вашої мережі.



Як ви можете бачити у наведеному вище прикладі, усі комп'ютери під'єднані до безперервного кабелю, який з'єднує їх по прямій. Стрілки чітко вказують, що пакет, генерований Вузлом 1, передається на всі комп'ютери в мережі, незалежно від місця призначення цього пакета.

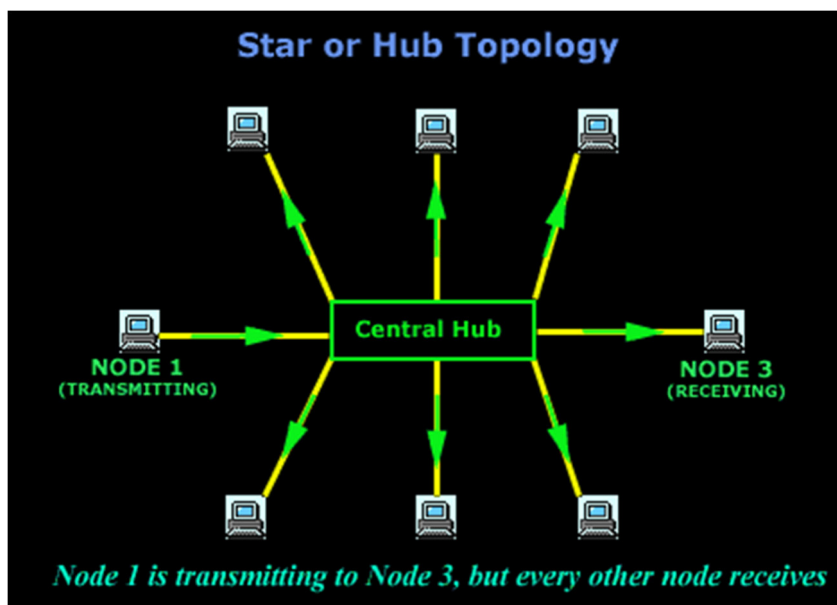
Крім того, через спосіб передачі електричних сигналів по цьому кабелю, його кінці повинні бути закінчені спеціальними термінаторами, які працюють як "амортизатори", поглинаючи сигнал, щоб він не відображався назад, звідки він надійшов. Значення 50 Ом було обрано після ретельного

врахування всіх електричних характеристик використовуваного кабелю, напруги та сигналу, що проходить через кабелі, максимальної та мінімальної довжини шини та декількох інших.

Якщо шина (довгий жовтий кабель) пошкоджена де-небудь на своєму шляху, це, безсумнівно, призведе до того, що мережа перестане працювати або, щонайменше, спричинить великі проблеми зв'язку між робочими станціями.

Thinnet - 10 Base2, також відомий як коаксіальний кабель (чорний за кольором) та Thicknet - 10 Base 5 (жовтий за кольором), використовується в таких типах топологій.

### ТОПОЛОГІЯ ФІЗИЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА АБО ЗІРКИ



Топологія Star або Hub - одна з найпоширеніших топологій мережі, що зустрічається у більшості офісів та домашніх мереж. Він став дуже популярним на відміну від типу автобуса (про який ми щойно говорили), через вартість та простоту усунення несправностей.

Перевага зіркоподібної топології полягає в тому, що якщо один із комп'ютерів на зоряній топології виходить з ладу, тоді лише вийшов з ладу

комп'ютер не може надсилати або приймати дані. Решта мережі функціонує нормально.

Недоліком використання цієї топології є те, що оскільки кожен комп'ютер підключений до центрального концентратора або комутатора, якщо цей пристрій виходить з ладу, виходить з ладу вся мережа!

Класичним прикладом цього типу топології є UTP (10 базових Т), який зазвичай має синій колір. Особисто мені це нудно, тому я вирішив вийти і придбати собі зелений, червоний та жовтий кольори :)

Топологія локальних мереж. Топологія мережі — це її геометрична форма або фізичне розташування комп'ютерів по відношенню один до одного. Існують такі типи топологій: зірка, кільце, шина, дерево, комбінована.

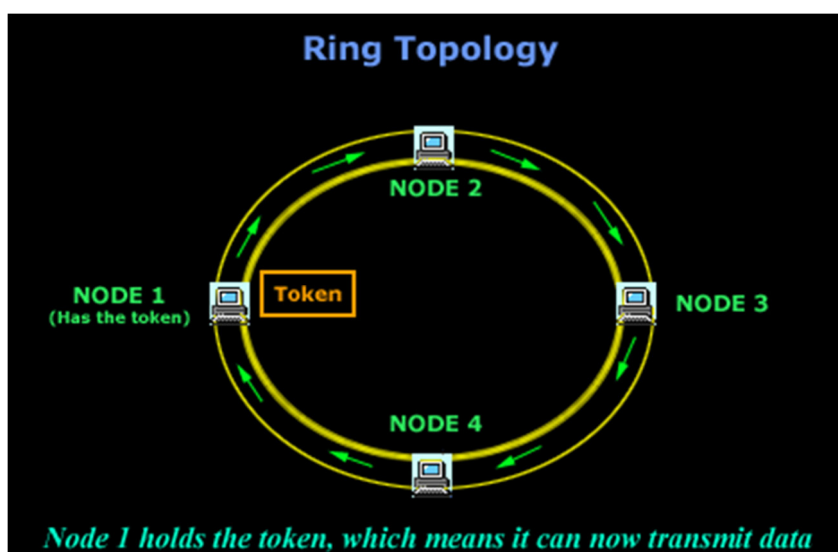
Мережа у вигляді зірки (рис. 1.1) містить центральний вузол комутації (мережевий хаб, мережевий сервер), до якого посилаються всі повідомлення з вузлів (робочих станцій).



Рис. 1.1. Структура мережі типу «Зірка»

## ТОПОЛОГІЯ ФІЗИЧНОГО КІЛЬЦЯ

У кільцевій топології комп'ютери з'єднані одним колом кабелю. На відміну від топології шини, немає закінчених кінців. Сигнали об'їжджають петлю в одному напрямку і проходять через кожен комп'ютер, який діє як ретранслятор, щоб посилити сигнал і надіслати його на наступний комп'ютер. У більшому масштабі кілька локальних мереж можуть бути з'єднані між собою в кільцевій топології за допомогою коаксіального або волоконно-оптичного кабелю Thicknet.



Метод передачі даних по кільцю називається передачею токенів. Цифровий ринг ІВМ використовує цей метод. *Маркер* являє собою спеціальну серію бітів, який містить інформацію управління. Володіння маркером дозволяє мережевому пристрою передавати дані в мережу. Кожна мережа має лише один маркер.

Мережа у вигляді кільця (рис.1.2) має замкнений канал передачі даних в одному напрямку.

Інформація передається послідовно між адаптерами робочих станцій доти, доки не буде прийнята отримувачем.

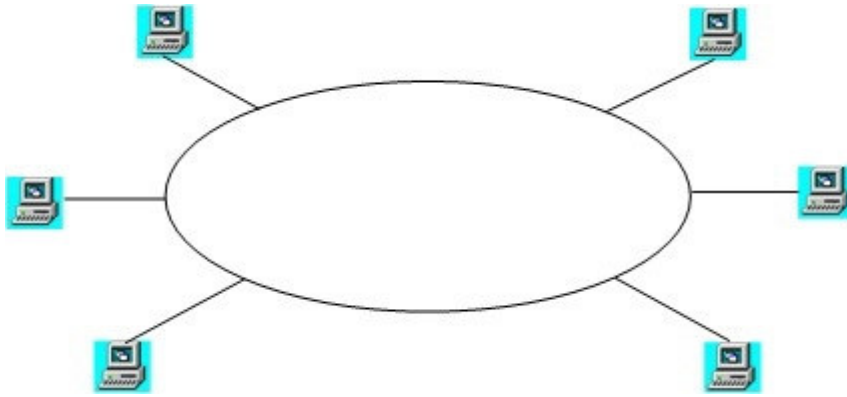


Рис.1.2. Структура мережі типу «Кільце».

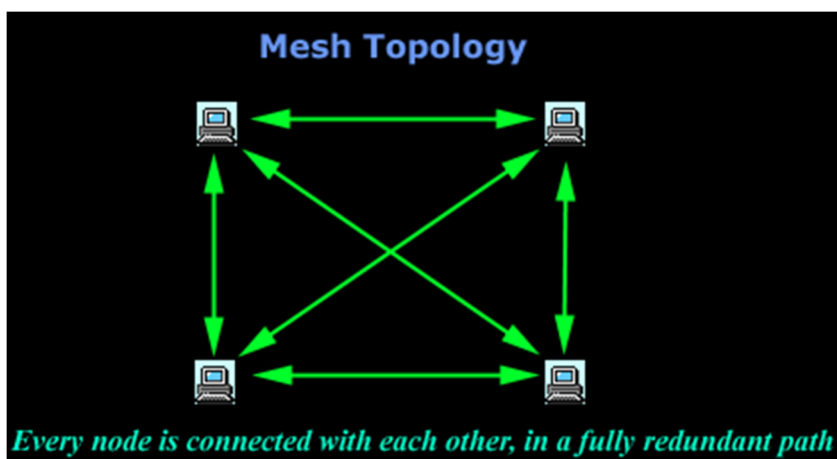
Топологія «Шина» використовує як канал для передачі даних, коаксіальний кабель. Усі комп'ютери під'єднуються безпосередньо до шини (рис.1.3).



Рис.1.3. Структура мережі типу «Шина»

У мережі з топологією «Шина» дані передаються в обох напрямках одночасно.

## ТОПОЛОГІЯ ФІЗИЧНОЇ СІТКИ



У сітчастій топології кожен комп'ютер з'єднаний з кожним іншим комп'ютером окремим кабелем. Ця конфігурація забезпечує надлишкові шляхи в новій роботі, тому, якщо один комп'ютер підірветься, ви не

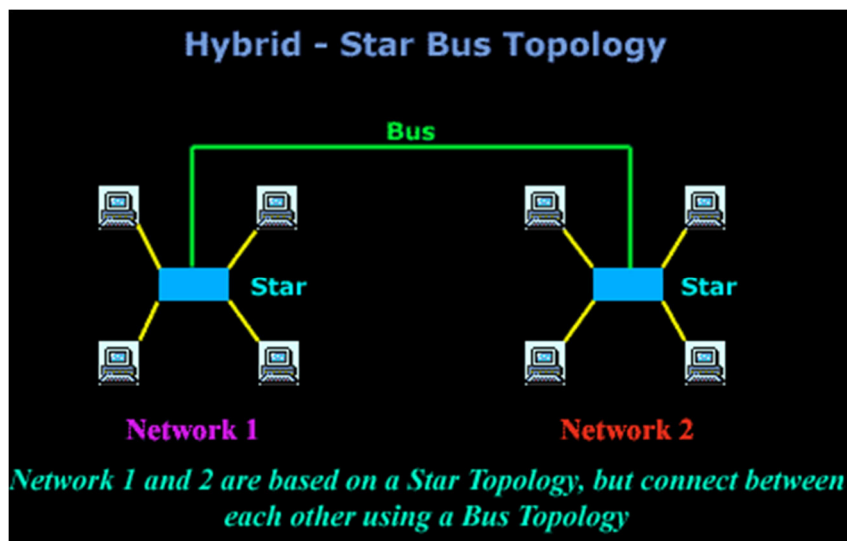
втратите мережу :) У великому масштабі ви можете підключити кілька локальних мереж за допомогою сітчастої топології з орендованими телефонними лініями, коаксіальним кабелем Thicknet або волоконно-оптичним кабелю.

Знову ж таки, великою перевагою цієї топології є можливість резервного копіювання, забезпечуючи безліч шляхів через мережу.

### *ФІЗИЧНА ГІБРИДНА ТОПОЛОГІЯ*

З гібридною топологією дві або більше топології поєднуються, утворюючи цілісну мережу. Наприклад, гібридна топологія може бути комбінацією топології зірки та шини. Вони також є найпоширенішими у використанні.

### *ЗОРЯНИЙ АВТОБУС*



У топології зіркової шини декілька мереж топології зірки пов'язані з шинним з'єднанням. У цій топології, якщо комп'ютер вийде з ладу, це не вплине на решту мережі. Однак якщо центральний компонент або концентратор, який приєднує всі комп'ютери в зірці, виходить з ладу, то у



вас виникають великі проблеми, оскільки жоден комп'ютер не зможе обмінюватися даними.

Глобальні мережі. Комп'ютери глобальної мережі можуть знаходитися в різних містах і навіть країнах. Основу середовища передачі інформації глобальних мереж складають вузли комутації, які пов'язані між собою за допомогою каналів передачі даних.

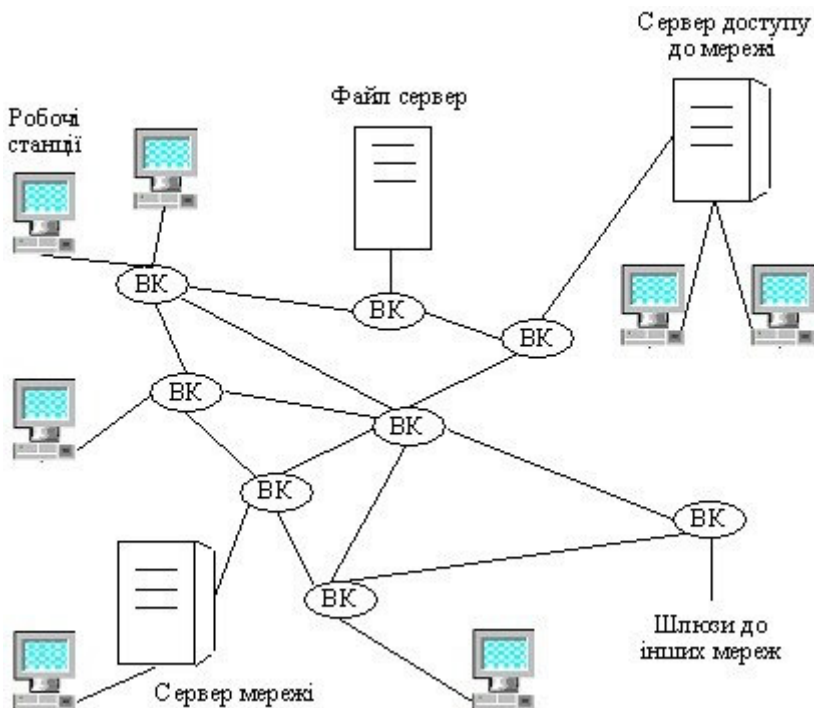


Рис.1.4. Структура глобальної комп'ютерної мережі

У глобальних мережах використовується декілька виділених серверів. Управляє роботою мережі мережевий сервер. Може існувати декілька файл-серверів, які використовуються для зберігання великих обсягів інформації та організації доступу з робочих станцій.

Структура глобальної мережі зображена на рис.1.4.

Технічні засоби комп'ютерних мереж. Мережеві пристрої локальних мереж.

Підключення комп'ютерів до мережі виконується за допомогою спеціальних пристроїв — мережевих контролерів (адаптерів), які

забезпечують взаємодію робочих станцій. З'єднання мережевих компонентів виконується за допомогою кабелів.

Адаптер приймає дані з шини комп'ютера і перетворює їх у послідовний бітовий код, що використовується під час передачі по кабелю. Адаптер може бути автономним пристроєм або платою. Кожна плата і кожний комп'ютер має унікальну адресу в мережі. (Ці адреси «зашиті» в мікросхеми).

Тип кабеля для з'єднання мережевих компонентів визначає максимальну швидкість передачі даних та можливу віддаленість комп'ютерів один від одного. Для передачі інформації у мережах використовуються: коаксіальний кабель, скручена пара напівпровідників, оптоволоконний кабель.

Коаксіальний кабель поділяється на товстий та тонкий.

Скручена пара може складатися із сукупності екранованих та неекранованих дротів. Неекрановані кабелі залежно від частоти поділяються на 3, 4, 5 категорії (відповідно 15, 20, 10 МГц). Від категорії залежить можлива відстань зв'язку. Екрановані кабелі мають більш високу частоту (до 300 МГц).

Для підключення кабелів «скручена пара» використовується такий самий роз'єм, як і в телефонних лініях.

Оптоволоконний кабель забезпечує швидкість передачі даних в декілька Гбіт/с. Він значно тонший, ніж звичайний кабель.

Мережеві пристрої глобальних мереж. Під час передачі даних телефонними каналами зв'язку використовуються модеми. Модем — це пристрій, який перетворює цифрові сигнали на аналогові і навпаки. Модеми бувають з амплітудною, частотною та фазовою модуляціями. Методи передачі — асинхронний, синхронний. Апаратна реалізація модемів можливі внутрішня та зовнішня. Внутрішні модеми являють собою плату, яка вставляється у системний блок комп'ютера. Зовнішні модеми підключаються через СОМ-порти.

Управління функціонуванням модемів відбувається за допомогою спеціального програмного забезпечення. Такі системи як Microsoft Office у своєму складі містять відповідні програми.

Вузли комутації — це процесори, що виконують проміжну обробку пакетів та їх подальшу маршрутизацію.

З'єднання різних мереж між собою відбувається за допомогою мостів, шлюзів та маршрутизаторів.

Міст — це пристрій, що з'єднує дві мережі, які побудовані за різними технологіями. Міст виконує перерозподіл інформаційних потоків між мережами.

Маршрутизатор — це пристрій, що маршрутизує дані між мережами як з однаковою технологією, так і з різною. Він визначає оптимальний маршрут передачі даних.

Шлюз — пристрій для з'єднання локальних та глобальних мереж.

Вважаючи, що глобальні та локальні мережі мають різні протоколи передачі даних, шлюзи застосовуються для перетворення даних з одного формату на інший. Шлюзи також можуть використовуватись для підключення робочих станцій до глобальних мереж.

Комп'ютери у мережі поділяються на сервери та робочі станції (клієнти).

Сервери — це комп'ютери, які надають частину своїх ресурсів для загального користування абонентам мережі. Залежно від типу ресурсу існують файл-сервери, сервери друкування, модем-сервери та ін. Файл-

сервери виділяють свій дисковий простір та файли для загального користування. Сервери друкування управляють мережевим принтером, на який надходять завдання зі всієї мережі. Сервери можуть бути призначеними та непризначеними.

Призначені сервери займаються тільки організацією обслуговування запитів, що надходять із мережі, а непризначені, крім того, працюють зі своїми прикладними програмами та користувачами.

Фраза глобальна мережа передає оманливий образ єдиної унітарної мережі. Насправді глобальна мережа буде взаємодіючою колекцією мереж, що підтримує мультимедійні програми, що включають дані, аудіо, графіку, відео, зображення та анімацію. Ця мережа запропонує економічно ефективні, високопродуктивні послуги, включаючи якісне відео. Мережа буде масштабованою для підтримки мільйонів користувачів, а також гнучкою та розширюваною для розміщення майбутніх програм.

Глобальна мережа буде неоднорідною за багатьма вимірами. Буде багато складових мереж, включаючи загальнодоступну телефонну мережу, Інтернет, розширення поточних систем розподілу CATV, супутникові мережі, пакетні радіомережі та локальні мережі. Ці мережі індивідуально та колективно включають різні технології передачі, включаючи волоконну оптику, дротову пару, коаксіальний кабель, мікрохвильову піч, радіо та інфрачервону бездротову мережу. Будуть різноманітні термінали з широкими можливостями для відображення, відтворення та обробки, починаючи від бездротових персональних цифрових помічників, що працюють від акумуляторів, або КПК і ПК, і закінчуючи багатопроцесорними суперкомп'ютерами.

Ця неоднорідна інфраструктура мереж та кінцевого обладнання підтримуватиме широку та динамічну суміш програм, що задовольнять потреби невеликих спеціалізованих груп користувачів (наприклад, користувачів, що віддалено запускають суперкомп'ютерні програми, що вимагають дуже високої пропускної здатності зв'язку), а також загальнихтакі програми, як телефонія, електронна пошта, відеоконференції,

доставка інформації та розваг та електронна комерція з мільйонами користувачів.

Кілька основних галузей (програмне забезпечення, напівпровідники, комп'ютери, телекомунікації та постачальники вмісту), десятки стандартних органів та сотні постачальників обладнання та програмного забезпечення візьмуть участь у розробці та впровадженні цієї глобальної мультимедійної мережі.

В значній мірі не знаючи про задіяні технології та організації, користувачі хочуть, щоб додатки працювали безперебійно по всій мережевій інфраструктурі, а програми та мережі мали належне масштабування та налаштування відповідно до детальних технологічних компонентів. Користувачі можуть хотіти, щоб їх програми обмежувались частиною мережі (а отже, і підмножиною інших користувачів) або обладнанням певного постачальника. Більшість залучених сторін - користувачі, провайдери послуг, постачальники контенту та постачальники обладнання - захочуть гнучку та динамічну мережу, яка може масштабуватися та розвиватися для задоволення будь-яких вимог, що пред'являються до неї, та для розміщення нових, непередбачуваних додатків без значної дислокації та інвестицій. .

Ці міркування свідчать про те, що глобальна мережа повинна мати наступні п'ять атрибутів:

◊

Неоднорідність - здатність мати справу з великим розмаїттям транспортних та кінцевих технологій та програм.

Якість обслуговування - здатність резервувати ресурси в мережі та термінальних пристроях, щоб забезпечити виконання певних перцептивних або об'єктивних показників ефективності.

Мобільність - можливість забезпечити рухливу точку доступу до мережі.

Розширюваність - можливість розміщення різноманітних нових додатків та користувачів у майбутньому. Є два аспекти розширюваності: по-перше, всі архітектурні особливості мережі повинні масштабуватися до довільного розширення потреб користувачів та програм; по-друге, архітектура повинна бути здатною враховувати нові технології та додатки.

Безпека та надійність - включаючи можливість гарантувати, що комунікації користувачів не перехоплюються та не відстежується їх місцезнаходження, а також забезпечувати високу доступність мережевих послуг.

Наступний приклад ілюструє деякі з цих атрибутів. Алгоритми стиснення аудіо та відео у глобальній мережі повинні виконувати набагато більше, ніж мінімізувати бітрейт, як це було раніше. Вони повинні мати можливість масштабування до різноманітних транспортних сценаріїв, від схеми до комутації пакетів, від широкосмугової волоконної оптики до бездротової мережі, від високої надійності (волоконна) до низької надійності (мобільнабездротовий), а також від низького часу джиттера (з постійною швидкістю передачі даних або з комутацією ланцюга) до передачі з великим джиттером. Алгоритми стиснення повинні мати можливість працювати з об'єднанням декількох із цих сценаріїв передачі, маючи справу, наприклад, із широкосмуговими магістральними з'єднаннями з бездротовим доступом та без нього.

Ці алгоритми також повинні мати можливість масштабування до різних рівнів оброблювальної потужності та роздільної здатності в приймальних терміналах, забезпечуючи при цьому найкращу суб'єктивну якість. Вони також повинні забезпечити нові типи послуг, такі як багатоадресне передавання (кілька одночасних приймачів, як у відеоконференції) та мобільні користувачі, які змінюють точку доступу до мережі. Крім того, ці функції повинні виконуватися способом, сумісним із наскрізним

шифруванням для забезпечення конфіденційності, що заважає мережі «вивчати» синтаксис стиснення чи обробляти його будь-яким способом. Всі ці цілі повинні бути визначені в архітектурі, яка управляє невід'ємною складністю, можливо, забезпечуючи відповідні абстракції та модульність, так що різні базові технології можуть розвиватися окремо і нові технології можуть бути застосовані. Це означає, що загальнорегульовані загальні ресурси (такі як надійна пропускну здатність, роздільна здатність та затримка) можуть бути використані в переговорах між програмами та мережами під час встановлення послуги. Все це вказує на складний набір взаємодій між складовими частинами системи та необхідність ретельно розробленої архітектури, яка корисно структурує ці взаємодії. Розробляються такі механізми, як Sun Microsystems Jini, що дозволяють самоорганізувати пристрої в мережу. У таких механізмах пристрої можуть сигналізувати про їх існування та характеристики, а також виявляти інші доступні пристрої. Наприклад, принтер може рекламувати себе в режимі онлайн.

Комутований віддалений доступ (англ. Dial-up) - сервіс, що дозволяє комп'ютеру, використовуючи модем і телефонну мережу загального користування, підключатися до іншого комп'ютера (сервера доступу) для ініціалізації сеансу передачі даних (наприклад, для доступу в мережу Інтернет). Зазвичай dial-up'ом називають тільки доступ в Інтернет на домашньому комп'ютері або видалений модемний доступ в корпоративну мережу з використанням двухточечного протоколу PPP (теоретично можна використовувати і застарілий протокол SLIP).

Телефонний зв'язок через модем не вимагає ніякої додаткової інфраструктури, крім телефонної мережі. Оскільки телефонні пункти доступні в усьому світі, таке підключення залишається корисним для мандрівників. Підключення до мережі за допомогою модему по звичайній комутованій телефонній лінії зв'язку - єдиний вибір, доступний для

більшості сільських або віддалених районів, де отримання широкопasmового зв'язку неможливо через низьку щільності населення і вимог. Іноді підключення до мережі за допомогою модему може також бути альтернативою для людей з обмеженим бюджетом, оскільки воно часто пропонується безкоштовно, хоча широкопasmова мережа тепер все більше і більше доступна за нижчими цінами в більшості країн. Однак, в деяких країнах комутований доступ в Інтернет залишається основним в зв'язку з високою вартістю широкопasmового доступу, а іноді і відсутністю затребуваності послуги у населення. Дозвон вимагає часу, щоб встановилася зв'язок (кілька секунд, в залежності від місця розташування) і було виконано підтвердження зв'язку перш, ніж передача даних зможе здійснитися.

Вартість доступу в Інтернет через комутований доступ часто визначається за часом, проведеним користувачем в мережі, а не за обсягом трафіку. Доступ по телефонній лінії - це непостійна або тимчасовий зв'язок, тому що за бажанням користувача або ISP рано чи пізно буде розірвана. Провайдери послуг Інтернету часто встановлюють обмеження на тривалість зв'язку і роз'єднують користувача після закінчення відведеного часу, внаслідок чого необхідно повторне підключення.

У сучасних підключень через максимальна теоретична швидкість становить 56 кбіт / сек (при використанні протоколів V.90 або V.92), хоча на практиці швидкість рідко перевищує 40-45 кбіт / сек, а в переважній більшості випадків тримається на рівні не більше 30 кбіт / сек. Такі фактори, як шум в телефонній лінії і якість самого модему грають велику роль в значенні швидкостей зв'язку. У деяких випадках в особливо гучної лінії швидкість може падати до 15 кбіт / сек і менше, наприклад в готельному номері, де телефонна лінія має багато відгалужень. У телефонного з'єднання через модем зазвичай високий час затримки, яке доходить до 400 мілісекунд або більше і яке робить онлайн ігри та відео конференц-зв'язок вкрай скрутними або ж повністю неможливими.



У комутованій мережі для забезпечення передачі повідомлень, призначених конкретного користувача, кінцеві апарати абонентів попередньо зв'язуються за допомогою вузлів комутації і сполучних ліній. Електричне коло (канал), що складається з декількох ділянок, називається з'єднувальним трактом.

Основні відмінності між комп'ютерною мережею та передачею даних.

1. Комп'ютерна мережа - це, в основному, сукупність або група комп'ютерної системи та інших пов'язаних апаратних пристроїв, які пов'язані між собою за допомогою різних каналів зв'язку для реалізації належних процедур зв'язку та відповідних мережевих методологій, тоді як передача даних - це, в основному, процес передачі, що включає цифрові передачі даних між двома або більше комп'ютерів або подібних пристроїв і навпаки.
2. Існують різні типи комп'ютерних мереж, які використовуються в сучасній галузі для обробки цифрового та електронного носія передачі даних та зв'язку.
3. Комп'ютерні мережі можна розглядати як підмножину передачі даних. Можуть існувати різні способи передачі даних, серед яких один із них є середовищем комп'ютерної мережі
4. Комп'ютерні мережі в основному мають справу з передачею одиночних вузлів у різних географічних регіонах, тоді як передача даних займається передачею даних через кілька вузлів та через різні середовища.
5. Обмін даними розвивається навколо різних технологій та підходів з метою забезпечення будь-якої форми електронного спілкування, тоді як комп'ютерні мережі відіграють одну з найважливіших ролей для них самих.
6. Комп'ютерні мережі передають інформацію за допомогою різних процесів обміну та міжфазних процесів, тоді як передача даних

стосується взаємопов'язаних методологій передачі даних та інформації для тих самих.

7. Data Communication займається процесом обміну даними в різних регіонах та різним процесом, тоді як Комп'ютерні мережі передають інформацію, файли через різні населені пункти для передачі даних разом із нею.

Таблиця порівняння комп'ютерних мереж та передачі даних

<b>Основа порівняння між комп'ютерною мережею та ефективністю передачі даних</b>	<b>Комп'ютерна мережа</b>	<b>Передача даних</b>
<b>Основні показники</b>	<p>Комп'ютерна мережа - одна з відомих та найкращих методологій роботи в мережі для передачі даних та інформації через різні географічні регіони.</p>	<p>Data Communication займається спілкуванням та передачею даних через різні вузли, і це допомагає в мережевих методологіях для них самих.</p>
<b>Архітектурне виконання</b>	<p>Комп'ютерні мережі можна визначити на різні типи архітектурних шарів, таких як клієнт-сервер, одноранговий або гібридний, і всі вони в першу чергу залежать від його архітектури та взаємопов'язаних шарів</p>	<p>Обмін даними використовує в основному 3 шари архітектурних проектів, а потім займається передачею кількох вузлів по різних регіонах і спілкуванням</p>
<b>Географічні показники на основі шаблонів</b>	<p>Комп'ютерна мережа пропонує шаблони для різних географічних регіонів у різних містах та місцях. Продуктивність може базуватися на рівнях мережевих зв'язків</p>	<p>Передача даних використовує різні магнітні мультимедіа та три шари структур. Кабель витой пари можна використовувати для передачі через різні шари та кабелі, і продуктивність зв'язку залежить від них однаково</p>
<b>Тестування продуктивності</b>	<p>Тестування продуктивності в комп'ютерній мережі є кращим, ніж передача даних</p>	<p>Передача даних не передбачає жодного процесу прив'язки даних, і пряме взаємопов'язане тестування параметра зв'язку є дещо складнішим, ніж мережеве спілкування.</p>
<b>Підтримка та оновлення продуктивності</b>	<p>Комп'ютерна мережа має велику підтримку спільноти та великі бібліотеки документації.</p>	<p>Обмін даними також має одну з найбільших спільнот підтримки.</p>
<b>Продуктивність маршрутизації</b>	<p>Комп'ютерна мережа реалізує двосторонній процес прив'язки, і, отже, він трохи складний і менш бажаний, ніж</p>	<p>Передача даних не забезпечує прив'язки даних і має простіший та простіший підхід до маршрутизації, ніж Комп'ютерна мережа</p>

	передача даних з точки зору маршрутизації	
<b>Продуктивність трансмісії</b>	Комп'ютерна мережа має різний набір методологій передачі даних у різних місцях та регіонах	Передача даних має три рівні підходів передачі та різні набори бездротових методологій для того самого.

## 1.2 Класифікація мультимедійного трафіку

Мультимедійний трафік. Під мультимедійним трафіком розуміється цифровий потік даних, який містить різні види повідомлень, які сприймаються органами чуття людини (зазвичай звукова та / або відеоінформація). Мультимедійні потоки даних передаються по телекомунікаційних мережах з метою надання віддалених інтерактивних послуг. Найбільш поширеними на сьогоднішній день мультимедійними послугами, наданими користувачам мережі, є: відеотелефонія, високошвидкісна передача мультимедійних даних, IP-телефонія, цифрове телевізійне мовлення, мобільний відеозв'язок і цифрове відео за запитом. Залежно від типу наданого сервісу виділяються дві основні категорії мультимедійного трафіку. 1. Трафік реального часу, що надає мультимедійні послуги для передачі інформації між користувачами в реальному масштабі часу. 2. Трафік звичайних даних, який утворюється традиційними розподіленими послугами сучасної телекомунікаційної мережі, таких, як електронна пошта, передача файлів, віртуальний термінал, віддалений доступ до баз даних. В якості прикладів послуг, що генерують трафік реального часу, можна навести такі: IP-телефонія, високоякісний звук, відеотелефонія, відеоконференцзв'язок, дистанційне (віддалене) медичне обслуговування (діагностика, моніторинг,

консультація), відеомоніторинг, широкомовне відео, цифрове телебачення, мовлення радіо- і телевізійних програм . IP-телефонія. Даний сервіс здійснює передачу голосового трафіку (мови) між двома абонентами мережі, в якій, як мережевого, використовується протокол IP (Internet Protocol). Для організації сервісу IP-телефонія можуть бути використані локальні, корпоративні, глобальні мережі, а також мережу Інтернет. За допомогою спеціальних шлюзів, що використовуються в телефонній мережі загального користування, забезпечується IP-телефонний зв'язок між абонентами телефонних мереж і абонентами мереж передачі даних. Недоліком традиційної телефонії є необхідність у наданні кожному абоненту окремого фізичного каналу зв'язку, що є затратним. Перевагами IP-телефонії є нижча вартість міжміських і міжнародних переговорів у порівнянні з традиційною телефонією за рахунок цифрування і наступної компресії (стиснення) голосового потоку, що дозволяє знизити собівартість послуги та нижча вартість кінцевого устаткування. На шляху проходження пакетів інформації про голосовий сигнал не використовується дороге устаткування, що стало вже традиційним для міжнародної та міжміської телефонії. Високоякісний звук. Під високоякісним звуком розуміється такий сервіс, який здійснює передачу та мовлення високоякісного звуку, наприклад, музики, концертних виступів.

8 Відеотелефонія. Даний сервіс здійснює передачу людської мови разом з його зображенням невисокої якості між двома абонентами. Клієнти даного сервісу, через відповідну комутаційну апаратуру, можуть слухати і бачити один одного в режимі реального часу. Відеоконференція. Даний сервіс здійснює передачу голосового та відеотрафіка між групою абонентів, причому звукові та відеосигнали передаються по мережі незалежно один від іншого (за різними транспортним сполученням), їх синхронізація на прийомі забезпечується відповідним протоколом транспортного рівня. Дистанційне медичне обслуговування. Даний сервіс забезпечує проведення дистанційного медичного обстеження, діагностики та консультації хворих. Трафік даного сервісу включає голосові і віддання, результати обстеження,

передані в реальному масштабі часу, та ін. Відеомоніторинг. Даний сервіс здійснює відеоспостереження приміщень, застосовується для охорони територій різного призначення, оперативної сигналізації про різні нештатні ситуації, постійного (в режимі реального часу) моніторингу в місцях скупчення людей. Мовлення радіо і телевізійних програм. Даний сервіс здійснює мовлення звичайних радіо- і телевізійних каналів по цифровій телекомунікаційній мережі. Цифрове телебачення. Даний сервіс здійснює мовлення високоякісного цифрового телебачення (художніх фільмів, музичних відеокліпів, спортивних трансляцій) за запитом клієнтів даного сервісу. Основною тенденцією в розвитку сучасних телекомунікаційних мереж є підтримка різних видів сервісу, в тому числі мультимедійного. Вимоги різних типів мультимедійного трафіку до мережевих ресурсів можуть відрізнятися досить істотно. Наприклад, звичайний трафік, як правило, не накладає особливих обмежень на час його доставки до одержувача. Все що потрібно такому трафіку, - це виділення йому мінімальної пропускної здатності. Іншим прикладом може бути трафік для проведення відеоконференцій в реальному масштабі часу. Він вимагає не тільки значною пропускної здатності, але також і мінімізації часу доставки відеокадрів до одержувача. Крім того, якість проведення сеансу відеоконференції не буде задовільним, якщо затримки пакетів інформації мають занадто нерегулярний характер. В даному випадку до ресурсів мережі висувуються жорсткі вимоги по багатьом параметрам. Ці параметри детально будуть розглянуті нижче. Опис та аналіз мультимедійного трафіку в сучасних телекомунікаційних мережах є складним і важким завданням. Основними причинами цих труднощів є: - Широкий діапазон швидкостей передачі - від декількох кбіт/с, як у випадку передачі телефонного трафіку, до сотень Мбіт/с, при передачі відеопотоків; - Різноманітні статистичні властивості переданих мультимедійних інформаційних потоків (трафік реального часу накладає жорсткі вимози до ресурсів мережі); 9 - Велика різноманітність мережевих конфігурацій, безліч технологій і протоколів передачі (ATM, MPLS та ін.);

- Багаторівнева обробка переданих повідомлень, внаслідок чого якість обслуговування виявляється залежним від декількох рівнів обробки.

У поточному мережевому середовищі дедалі більше домінують два основні фактори. По-перше, користувачі звикають до *широкосмугового доступу* як вдома, так і на роботі, що дозволяє різко збільшити мультимедійний трафік. Мультимедійний трафік тут позначає будь-який тип аудіо / візуального матеріалу, незалежно від того, розподіляється він у реальному часі чи на вимогу. Наприклад, відео, яке переглядається на веб-платформі, вимагає високошвидкісного з'єднання незалежно від використовуваного транспортного протоколу. На початку звичайні користувачі виступали в основному як споживачі цифрового контенту та інформації, який в основному створювали великі виробники. Однак сьогодні досягнення апаратного забезпечення та комодифікація пристроїв для створення цифрового вмісту (від мобільних телефонів із вбудованими камерами високої роздільної здатності до камер високої роздільної здатності з вбудованим Wi-Fi) призвели до того, що безпрецедентні обсяги *цифрових носіїв* стали доступними в Інтернеті користувачів. У процесі користувачі стали компетентними виробниками цифрового вмісту, а також споживачами. Ці події утворюють позитивний підкріплюючий цикл, особливо у поєднанні з ефектами розповсюдження вірусів, що супроводжують соціальні мережі. Наприклад, десять років тому користувачі Інтернету шукали цікаві рецепти приготування страв на інтернет-форумах та веб-сайтах журналів. Ці рецепти зазвичай описувались у тексті, а іноді супроводжувались цифровими фотографіями. Сьогодні, однак, існує величезна кількість відео, зроблене щоденних люди, *показуючи* як приготувати страву чи делікатес із далекої країни. Ці відео, часто просто домашні фільми, широко розповсюджуються через веб-сервіси відео на замовлення (VoD). Опинившись в Інтернеті, інші користувачі можуть розміщувати власні відео у відповідь на оригінал, тим самим розміщуючи в Інтернеті ще більше аудіо / відео (A / V) матеріалів. Оскільки більша кількість користувачів підключається до широкосмугових

швидкостей і, отже, може доцільно ділитися своїм цифровим вмістом в Інтернеті, все більше вмісту стає доступним для споживання, і все більше людей стає зацікавленим у приєднанні до «широкосмугового досвіду». У той же час, коли ринок широкосмугового доступу стає більшим, а економія від масштабу та конкуренція чинять тиск на ціни, більша частка населення може брати участь у цьому новому цифровому суспільстві. Чистий ефект - це значне збільшення Інтернет-трафіку, [www.dtc.umn.edu/mints](http://www.dtc.umn.edu/mints) ) становить близько 50–60% на рік. Згідно з підрахунками Cisco [ 1 ], середньостатистичний абонент мобільного широкосмугового зв'язку Західної Європи зафіксував щомісячний трафік у 856 МБ у 2007 році. Cisco очікує, що це середнє значення зросте майже в п'ять разів до понад 4 ГБ до 2012 року. Для порівняння, відповідні оцінки для фіксованого зв'язку використання ліній складає 3 ГБ у 2007 році та 18 ГБ до 2012 року. Мультимедійні послуги, як правило, та відео, зокрема, мають відігравати домінуючу роль у майбутньому збільшенні трафіку.

Тим не менш, протягом майже двох десятиліть існувало багаторічне очікування мультимедійного трафіку через UDP без контролю затримки з часом домінуватимуть у трафіку. На практиці це ніколи не здійснилося, і кілька досліджень вимірювань показали, що передачі TCP протягом багатьох років постійно домінують у транспортній суміші. Сьогодні мультимедійний трафік, що широко визначається як аудіо, відео та ігри, є головним фактором, який переважно передається через TCP. Частково це можна пояснити мінливим характером аудіо / відео та мультимедіа. Хоча на початку 1990-х ключовим питанням мережевих досліджень було те, як синхронно передавати А / V потоки в режимі реального часу, сьогодні користувачів більше цікавить тип послуг VoD. Крім того, розповсюдження багатоадресної передачі, хоча і вискоефективне, саме по собі вже не є достатнім для забезпечення спостережуваних моделей споживання мультимедіа. Хоча можна використовувати багатоадресну передачу для розподілу сотень каналів до мільйонів приймачів, інтерактивний та асинхронний перегляд вимагає різних мережевих технологій. Окрім того,



зауважимо, що термін „відео на замовлення” сьогодні мало пов’язаний із попередніми планами операторів щодо послуг з оплатою за перегляд. Що стосується його внеску в спостережувану суміш трафіку, сьогодні відео на запит відображається на YouTube та в багатьох інших веб-сервісах для відео та платформ соціальних мереж. Крім того, однорангові мережі (p2p) також надають величезну кількість А / V-матеріалів, хоча часто і незаконно. Нарешті, але, звичайно, не в останню чергу, є рух до обслуговування довгого хвоста, тобто контенту, який стосується не мас, а нішової аудиторії

Зауважте, що термін „відео на замовлення” сьогодні мало пов’язаний із попередніми планами операторів щодо послуг з оплатою за перегляд. Що стосується його внеску в спостережувану суміш трафіку, сьогодні відео на запит відображається на YouTube та в багатьох інших веб-сервісах для відео та платформ соціальних мереж. Крім того, однорангові мережі (p2p) також надають величезну кількість А / V-матеріалів, хоча часто і незаконно. Нарешті, але, звичайно, не в останню чергу, є рух до обслуговування довгого хвоста, тобто контенту, який стосується не мас, а нішової аудиторії

[ Зауважте, що термін „відео на замовлення” сьогодні мало пов’язаний із попередніми планами операторів щодо послуг з оплатою за перегляд. Що стосується його внеску в спостережувану суміш трафіку, сьогодні відео на запит відображається на YouTube та в багатьох інших веб-сервісах для відео та платформ соціальних мереж. Крім того, однорангові мережі (p2p) також надають величезну кількість А / V-матеріалів, хоча часто і незаконно. Нарешті, але, звичайно, не в останню чергу, є рух до обслуговування довгого хвоста, тобто контенту, який стосується не мас, а нішової аудиторії

[ хоча і часто незаконно. Нарешті, але, звичайно, не в останню чергу, є рух до обслуговування довгого хвоста, тобто контенту, який стосується не мас, а нішової аудиторії

[ хоча і часто незаконно. Нарешті, але, звичайно, не в останню чергу, є рух до обслуговування довгого хвоста, тобто контенту, який стосується не мас, а нішової аудиторії

[ хоча і часто незаконно. Нарешті, але, звичайно, не в останню чергу, є рух до обслуговування довгого хвоста, тобто контенту, який стосується не мас, а нішової аудиторії

[ хоча і часто незаконно. Нарешті, але, звичайно, не в останню чергу, є рух до обслуговування довгого хвоста, тобто контенту, який стосується не мас, а нішової аудиторії [2 ].

Тим часом Інтернет став критично важливою інфраструктурою підтримки. Що стосується прийняття широкосмугового Інтернету та подолання так званого цифрового розриву, уряди усього світу, не в останню чергу в Європейському Союзі, висунули ряд ініціатив. Наприклад, у Фінляндії уряд планує збільшити високошвидкісне широкосмугове покриття по всій країні. Як повідомляється у щоквартальному звіті про стан Інтернету Akamai 2008 Q4, „інвестиція є частиною зусиль, спрямованих на збільшення доступу до 100 Мбіт / с у Фінляндії до 100% населення до 2016 року. Очікується, що до 2015 року приблизно 95% населення отримає доступ до більш високих швидкостей широкосмугового зв'язку завдяки комерційному розвитку, і до 2010 року всі користувачі широкосмугового зв'язку зможуть отримати принаймні 1 Мбіт / с ". Крім того, у тій же доповіді згадується, що уряд Франції першим у світі закликає всіх провайдерів телекомунікацій пропонувати широкосмугові послуги за доступними цінами на всій його території максимум на 35 євро на місяць. Фінляндія - дуже цікавий випадок розгортання широкосмугового зв'язку. Мобільний та бездротовий зв'язок відіграють центральну роль у дослідженнях, розробках та повсякденному житті, і, як результат, лише близько третини населення має стаціонарний голосовий зв'язок згідно з даними FICORA (Фінляндійський орган регулювання зв'язку). Незважаючи на це, дослідження FICORA показало, що понад 68% домогосподарств Фінляндії мають доступ до широкосмугових послуг. У цьому ж дослідженні вказується, що чотири з п'яти респондентів вважають, що їм потрібна швидкість з'єднання не менше 1 Мбіт / с, а дзвінки через протокол VoIP ( Voice over Internet Protocol ) стають все більш поширеними: приблизно кожен четвертий користувач Інтернету відповів, що використовував VoIP у 2008 році.

З огляду на непомірні витрати на дротову інфраструктуру та простоту розгортання бездротових технологій , ми стверджуємо, що широкосмуговий бездротовий доступ (BWA) відіграватиме ключову

роль у забезпеченні Інтернету зв'язку та доступу до мультимедійного вмісту для наступних мільярдів користувачів Інтернету.

Світова взаємодія з мікрохвильовим доступом (WiMAX), яку часто називають технологією, яка може служити основою для мобільних широкосмугових мереж наступного покоління, базується на стандартах IEEE 802.16 [3–9]. WiMAX націлений на забезпечення економічно ефективної та ефективної платформи для мережевих операторів. Як ми побачимо в Розділі 3, WiMAX підходить для різних сценаріїв розгортання, починаючи від простого фіксованого («заміна DSL») та мобільного доступу до Інтернету та розповсюдження контенту до більш спеціалізованих, але критичних програм, таких як електронне охорона здоров'я та моніторинг довкілля. Мережі WiMAX можуть забезпечувати підключення широкосмугового Інтернет-протоколу (IP) від точки до точки та точки до декількох точок (PMP) як для фіксованих, так і для мобільних хостів, гарантуючи якість обслуговування (QoS) та надійну безпеку [10,11]. Більше того, WiMAX може стати опорою пропозицій подвійної та потрійної гри (VoIP, Інтернет та IPTV), особливо в країнах, що розвиваються, де дротова інфраструктура обмежена або відсутня. WiMAX ідеально підходить для такого розгортання завдяки меншим витратам на інфраструктуру та будівництво, можливості поступового розширення покриття мережі та відповідних пропозицій послуг, а також власної підтримки QoS в останньому бездротовому стрибку.

Теоретично, а також згідно з випробуваннями та демонстраціями постачальників, WiMAX може передавати стільниковий бітрейт більше 100 Мбіт / с, покриваючи великі площі ( радіус до 50 км від однієї базової станції за допомогою спрямованих антен) і обслуговуючи десятки абонентів [12]. Це вражаючі цифри. Однак наявне в даний час комерційне готове обладнання (COTS) забезпечує значно меншу пропускну здатність на рівні додатків. Ми емпірично оцінили WiMAX, маючи на меті покращити наше розуміння того, що реально можливо за допомогою обладнання COTS. У попередній роботі [13–15] ми використовували інфраструктуру

лабораторії конвергентних мереж VTT, яка включає стаціонарні та мобільні базові станції WiMAX (BS) та абонентські станції(SS) та вивчав передачу голосу через IP (VoIP) та потокове потокове висхідне та низхідне потокове передавання IPTV. WiMAX використовувався як зворотний зв'язок для голосових послуг та послуг передачі даних, а також як технологія доступу до мережі останньої милі. Зокрема, ми розробили експерименти з кількома конкуруючими джерелами трафіку за топологією RMP WiMAX та виміряли пропускну здатність з точки зору кількості синтетичних двонаправлених VoIP-дзвінків між абонентськими станціями, одночасно забезпечуючи змінну кількість відеопотоків із незначними втратами. Ми виміряли пропускну здатність, втрату пакетів та односторонню затримку як для режиму прямої видимості (LOS), так і для нелінійного зору (NLOS). Ми також розрахували відповідний середній бал думок (MOS) на основі E-моделі Міжнародного союзу електрозв'язку - Сектора стандартизації телекомунікацій (ITU-T) для експериментів з емульованим G.723.1-кодовані розмови. Ми точно виміряли односторонню затримку, використовуючи реалізацію програмного забезпечення IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP). У цій главі ми узагальнюємо та обговорюємо ці результати, ставлячи їх у перспективі щодо ключових сценаріїв розгортання WiMAX, які представлені в Розділ 3 та загальні тенденції широкосмугового бездротового доступу та надання мультимедійних послуг. Ми також представляємо програму WiMAX для моніторингу навколишнього середовища, яка була розгорнута та протестована в Португалії.

Решта цього розділу організована таким чином. Розділ 2 надає огляд WiMAX та базових фізичних протоколів IEEE (PHY) та управління доступом (MAC).

## РОЗДІЛ 2

### Передача мультимедійного трафіку

#### 2.1 Особливості передачі мультимедійного трафіку в безпроводних мережах

IP-мережі створювалися для передачі трафіку даних, особливістю якого є нерівномірність передачі і вимога до цілісності передаваних даних. Наприклад, архівний файл повинен бути переданий з максимальною швидкістю і без помилок. Трафік даних нечутливий до часових параметрів. Такий трафік часто називають «еластичним». Так, при прогляданні вмісту web-сайту затримка відображення web-сторінки в межах декількох секунд неістотна. Нові мережеві мультимедійні застосовання (прикладні програми з безперервними потоками даних) — відео, IP-телефонія, Internet-радіо, телеконференції, інтерактивні ігри, дистанційне навчання і багато що інше розвиваються великими темпами. Вимоги до мережевих служб у таких прикладних програмах істотно відрізняються від вимог до прикладних програм з еластичним трафіком (таких як електронна пошта, web, видалений термінал, FTP, Telnet, сумісне використання файлів). Для прикладних програм з еластичним трафіком довгі затримки не наносять істотного збитку, вони неприємні тільки користувачеві. Для таких застосовань виняткову важливість представляють повнота і цілісність передаваних даних. Мультимедійний трафік носить інший характер. При передачі мультимедійного трафіку дані повинні передаватися рівномірним потоком. При цьому важливими параметрами є затримка пакету і дисперсія затримки (джиттер), тоді як допускається часткова втрата даних. Це пояснюється тим, що в багатьох 4 мультимедійних прикладних програмах передавана інформація повинна відтворюватися негайно. Якщо при передачі аудіотрафіку був втрачений один пакет за секунду, то користувач цього швидше за все не відмітить. Якщо ж пакети матимуть високу затримку

або високу дисперсію затримки, то на приймальній стороні звук уриватиметься, і якість виявиться незадовільною.

На сучасному етапі розвитку сучасних інфокомунікаційних послуг, які базуються на використанні мультимедійного трафіку, виникає ряд суттєвих проблем. Головною з них є значне збільшення об'єму інформації, що призводить до необхідності поступового збільшення пропускної здатності каналів передачі. Якщо, для найбільш розповсюджених мультимедійних послуг, що надаються користувачам мереж, таких як IP-телефонія, високоякісний звук, відео-телефонія, відео-конференція, ресурсів сучасних мереж є достатньо, то при впровадженні нових методів формування високоякісних відеосигналів для передачі в режимі реального часу — недостатньо. Особливо гостро це питання стосується безпроводних мереж, які отримали широкого поширення. При проектуванні безпроводних мереж, існують суттєві недоліки, до яких можна віднести великий відсоток втрат пакетів і джитер. Вони впливають на ефективність передачі мультимедійного трафіку в режимі реального часу, так як він надзвичайно чутливий до таких спотворень. Оскільки, на даний час широкого поширення отримала концепція цифрового будинку, то використаємо її для побудови моделі для передачі мультимедійного відеотрафіку. Тоді можна припустити, що трафік який надходить із зовнішньої мережі, через вузол доступу (ВД), складається із повідомлень однакового пріоритету і модель мережі можна представити як на рис. 1.

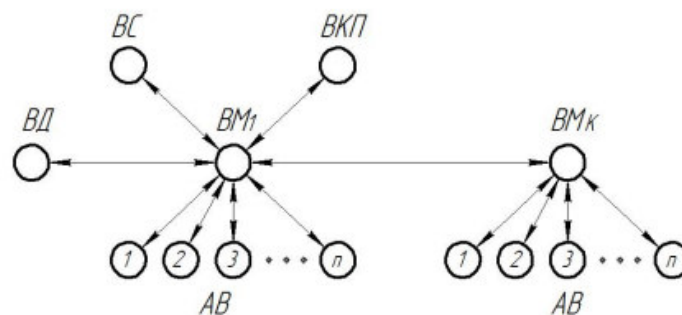


Рисунок 1. Модель мережі цифрового будинку

Як видно із рисунку, мережа може складатися із декількох зон, центром яких є вузол маршрутизації (ВМ), через який проходить основний трафік і додатковий до суміжної зони, якщо вузол є транзитним. В такій мережі всі вузли  $n$  є рівноправними і повідомлення мають однаковий пріоритет у каналах передачі  $m$ . Тому можна припустити, що середня інтенсивність потоку повідомлень  $\gamma_{ij}$  становить

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \gamma_{ij}.$$

Аналізуючи сучасну концепцію розвитку телебачення, можна сказати, що все телебачення поступово перейде у службу відео по запиту та IP-трансляцію. Тоді, існує імовірність значного збільшення навантаження на ВМ при одночасному запиті абонентських вузлів (АВ) до інфокомунікаційних послуг, а також вузла сервера (ВС) та вузла контролю периферії (ВКП). Особливо це стосується при впровадженні нових форматів відеотрафіку, таких як FullHD і UltraHD. В такій мережі, як правило передача пакетів відеотрафіку буде супроводжуватись втратами у внутрішній мережі, зміною порядку проходження пакетів через затримки або внаслідок перевантажень, доставки пакета не за адресою, що призводить до зменшення якості отримання інфокомунікаційної послуги, або її зупинки, що для абонента є неприйнятним. Вказані недоліки в основному залежать від фізичного середовища передачі інформації та від виду кодування інформації. Тому, для підтвердження здатності отримання відео послуг високої якості, необхідно проводити дослідження каналів передачі на основі методики.

Через Internet передають свої дані безліч мультимедійних прикладних програм. Існує три класи мультимедійних прикладних програм: записане потокове аудіо/відео, потокове аудіо/відео реального часу, а також інтерактивне аудіо/відео реального часу.

Існує три основні режими передачі трафіку в IP-мережах: Unicast, Broadcast і Multicast. Кожен з цих трьох режимів передачі використовує різні типи IP-адрес призначення відповідно до їх завдань, і є велика різниця в ступені їх впливу на об'єм споживаного трафіку. Розуміння різниці між цими методами є дуже важливим для розуміння переваг IP-телебачення і для практичної організації трансляції відеотрафіка в IPмережі.. Unicast-трафік (одноцільова передача пакетів) використовується, перш за все, для сервісів «персонального» характеру. Кожен абонент може запитати персональний медіа-контент в довільний, зручний йому час. Unicast-трафік прямує з одного джерела до однієї IP-адреси призначення. Ця адреса належить в мережі тільки одному єдиному комп'ютеру або абоненту. Число абонентів, які можуть отримувати unicast трафік одночасно, обмежене доступною в магістральній частині мережі шириною потоку (швидкістю потоку). Для випадку мережі Gigabit Ethernet теоретична максимальна ширина потоку 8 даних може наблизитися до 1 Гбіт/с за вирахуванням смуги, необхідної для передачі службової інформації і технологічних запасів устаткування. Припустимо, що в магістральній частині мережі ми можемо, для прикладу, виділити не більше половини смуги для сервісів, яким потрібний Unicast-трафік. Легко підрахувати для випадку 5Мбіт/с на телевізійний канал MPEG2, що число абонентів, які одночасно одержують Unicast - трафік, не може перевищувати 100. Broadcast-трафік (широкомовна передача пакетів) використовує спеціальну IP-адресу, щоб посилати один і той же потік даних до всіх абонентів даної IPмережі. Така IP-адреса може закінчуватися на 255, наприклад 192.0.2.255, або мати 255 у всіх чотирьох полях (255.255.255.255). Важливо знати, що Broadcast-трафік приймається всіма включеними комп'ютерами (або STB) в мережі незалежно від бажання користувача. З цієї причини цей вид передачі використовується в основному для службової інформації мережевого рівня або для передачі іншої виключно вузькосмугової інформації. Зрозуміло, для передачі відео-даних Broadcast-трафік не використовується. Multicast-трафік (груповая передача пакетів) використовується для передачі потокового відео, коли необхідно



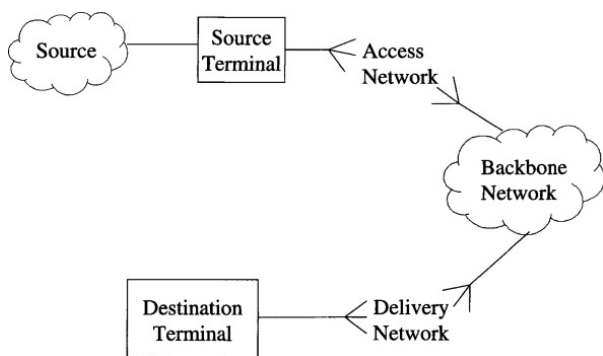
доставити відео-контент необмеженому числу абонентів, не перенавантажуючи мережу. Це найбільш часто використовуваний тип передачі даних в IPTV - мережах, коли одну і ту ж програму дивляться велике число абонентів. Multicast-трафік використовує спеціальний клас IP-адрес призначення в діапазоні 224.0.0.0 ... 239.255.255.255. Це можуть бути IP-адреси класу D. На відміну від Unicast режиму, Multicast-адреси не можуть бути призначені індивідуальним комп'ютерам (або STB). Коли дані посилаються по одній з Multicast IP-адрес, потенційний приймач даних може ухвалити рішення приймати або не приймати їх. Такий спосіб передачі означає, що головне устаткування IPTV оператора передаватиме один єдиний потік даних по багатьох адресах призначення. На відміну від випадку передачі у режимі Broadcast, за абонентом залишається вибір - приймати дані чи ні. Важливо знати, що для реалізації Multicast передачі в IP-мережі повинні бути маршрутизатори, підтримуючі режим Multicast. Для цього маршрутизатори використовують протокол IGMP для відстежування поточного стану груп розсилки (а саме, членство в тій або іншій групі того або іншого кінцевого вузла мережі). Основні правила роботи протоколу IGMP наступні: 9 - кінцевий вузол мережі посилає пакет IGMP типу report для забезпечення запуску процесу підключення до групи розсилки; - вузол не посилає ніяких додаткових пакетів при відключенні від групи розсилки; - маршрутизатор Multicast через певні часові інтервали посилає в мережу запити IGMP. Ці запити дозволяють визначити поточний стан груп розсилки; - вузол посилає у відповідь пакет IGMP для кожної групи розсилки до тих пір, поки є хоч би один клієнт даної групи. Завантаження магістральної частини мережі Multicast-трафіком залежить тільки від числа трансльованих в мережі каналів. У ситуації з мережею Gigabit Ethernet, припустивши, що половину магістрального трафіку ми можемо виділити під Multicast - передачу, ми отримуємо близько 100 телевізійних каналів MPEG-2, кожен з яких має швидкість потоку даних 5 Мб/с. Зрозуміло, в IPTV-мережі присутні одночасно всі 3 види трафіку: broadcast, multicast і unicast. Оператор, плануючи оптимальну величину пропускної спроможності

мережі, повинен враховувати різний механізм впливу різних технологій IP-адресації на об'єм трафіку. Наприклад, оператор повинен ясно уявляти собі, що надання послуги «відео на замовлення» великому числу абонентів вимагає дуже високої пропускнуєї спроможності магістральної мережі. Одним з вирішень цієї проблеми є децентралізація в мережі відео-серверів. В цьому випадку центральний відео-сервер замінюється на декілька локальних серверів, рознесених між собою і наближених до периферійних сегментів багаторівневої ієрархічної архітектури IP-мережі.

ми зацікавлені в передачі мультимедійної інформації через мережі. За допомогою мультимедіа, ми маємо на увазі дані, голос, графіку, нерухомі зображення, аудіо та відео, і ми вимагаємо, щоб мережі підтримували передачу декількох носіїв, часто одночасно. З самого початку можна зробити два зауваження. Носії, що передаються, які часто називають джерелами, представлені в цифровій формі, а мережі, що використовуються для передачі цифрових джерел подання, можуть бути класифіковані як цифрові мережі зв'язку, хоча аналогова модуляція часто використовується для поширення вільного простору або для переваг мультиплексування. На додаток до медіа-джерел та мереж, ми виявимо, що користувацькі термінали, такі як комп'ютери, телефони та персональні цифрові помічники (КПК), також мають великий вплив на мультимедійні комунікації та те, що насправді можна досягти.

Розробка тут розбиває проблему мультимедійних комунікацій на компоненти, показані на малюнку 1.1. Показані там компоненти - це Джерело, Термінал джерела, Мережа доступу, Магістральна мережа, Мережа доставки та Термінал призначення. Ця категоризація дозволяє нам розглянути двосторонні однорангові комунікаційні з'єднання, такі як відеоконференції або телефонія, а також асиметричні ситуації зв'язку, такі як трансляція або потокове відео. На малюнку 1.1, Джерело складається з будь-якого одного або декількох мультимедійних джерел, і робота Терміналу Джерела полягає в стисненні Джерела таким чином, щоб швидкість передачі даних до мережевого з'єднання між Терміналом Джерела та Терміналом

призначення була принаймні приблизно відповідною. Інші фактори можуть розглядатись і на терміналі джерела. Наприклад, вихідний термінал може бути пристроєм з обмеженим зарядом батареї або може знати, що термінал призначення обмежений в потужності обробки сигналу або можливості відображення. Крім того, вихідний термінал може пакетувати дані спеціальним чином для захисту від втрати пакетів та приховування помилок у терміналі призначення. Всі такі фактори впливають на дизайн джерела терміналу. Мережа доступу може бути розумно змодельована однолінійним з'єднанням, наприклад, модемом 28,8 Кбіт / с, модем 56 Кбіт / с, лінія асиметричної цифрової абонентської лінії (ADSL) 1,5 Мбіт / с тощо, або це насправді може бути мережа, що має спільну пропускну здатність, а отже, має додаткові характеристики втрати та затримки пакетів обмеження. Магістральна мережа може складатися з фізичного з'єднання з комутацією каналів, виділеного віртуального шляху через мережу з комутацією пакетів або стандартного з'єднання Протокол управління передачею / Інтернет-протокол (TCP / IP), серед інших можливостей. Таким чином, ця мережа має такі характеристики, як пропускну здатність, затримка, тремтіння та втрата пакетів, і може, а може і не мати можливості гарантії якості обслуговування (QoS). Мережа доставки може мати той самий загальний набір характеристик, що і мережа доступу, або можна передбачити, що при передачі один до багатьох мережа доставки може бути корпоративною інтрамережею. Нарешті, термінал призначення може мати різну потужність, мобільність, дисплей або звукові можливості.



Методи стиснення джерел та мережеві протоколи, що представляють інтерес, значною мірою визначаються міжнародними стандартами, і те, як ці стандарти можуть бути адаптовані для забезпечення необхідного зв'язку, є проблемою. Термінали вказані менше стандартами, а більше тим, що користувачі мають доступ зараз і, ймовірно, будуть доступні найближчим часом. Однак мета зрозуміла - повсюдна доставка мультимедійного вмісту через безперебійне мережеве підключення.

Спочатку ми представимо обговорення різних компонентів на рисунку 1.1, а потім розробимо, розробляючи загальні приклади мультимедійних комунікацій, та висвітлимо виклики та сучасний стан. Ми починаємо наші обговорення з мережами та мережевими службами.

## **2.2 Протоколи передачі мультимедійного трафіку**

У IP-мережах можлива втрата пакетів і зміна їх порядку в процесі доставки. Для узгодження вимог мультимедійних прикладних програм з можливостями IP-мереж був розроблений протокол транспортного рівня RTP (Real-Time Protocol), призначений для доставки даних в реальному масштабі часу. RTP зазвичай використовує UDP як транспортний протокол. RTP підтримує режим Multicast, якщо даний режим підтримується мережевим рівнем. Сам по собі RTP не забезпечує своєчасної доставки і не надає яких-небудь гарантій QoS. Цей протокол не може гарантувати також коректного порядку доставки даних. Відновлення потоку даних може бути забезпечене приймаючою стороною за допомогою порядкових номерів пакетів, які надає протокол RTP. 10 При необхідності дотримання конфіденційності інформація і пакети управління можуть бути зашифровані. При аудіо-конференціях кожен з учасників пересилає невеликі закодовані звукові фрагменти тривалістю порядку 20 мсек, кожен з яких поміщається в поле даних RTP-пакета, який у свою чергу вкладається в UDP-дейтаграму. Заголовок пакету RTP визначає, який вид кодування звуку застосований, що дозволяє відправникові при необхідності змінити метод кодування. При передачі звуку вельми

важливим стає взаємне положення закодованих фрагментів в часі. Для вирішення завдання коректного відтворення заголовки пакетів RTP містять часову інформацію і порядкові номери. Порядкові номери дозволяють не тільки відновити правильний порядок фрагментів, але і визначити число втрачених пакетів-фрагментів. На практиці протокол RTP використовується у поєднанні з протоколом RTCP (RTP control protocol). RTCP служить для моніторингу якості обслуговування (QoS), організації зворотнього зв'язку у разі перевантаження, а також ідентифікації відправника. Він базується на періодичній передачі пакетів, що управляють, всім учасникам сесії. Цей протокол не має самостійного значення і використовується лише спільно з RTP. При організації аудіо-конференції кожен учасник повинен мати адресу і два порти, один для звукових даних, інший для RTCP-пакетів, що управляють. Оскільки учасники конференції можуть з'являтися і зникати, корисно знати, хто з них присутній в мережі в даний момент, і як до них доходять передавані дані. Для цієї мети періодично кожен з учасників транслює через порт RTCP Multicast-повідомлення, що містить ім'я учасника і діагностичні дані. Також, учасник конференції за допомогою RTCP пересилає повідомлення, якщо він покидає сесію. Якщо передається не тільки звук, але і зображення, вони передаються як два незалежні потоки. RTCP-пакети посилаються незалежно для кожної з цих двох сесій. При підключенні одного з учасників конференції через вузькосмуговий канал, для узгодження швидкостей можна встановити перетворювач, званий змішувачем, в безпосередній близькості від вузькосмугової області. Змішувач перетворить потік аудіо-пакетів в послідовність пакетів, відповідну можливостям вузькосмугового каналу. Ці пакети можуть бути адресованими одному одержувачеві або передаватися в режимі Multicast. Деякі учасники конференції можуть бути недоступними для IP- Multicast (наприклад, знаходяться за Firewall). Для таких вузлів використовується RTPтрансляція. Встановлюється два транслятори поодиноці з кожною із сторін Firewall. 11 Зовнішній транслятор передає Multicast -пакети

внутрішньому транслятору, а внутрішній транслятор розсилає їх у внутрішню мережу звичайним способом. Протокол прикладного рівня RTSP надає користувачеві можливість управління медіапотоком. За допомогою протоколу RTSP можна реалізувати такі функції, як “пауза”, “перемотування вперед/назад” тощо. RTSP не займається транспортом даних. RTSP багато в чому подібний HTTP. Кожен медіафайл ідентифікується своїм URL виду “rtsp://..”. Для того щоб інформувати маршрутизатор про наявність учасників Multicast -обміну в субмережі, пов'язаної з тим чи іншим інтерфейсом, використовується протокол IGMP. Протокол IGMP (internet group management protocol) використовується для відеоконференцій, передачі звукових повідомлень, а також групового виконання команд різними кінцевими пристроями. Цей протокол використовує групову адресацію (Multicast). Групова форма адресації потрібна тоді, коли якийсь повідомлення або послідовність повідомлень необхідно надіслати кільком (але не всім) адресатам одночасно. При цій формі адресації прикінцева система має можливість вибрати, чи хоче вона брати участь у цій процедурі. Коли група вузлів хоче взаємодіяти один з одним, використовується одна Multicast-адреса. При груповій адресації один і той же пакет може бути доставлений заданій групі. Членство в цій групі може динамічно змінюватися з часом. Будь-який вузол може увійти в групу і вийти з групи в будь-який час за своєю ініціативою. У той же час вузол може бути членом великого числа таких груп. Вузол може посилати пакети членам групи, не будучи їм самим. Кожна група має свою адресу класу D (рис. 2.1).

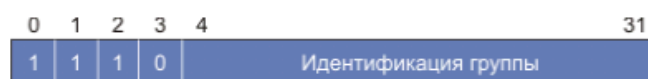


Рисунок 2.1 - Формат групової адреси

Адреса 224.0.0.1 призначена для звернення до всіх груп ( всі вузли і сервери залучені в даний момент в мультікастинга - обмін, наприклад,

беруть участь у відеоконференції) . Для того щоб брати участь в колективних обмінах в локальній мережі вузол повинний бути забезпечений програмою, яка підтримує цей режим. При цьому сервер локальної мережі інформується про намір використовувати режим Multicast. Сервер передає цю інформацію іншим зовнішнім серверам IP - мережі. Слід мати на увазі, що Multicast також як і ширококомовний режим, помітно завантажує мережу. IGMP для передачі своїх повідомлень використовує IPдейтаграми. Для підключення до групи спочатку надсилається IGMP - повідомлення "всім вузлам" про включення до групи, при цьому локальний Multicast-сервер готує маршрут. Локальний Multicast-сервер час від часу перевіряє вузли і визначає, чи не покинули вони групу (вузол не підтверджує своє членство в групі). Всі обміни між вузлами і Multicast –сервером здійснюються в режимі ip - Multicast, тобто, будь-яке повідомлення адресується всім вузлам групи. Вузол, який не належить групі, IGMP-повідомлень не отримує, що скорочує завантаження мережі.

Як правило, мультимедійні оригінальні сигнали кодуються для зменшення швидкості передачі даних. Коли закодований потік повинен бути відправлений в інше місце в мережі, транспортні протоколи відповідають за пакетізацію та доставку цього потоку. З іншого боку, закодований мультимедійний потік реконструюється з потоку доставлених пакетів, а потім декодується для отримання корисного мультимедійного сигналу, який буде відтворений або збережений для подальшого використання. Інтернет-протокол (IP)- це мережевий протокол на основі пакетів, який використовується для обміну даними по мережах. Це базовий мережевий протокол, тобто інші протоколи будуються через IP. Найбільш використовуваний протокол вищого рівня - протокол транспортного контролю (TCP), який є надійним транспортним протоколом, розробленим для передачі даних і широко використовуваним в Інтернет-послугах. TCP не підходить для додатків у режимі реального часу, оскільки повторні передачі можуть призвести до великої затримки та викликати джиттер затримки, що значно погіршує

якість. Крім того, він не підтримує багатоадресну передачу. Крім того, механізми контролю затворів, а саме повільний запуск, не підходять для передачі аудіо- чи відеомедіа. З іншого боку, транспортним протоколом, який зазвичай використовується для передачі мультимедіа в режимі реального часу, є User Datagram Protocol (UDP). UDP не гарантує надходження пакету, а програма або протоколи вищого рівня повинні подбати про надіслані дані. Найбільш використовуваним для програм реального часу протоколом, який будується через UDP, є транспортні протоколи реального часу (RTP). Найважливішими змінними, що регулюють роботу RTP, є мітка часу (TS) та *порядковий номер* (SN). TS відповідає за розміщення вхідних пакетів у правильному порядку синхронізації. Початкове значення TS вибирається випадковим чином і незалежно для кожного потоку RTP. Значення TS збільшується на час, вказаний кожним пакетом. Наприклад, для випадку передачі звуку з інтервалом пакетування 20 мс TS може приймати значення 0, 20, 40, 60, ... для номерів пакетів 1, 2, 3, ... відповідно. SN використовується для виявлення випадків втрати пакетів. Він збільшується на один для кожного пакета в потоці. Слід зазначити, що для відеокадру, який розділений на кілька RTP-пакетів, ці пакети мають однакове значення TS, але використовують різні SN. Існує окремий протокол управління, який зазвичай використовується з RTP, який називається Протокол управління реальним часом (RTCP). RTCP синхронізується між різними медіапотоками за допомогою повідомлень зворотного зв'язку (наприклад, звіт відправника). Він також забезпечує зворотний зв'язок щодо якості передачі даних, використовуючи кількість втрачених пакетів у звіті про одержувача. Крім того, він визначає та відстежує учасників. Звіти RTCP періодично (кожні 5 секунд) надсилаються між учасниками з обмеженням, що його трафік не повинен перевищувати 5% від загального трафіку даних. RTP підтримує багатоадресну передачу, ідентифікацію типу корисного навантаження, відмітку часу, нумерацію послідовностей, моніторинг доставки. Крім того, базовий протокол UDP підтримує послуги мультиплексування та контрольної суми. Навіть якщо RTP є найбільш часто використовуваним протоколом для додатків у режимі реального часу, він має деякі проблеми. По-перше, він не підтримує своєчасну



доставку даних або будь-яку іншу гарантію якості обслуговування. Своєчасна доставка вимагає нижчих рівнів, які контролюють ресурси в комутаторах або маршрутизаторах (наприклад, Протокол резервування ресурсів, RSVP). По-друге, це не гарантує доставки, тому пакети можуть бути доставлені не в порядку або загубитися. Крім того, не існує механізму відновлення від втрати пакетів.

## Розділ 3

### Шляхи модернізації та оптимізації комп'ютерних мереж для передачі мультимедійного трафіку

#### 3.1 Оптимізація роботи локальної мережі

Надмірність і дублювання багатьох функцій в моделі OSI відзначалися багатьма аналітиками, що реально було доведено при побудові локальних мереж (LAN), які розвивалися автономно і мали наступними особливостями:

- використання каналів зв'язку (коаксіал, кручена пара, оптоволокно), що забезпечують надійну передачу даних з низькою ймовірністю помилок;
- застосування немаршрутизуючих топологій (рис. 1), що мають один шлях між двома будь-якими вузлами мережі, що дозволяє забезпечити доставку кадрів з аналізу адреси призначення кадру Ethernet, без використання мережевого протоколу;
- використання спеціального підрівні LLC (Logic Layer Control), що забезпечує надійне транспортування кадрів.



Рис. 1. Топологія локальних мереж: радіальна, кільцева і зовнішня мережі

Компанії IBM / Microsoft до теперішнього часу широко використовують в своїх мережах стек фірмових протоколів NetBIOS / SMB, в яких мережевий рівень фактично відсутня, і, в той же час, протокол NetBIOS виконує транспортні функції, а SMB - сеансу і представницькі функції.

Однак, навіть в локальних мережах автоматизації виробництва (протокол MAP), що мають деревоподібну структуру, що не використовувалася ієрархічна адресація, і, в даний час, у всіх локальних мережах застосовуються плоскі адреси, старші три байта яких централізовано розподіляються комітетом IEEE між виробниками обладнання та визначаються як організаційно унікальні ідентифікатори (Organizationally Unique Identifier - OUI), а п'ять молодших байтів служать для позначення порядкового заводського номера (всього 16 млн адрес).

Локальні комутатори, призначені для підвищення ефективності роботи мережі шляхом її сегментації, є більш продуктивну модифікацію раніше існуючих мостів (bridge) і є "прозорими" пристроями для вступників кадрів, адреса призначення яких (для визначення вихідного порту) по черзі порівнюється з адресами, що знаходяться в таблицях, які оперативно створюються в кожному порту на основі адрес відправника, які з кожного кадру, що надходить на даний порт.

Саме прозорість комутаторів, а також спосіб визначення порту призначення за допомогою таблиць не дозволяє їх використовувати в мережах з петльовими структурами (тобто в магістральних мережах), так як є можливість зациклення і розмноження кадрів ("широкомовний шторм").

Локальні комутатори, як і раніше мости, створювалися для роботи в тимчасових мережах, і навіть виділення одного (або двох) більш високошвидкісних каналів для підключення сервера не забезпечує ефективність роботи мережі, особливо в тих випадках, коли сумарна швидкість передачі від клієнтських ПК перевищує швидкість передачі в каналі сервера, що викликає включення механізму управління потоком (802.3x), що обмежує загальну швидкість передачі в мережі.

В даний час є можливість оптимізувати роботу локальної мережі для роботи за схемою "клієнт-сервер". Для цього необхідно використовувати спеціальний пристрій - комутуючий мультиплексор (SWItching multiPLEX - SWIPLEx), який мультиплексує кадри вихідного трафіку від клієнтів, що надходять по 10-ти каналах зі швидкістю 3 Мбіт / с, в один канал, що передає кадри до сервера зі швидкістю 10С Мбіт / с, а кадри спадного трафіку від сервера до клієнтів, що надходять на один порт зі швидкістю 10С Мбіт / с, комутуються на 10 портів, що передають кадри зі швидкістю 3 Мбіт / с .

Побудова локальної мережі, що працює за схемою "клієнт-сервер", у вигляді каскадного дерева дозволяє використовувати ієрархічну адресацію на MAC-рівні як в мережевих картах клієнтських ПК, так і в комутуючих мультиплексорах, що дозволяє застосувати в них спосіб бестабільної комутації, при якій вибір порту призначення визначається за кодом тієї тетради в адресі призначення прийнятого кадру, номер якої збігається з номером каскаду, на якому знаходиться даний комутуючий мультиплексор.

У сучасних локальних мережах в якості серверів використовуються окремі пристрої або звичайні ПК (мережі SOHO), або спеціалізовані пристрої - сервери. В тому і іншому випадку можливо оптимізувати з'єднання комутуючого мультиплексора з сервером. При цьому замість двох пристроїв (мережевої карти і комутуючого мультиплексора) пропонується одне - комутуюча мультиплексна карта (SwipleX Card - SXC), що не тільки знижує вартість пристрою підключення (перш за все за рахунок виключення двох контролерів GigabitEthernet), але і спрощує його функціонування і управління.

Апаратне рішення сервера-комутатора має бути доповнене відповідним програмним забезпеченням (ПЗ), які реалізують функції комутації на сеансовому рівні.

Відомо, що протоколи каналного рівня локальних мереж є самодостатніми для організації надійної транспортування даних, і тому поверх них можуть безпосередньо працювати протоколи прикладного рівня і навіть додатки без залучення коштів мережевого і транспортного рівнів.

Для цих цілей використовується спеціальний протокол управління логічним каналом LLC (802.2), в якому передбачені три типи процедур:

- LLC1 - процедура без встановлення з'єднання і без підтвердження,
- LLC2 - процедура із встановленням з'єднання і з підтвердженням,
- LLC3 - процедура без встановлення з'єднання, але з підтвердженням (часто використовується для управління технічними пристроями).

Надійність транспортування кадрів забезпечує процедура LLC2, в якій визначені протокольні блоки даних PDU (Protocol Data Unit) трьох типів:

- інформаційні (Information) кадри - призначені для передачі даних в режимі з встановленням з'єднання, в процесі якого виробляється їх нумерація в режимі "ковзного вікна";
- керуючі (Supervisory) кадри - призначені для передачі команд і відповідей, і в тому числі запитів на повторну передачу перекручених кадрів;
- нумеровані (Unnumbered) кадри - призначені для встановлення логічного з'єднання, а також для передачі нумерованих кадрів в процедурах без встановлення логічного з'єднання.

Кадр LLC обрамляється однобайтовими полями "Прапор" (01111110) і включає наступні поля:

- однобайтове поле, що містить двухразрядний код точки входу служби призначення (Destination Service Access Point - DSAP);
- однобайтове поле, що містить двухразрядний код точки входу служби джерела (Source Service Access Point - SSAP);
- одно / двухбайтове поле управління (Control);
- поле даних (Data).

Поле даних кадру LLC призначене для передачі по мережі інформації протоколів верхніх рівнів як мережевих (IP, IPX і ін.), Так і прикладних (наприклад, SNMP). Поле управління служить для організації роботи у всіх трьох режимах. Для ідентифікації верхніх протоколів служать точки входу служб SAP (Service Access Point), конкретний код яких визначає тип протоколу вищого рівня (наприклад, для протоколу IP - це код 0x06, для протоколу NetBIOS - 0xF0, де префікс 0x позначає шестнадцятиричне уявлення), тому немає принципових перешкод, наприклад, для використання протоколу SIP (Session Initiation Protocol) безпосередньо над протоколом LLC.

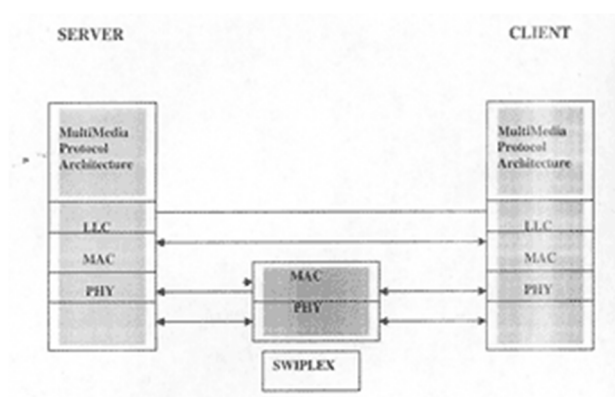


Рис. 2. Протокол LLC виконує роль транспортного протоколу TCP

У локальній мережі протокол Ethernet, по-перше, забезпечує доставку кадру в мережі за адресою призначення і, по-друге, проводить перевірку правильності передачі кадру по контрольній сумі (CRC), при цьому спотворені кадри відкидаються.

Протокол LLC забезпечує контроль за наявністю і правильним порядком всіх надійсланих кадрів (відкидаючи дубльовані) і, крім того, завдяки наявності полів DSAP і SSAP в заголовку забезпечує зв'язок прикладних процесів в вузлах мережі, тобто, фактично, виконує роль транспортного протоколу TCP (рис. 2).

Таким чином, в локальних мережах забезпечується повне функціонування всіх прикладних програм без використання протоколів TCP / IP.

Коммутируемая локальна мережа надає кожному користувачеві виділений дуплексний (full duplex) канал Ethernet з можливістю вибору швидкості передачі: 0,1 / 1/10 Мбіт / с. При цьому можлива передача як відео, так і мови безпосередньо поверх Ethernet (VIdео, Voice over Ethernet - VIVoEthernet), при гарантуванні їх якості (Quality of Service - QoS), так як крім необхідної швидкості передачі і два інших основних параметри якості обслуговування - допустима затримка і допустимий рівень втрат і спотворень кадрів - в пропонованих комутованих локальних мережах гарантовані конструктивно.

Чому оптимізація важлива?

Оптимізація мережі є важливою, оскільки наш взаємопов'язаний світ реального часу повністю залежить від надійної, безпечної, доступної цілодобової передачі даних. І з кожним роком до мереж ставлять все більше і більше вимог. Наш світ, керований даними, незаперечний. Кожен аспект нашого цифрового життя залежить від того, наскільки ефективно працює мережа, і саме тому оптимізація мережі є критично важливою.

Які основні переваги оптимізації?

Оптимізація має чотири основні переваги:

1. Оптимізація забезпечує вільний потік даних за рахунок оптимального використання ресурсів мережевої системи.
2. Оптимізація відстежує показники продуктивності, забезпечуючи звітування в режимі реального часу, що допомагає менеджерам мереж активно керувати мережею.
3. Оптимізація забезпечує аналітику та прогнозне моделювання, щоб менеджери мереж могли визначати вплив будь-яких змін в архітектурі на мережу до їх впровадження.
4. Усі ці переваги складаються з найважливішої переваги: підвищення ефективності роботи мережі.

Які основні показники оптимізації мережі?

Основними бізнес-цілями, що сприяють оптимізації, є такі технології, як SD-WAN, WiFi, великі дані, співпраця та багатохмарні хмарні, мобільні та крайові обчислення.

Довідково: Оптимізація мережі - центральне значення для покращення мережі

Керівники бізнесу вимагають впровадження цих технологій і стають все більш залежними від них для зростання та операційної ефективності. В результаті цих технологій генеруються величезні обсяги даних, що споживає велику пропускну здатність мережі та спричинює велике напруження мережі в цілому.

У той же час керівники підприємств очікують, що ці технології запрацюють. Без винятку. Період.

Основні тенденції оптимізації:

Старіші системи використовуються, щоб стати більш спритними

Незважаючи на те, що мережеві технології продовжують розвиватися, їм все одно потрібно добре грати з існуючими системами. Просто викрутити на



місці просто економічно недоцільно. У нашому недавньому опитуванні професіоналів NetOps вони сказали, що перетворення мереж із застарілих архітектур на більш спритні (і менш затратні) є їх найбільшим пріоритетом на 2019 рік.

Занадто велика складність напружує людей та ресурси NetOps

Однією з найбільших проблем, з якою стикається NetOps, є брак часу. Вони занадто зайняті вирішенням проблем у мережі, як правило, складаються з різнорідних застарілих архітектур та безлічі інструментів моніторингу, щоб зосередитись на великих стратегічних проблемах. Оптимізація мережі пропонує обіцянку консолідованої архітектури, поліпшення загальної продуктивності мережі та єдиного наскрізного перегляду для NetOps.

Розподілені мережі викликають більший рівень безпеки та ризику

Існує більше пристроїв, пристроїв IoT, додатків, хмарних мереж, віртуальних мереж, програмно визначених мереж (SDN), ніж будь-коли раніше. І чим більше вводиться в мережу, тим більше шансів на порушення безпеки. В оптимізованій мережі NetOps має можливість допомогти мінімізувати вразливості для захисту конфіденційних даних від проникнення та атаки.

Які загальні показники оптимізації?

Найкращі показники оптимізації мережі для кількісних конкретних аспектів мережі визначають певні атрибути, що відображають стан мережі, такі як затримка та втрата пакетів, тремтіння, перевантаження та пропускна здатність - все це має вирішальне значення для продуктивності мережі, досвіду кінцевого користувача та продуктивність кінцевих споживачів.

Найпопулярнішими показниками оптимізації мережі є:

Доступність мережі

Це одне з найбільших занепокоєнь будь-якого мережевого менеджера, відповідального за критичне для бізнесу або критично важливе мережеве середовище. Доступність мережі - це відсоток часу функціонування мережі

протягом певного періоду. Усі мережеві ресурси контролюються на наявність, включаючи мережеві пристрої, інтерфейси, глобальні мережі, SD-глобальні мережі, послуги, процеси, програми та веб-сайти, серед іншого. Показник оптимальної доступності мережі часто виражається як "дев'ять дев'яток": 99,9999999%, що означає 31,56 мілісекунд простою на рік.

### Використання мережі

Це показник кількості трафіку в мережі, який показує, зайнята, стабільна чи не працює мережа. Він обчислюється як відношення на основі поточного трафіку до пікового трафіку, який може обробити мережа, і визначається у відсотках. Стрибки використання мережі можуть впливати на продуктивність мережевої інфраструктури на кожному рівні, і для відстеження збільшення використання потрібен моніторинг. Вимірюючи вхідні та вихідні закономірності використання пропускну здатності, менеджери мереж можуть швидко побачити, наскільки і де мережа використовується, що дозволяє їм приймати зважені рішення щодо модернізації та обслуговування.

### Затримка мережі

“Затримка” - це синонім слова “затримка”. Мережева затримка - це вимірювання затримок, що виникають при передачі даних, або в односторонньому режимі, або в обидва кінці пакета даних. Індикатор швидкості мережі, який зазвичай вимірюється в мілісекундах, затримка сильно впливає на досвід користувачів (думаю, зокрема, дзвінки VoIP або потокове відео). Мережі, які зазнають невеликих затримок, - це мережі з низькою затримкою. Ті, хто має великі затримки, є мережами із високою затримкою.

### Мережа дрожання

Це відбувається, коли потік даних не є постійним, в результаті чого деякі пакети даних займають більше часу, ніж інші. Джиттер - це ознака перевантаженого маршрутизатора через перевантаження мережі, що зазвичай призводить до низької якості відео в Інтернеті або голосу.

## Доставка мережевих послуг та забезпечення послуг

Моніторинг надання послуг - це технологія, яка забезпечує візуалізацію, виявлення, оповіщення та звітування про стан наскрізної ІТ-служби. Це схоже на забезпечення послуг, яке є основою технології та процесів для забезпечення того, щоб ІТ-послуги, що пропонуються через корпоративну мережу, відповідали узгодженому рівню якості обслуговування (SLA) для оптимального користувацького досвіду. Моніторинг надання послуг та гарантування послуг відбувається шляхом оптимізації продуктивності додатків у гібридній мережевій інфраструктурі.

Що є типовим випадком використання галузі оптимізації мережі?

Типова оптимізація мережі використовує випадки, що охоплюють галузі. Незалежно від галузі - нерухомості, виробництва, роздрібною торгівлі, професійних послуг, нафти та газу чи охорони здоров'я - питання, що зумовлюють рішення про подальшу ініціативу оптимізації мережі, є універсальними. Цілі: доступність, гнучкість та масштабованість корпоративних мереж - все для того, щоб забезпечити надійну, негайну, безпечну доставку та доступ до корпоративних даних, програм та послуг. Переваги: спрощене управління мережею, підвищений рівень безпеки, ефективніша відповідність та контроль даних, а також загальна економія витрат на обладнання, програмне забезпечення та управління NetOps.

Типові ініціативи з оптимізації

Типові ініціативи з оптимізації включають окремі робочі станції та пристрої аж до серверів, з усім проміжком. Ідеальний спосіб зробити це за рахунок використання технологій, тобто оптимізації існуючих систем без придбання додаткового обладнання чи програмного забезпечення. Серед дій, які робить NetOps для оптимізації продуктивності мережі, є:

- формування дорожнього руху
- усунення зайвих даних

- кешування даних
- стиснення даних
- впорядкування протоколів даних
- налаштування буфера
- впровадження якості обслуговування ( QoS )
- розширена доставка заявок

### **3.2 Модернізація магістральних мереж**

Магістральні територіальні мережі (backbone wide-area networks) використовуються для утворення тимчасових зв'язків між великими локальними мережами, що належать великим підрозділам підприємства. Магістральні територіальні мережі повинні забезпечувати високу пропускну здатність, так як на магістралі об'єднуються потоки великої кількості підмереж. Крім того, магістральні мережі повинні бути постійно доступні, тобто забезпечувати дуже високий коефіцієнтом готовності, так як по ним передається графік багатьох важливих для успішної роботи підприємства додатків (business-critical applications). Через особливу важливість магістральних коштів їм може «прощатися» висока вартість. Так як у підприємства зазвичай є не так вже й багато великих мереж, то до магістральних мереж не пред'являються вимоги підтримки розгалуженої інфраструктури доступу. Зазвичай в якості магістральних мереж використовуються цифрові виділені канали зі швидкостями від 2 до 622 Мбіт / с, за якими передається трафік IP, IPX або протоколів архітектури SNA компанії IBM, мережі з комутацією пакетів frame relay, АТМ, Х.25 або ТСП / IP. Під мережами доступу розуміються територіальні мережі, необхідні для зв'язку невеликих локальних мереж і окремих віддалених комп'ютерів з центральною локальною мережею підприємства. Якщо

організації магістральних зв'язків при створенні корпоративної мережі завжди приділялася велика увага, то організація віддаленого доступу співробітників підприємства перейшла в розряд стратегічно важливих питань тільки останнім часом. Швидкий доступ до корпоративної інформації з будь-якої географічної точки визначає для багатьох видів діяльності підприємства якість прийняття рішень його співробітниками. Важливість цього чинника зростає зі збільшенням числа співробітників, що працюють на дому (telecommuters - телекоммьютеров), часто перебувають у відрядженнях, і з ростом кількості невеликих філій підприємств, що знаходяться в різних містах і, може бути, різних країнах.

В якості окремих віддалених вузлів можуть також виступати банкомати або касові апарати, що вимагають доступу до центральної бази даних для отримання інформації про легальних клієнтів банку, пластикові картки яких необхідно авторизувати на місці. Банкомати або касові апарати зазвичай розраховані на взаємодію з центральним комп'ютером по мережі X.25, яка свого часу спеціально розроблялася як мережа для віддаленого доступу неінтелектуального термінального обладнання до центрального комп'ютера.

До мереж доступу пред'являються вимоги, що істотно відрізняються від вимог до магістральних мереж. Так як точок віддаленого доступу у підприємства може бути дуже багато, одним з основних вимог є наявність розгалуженої інфраструктури доступу, яка може використовуватися співробітниками підприємства як при роботі вдома, так і у відрядженнях.

Крім того, вартість вилученого доступу повинна бути помірною, щоб економічно виправдати витрати на підключення десятків або сотень віддалених абонентів. При цьому вимоги до пропускну здатності у окремого комп'ютера або локальної мережі, що складається з двох-трьох клієнтів, звичайно укладаються в діапазон декількох десятків кілобіт в секунду (якщо така швидкість і не цілком задовольняє віддаленого клієнта, то зазвичай зручностями його роботи жертвують заради економії коштів підприємства).

Як мереж доступу зазвичай застосовуються телефонні аналогові мережі, мережі ISDN і рідше - мережі frame relay. При підключенні локальних мереж філій також використовуються виділені канали зі швидкостями від 19,2 до 64 Кбіт / с. Якісний стрибок у розширенні можливостей віддаленого доступу стався в зв'язку зі стрімким зростанням популярності і поширеності Internet. Транспортні послуги Мегпек! дешевше, ніж послуги міжміських та міжнародних телефонних мереж, а їх якість швидко поліпшується.

Програмні і апаратні засоби, які забезпечують підключення комп'ютерів або локальних мереж віддалених користувачів до корпоративної мережі, називаються засобами віддаленого доступу. Зазвичай на клієнтській стороні ці кошти представлені модемом і відповідним програмним забезпеченням.

Організацію масового віддаленого доступу з боку центральної локальної мережі забезпечує сервер віддаленого доступу (Remote Access Server, RAS). Сервер віддаленого доступу являє собою програмно-апаратний комплекс, який поєднує функції маршрутизатора, моста і шлюзу. Сервер виконує ту

чи іншу функцію в залежності від типу протоколу, за яким працює віддалений користувач або віддалена мережа.

Модернізація може суттєво допомогти подолати ескалацію витрати центру обробки даних. Сервери загального призначення, засновані на стандартах запропонувати більш економічну стратегію масштабування, щоб замінити розширений підхід, характерний для застарілої власності технологій. Замість того, щоб купувати дорогу, надмірно забезпечену обладнання для забезпечення зростання, оператори дата-центрів можуть придбати додаткові хости на основі архітектури Intel®, як вони є потрібні. Крім того, ці системи доступні з великих кількості виробників, що забезпечує більшу гнучкість.

Широко використовуються власні мережі зони зберігання даних (SAN) у застарілих центрах обробки даних особливо напружують бюджети через їх великі витрати на придбання та експлуатацію. VMware vSAN \* надає альтернативу шляхом об'єднання локальних зберігання даних від хостів по всьому підприємству, роз'єднавши їх ресурси базового обладнання. Такий підхід може різко зменшити витрати.

Поєднання технологій VMware та Intel дозволяє зменшити CAPEX, замінивши дорогий власний інфраструктура з дешевою архітектурою Intel обладнання та програмне забезпечення VMware. На основі дизайнерських підходів на програмно визначеному центрі обробки даних автоматизують щоденні операції, зменшуючи OPEX за рахунок зменшення потреби для ручного управління навколишнім середовищем, а також підвищення рівня використання обладнання. З кожним поколінням технологій постійне співпраця між двома компаніями додає додаткових зусиль можливості, додатково збільшуючи потенціал економії витрат.

Більше десятиліття тісної співпраці між VMware і Intel призвела до високого ступеня повноцінної оптимізації та інтеграція.

- VMware Cloud Foundation \* поєднує в собі програмне забезпечення обчислювати, зберігати та створювати мережі за допомогою VMware SoftwareDefined Data Center \* (SDDC \*) Manager для повного життєвого циклу автоматизація, в тому числі із застосуванням хмарних ресурсів контейнеризація.

Архітектура Intel забезпечує повний набір апаратного забезпечення будівельні блоки для обчислень, зберігання та мережі які забезпечують провідну в галузі продуктивність, надійність, та безпеки. Перехід до віртуалізованої інфраструктури VMware на Системи, засновані на архітектурі Intel, також відкривають двері величезна екосистема перевірених еталонних архітектур і інші рішення, що покращують сумісність та підтримку інновації. Усуваючи тягар застарілих платформ, підприємства відкриваються на повну силу поточного та майбутні технологічні переваги

Мережі великих розмірів, такі як міські (MAN) і глобальні (WAN), з метою підвищення ефективності і керовано-сти, будуються у вигляді дворівневої ієрархії: локальні мережі - магістральна мережа, причому кожна з них також може будуватися у вигляді самостійної ієрархії, як було показано вище для локальних мереж.

Головним завданням магістральної мережі є підтримка того рівня якості сервісу (QoS), який був досягнутий в локальних мережах. До магістральних мереж ставляться такі вимоги - висока продуктивність, надійність, сумісність, керованість, захищеність, розширюваність і масштабованість. Як відомо, радіально-вузлова чарункова структура існуючих магістральних мереж, що дісталася в спадок від телефонних мереж, далеко не в повній мірі відповідає цим вимогам і, до того ж, є плоскою і погано керованою.



Радикальне поліпшення функціонування магістральних мереж, підвищення їх надійності та якості передачі даних можливо тільки з використанням нової парадигми (концептуальної схеми) комп'ютерних комунікацій, яка включає :

- багатоярусну ієрархічну радіально-кільцеву топологію;
- ієрархічний MAC-адреса Ethernet;
- комутацію 2-го рівня на базі MAC-адрес кадрів Ethernet.



Рис. 3. Багатоярусна радіально-кільцева топологія глобальної мережі

Пропонована багатоярусна ієрархічна радіально-кільцева топологія (рис. 3), будучи комбінацією трьох найпростіших топологій, згаданих вище, задовольняє всім вимогам, що пред'являються до магістральних мереж, і, хоча в кожному вузлі має кілька напрямків для вибору альтернативного шляху (в разі виходу з ладу основного), в штатному режимі в вузлах апаратно забезпечується лише один єдиний шлях між двома будь-якими вузлами, що є ознакою немаршрутизуємої топології.

48-розрядний MAC-адреса представляється у вигляді ієрархічної структури, причому кожна тетрада (4 розряду) адреси служить для адресації 12 вузлів в кільці на одному ярусі, і, таким чином, всього в магістральній мережі можна адресувати більше 27 трлн вузлів (по 1 вузлу на кожні 25 кв. м площі при рівномірному розміщенні по всій поверхні Землі). При цьому кожен вузол являє собою абонентський сервер локальної мережі, який забезпечує взаємодію до 1000 абонентів, що, в

принципі, знімає проблему нестачі адрес в мережі (подібної нестачі адрес IPv4, яка стоїть перед користувачами Інтернет).

Магістральний комутатор Ethernet на кожному рівні ієрархії має 12 портів для з'єднання з комутаторами в кільці нижчого ярусу, порт Z - для з'єднання з комутатором, що знаходяться на кільці вишележащего ярусу, і порти L і R - для з'єднання з комутаторами, що знаходяться зліва і справа по кільцю, відповідно.

На відміну від існуючих локальних комутаторів, пропоновані магістральні комутатори не будують таблиці адрес по кожному порту, а мають власний ієрархічний MAC-адреса (Locally Administreted Address - LAA), число нульових тетрад у якого визначається номером ярусу (знизилися по мережі), на якому розташовується даний комутатор. При роботі комутатор виробляє порівняння префікса (тобто старшу ненулеву частину) адреси комутатора з відповідним префіксом адреси призначення кадру, що надходить на кожен порт комутатора: при їх рівності кадр пересилається на той порт, код якого визначено в тетраде, що знаходиться відразу за префіксом в адресі призначення кадру; при нерівності - кадр пересилається на порт Z. Крім того, за однакової кількості префікса адреси призначення надійшов кадру префіксу адреси комутатора L, розташованого зліва по кільцю, або префіксу адреси комутатора R, розташованого по кільцю справа, - цей кадр надходить на відповідний порт комутатора



Рис. 4. Макет 16-портового комутатора

Простий алгоритм комутації дозволяє виконати комутатор цілком апаратно (без використання процесорної обробки) на базі інтегральних схем з перепрограммируемой логікою (FPGA), різноманітний спектр яких широко

запропонований на світовому ринку електронних компонентів (макетний зразок магістрального комутатора, виконаного з використанням 4-х мікросхем Virtex ( XCV50) фірми Xilinx, показаний на рис. 4).

Даний підхід дозволить істотно (в 1,5-2 рази) знизити вартість магістральних комутаторів (комутатор OmniSwitch 8000 фірми Alcatel, що має комутуючу платформу (switch fabric), продуктивністю в 512 Гбіт / с, і дозволяє забезпечити неблокуючі роботи 384 портів GigabitEthernet або 16 портів 10GigabitEthernet, - коштує \$ 41 000).

Пропоновані магістральні комутатори працюють в тандемі з мережевим сервером, на який покладаються такі функції [5]:

- резервування затребуваної протоколом RSVP пропускної здатності по всіх портах з'єднаного з ним комутатора для передачі пріоритетного трафіку;
- буферизація і обробка непріоритетного трафіку і передача його через порти комутатора у вільний від пріоритетного трафіку час;
- обробка ширококомовного трафіка.

З урахуванням принципової різниці характеру трафіку при передачі даних (передача кадрів великої довжини, спорадичний характер трафіку) і мультимедійної інформації (передача коротких кадрів, потоковий характер трафіку, чутливість до затримок), а також вимог надійності, - магістральну мережу необхідно створювати повністю дубльованою, при цьому передачу даних і передачу мультимедійної інформації необхідно проводити по різним мережам.

Заголовок Ethernet   Заголовок IP   Заголовок TCP   Інформація   CRC
--

A) Кадр існуючих мереж Ethernet
---------------------------------

Заголовок Ethernet   Заголовок LLC   Інформація CRC
---

B) Кадр пропонуваної мережі Ethernet
--------------------------------------

Рис. 5

Отже, в пропонованій глобальній мультимедійній мережі за рахунок виключення протоколів TCP / IP (особливо обтяжених версією IPv6) спрощується програмне забезпечення клієнтських ПК, істотно зменшуються вартість комутації (маршрутизатор в 10-20 разів дорожче магістрального комутатора) і витрати при передачі мультимедійного трафіку через магістральну мережу (рис. 5), яка проводиться короткими кадрами, що містять інформацію з великим коефіцієнтом стиснення, при цьому сумарний заголовок у варіанті а становить 58 байт, а у варіанті в - 18 байт.

Поширення технології локальних мереж (комутаторів 2-го рівня і технологій Ethernet1 / 10 Гбіт / с) в область глобальних мереж дозволяє будувати масштабовані мережі, в яких мультимедійні протоколи будуть ефективно працювати відразу над стека Ethernet / LLC / SIP, як в стаціонарних, так і в бездротових і мобільних мережах.

Використання мультимедійних протоколів поверх стека Ethernet/LLC/SIP			
Модель OSI	IBM/Microsoft	Інтернет	MultiMediaEthernet
Прикладної		Telnet	Telnet
		FTP	FTP
		SMTP	SMTP
	SMB	SNMP	SNMP
Представницький		WWW	WWW
		RSVP	RSVP
			SDP
			RTP
Сеансовий			SIP
Транспортний	NetBIOS	TCP	
Мережевий		IP	
Канальний	LLC		LLC
	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Фізичний	Коаксиал, вита пара, оптоволокно		

## Розділ 4

### Розробка і реалізація об'єктно-орієнтованої імітаційної моделі мультисервісної мережі для передачі мультимедійні трафіку з адаптивної маршрутизації

#### 4.1 Класифікації математичних моделей комп'ютерних мереж

Класифікувати мережі можна за різними ознаками - однорідності компонентів, ієрархічності, територіального розміщення, приналежності, середовища передачі.

Однорідність компонентів. Мережа може перебувати як з однотипних пристроїв (Гомогенні), так і з пристроїв різного типу (гетерогенні). Гомогенні мережі були поширені в 70-80 роки, коли була характерна поставка "під ключ" єдиного комплекту мережі від одного виробника. В даний час практично не зустрічаються.

Ієрархічність. Однорангові мережі, всі комп'ютери в яких мають однакові права, і ієрархічні (мережі з виділеними серверами і керуючими пристроями). Застосовуються мережі обох типів, наприклад, мережа невеликого офісу часто складається з рівноправних комп'ютерів без виділеного сервера, мережею будівлі зручніше управляти з єдиного центру, мережа Інтернет - формально однорангова.

Територіальне розміщення. Чітко критерію є, особливо в даний час, коли мережі всіх типів будуються на загальних принципах сімейства протоколів TCP / IP, але прийнято розрізняти локальні (кімната, будівля, типове

відстань між комп'ютерами - ось одиниць до сотень метрів), територіальні (велике підприємство, невеликий місто, типові відстані - одиниці кілометрів) і глобальні мережі (сотні і тисячі кілометрів). Також іноді виділяють міські мережі (десятки кілометрів) і особисті мережі (десятки метрів).

Належність. Приватні, корпоративні, державні та громадські мережі. Класифікація звичайно з назви.

Середовище передачі. Мережі із загальною середовищем передачі, коли всі учасники мережі спілкуються через єдине фізичне простір, або мережі з комутованою середовищем передачі, коли в мережі підтримується безліч ОКРЕМИХ каналів зв'язку. Також по середовищі передачі можна розрізнити провідні (електричні, оптичні) і бездротові (радіо) мережі.

Еталонна модель взаємодії відкритих систем осі. Основні функції рівневих підсистем.

Організація взаємодії між пристроями в мережі є складним завданням. Як відомо, для вирішення складних завдань використовується універсальний прийом - декомпозиція, тобто розбиття однієї складної задачі на трохи більш прості задачі-модулів. В результаті досягається логічне спрощення задачі, а крім того, з'являється можливість модифікації ОКРЕМИХ модулів без зміни іншої частини системи.

Всі безліч модулів розбивають на рівні. Рівні утворюють ієрархію, тобто є вищележачі і нижележачі рівні. Безліч модулів, що складають кожний рівень, сформована таким чином, що для виконання своїх завдань вони

звертаються із запитом тільки до модулів безпосередньо примикає нижчого рівня. З іншого боку, результати роботи всіх модулів, що належать деякому рівню, можуть бути передані тільки модулям сусіднього вищого рівня. Така ієрархічна декомпозиція задачі передбачає чітке визначення функції кожного рівня і інтерфейсів між рівнями.

В результаті ієрархічної декомпозиції досягається відносна незалежність рівнів, а значить, і можливість їх легкої заміни. Засоби мережевої взаємодії теж можуть бути представлені у вигляді ієрархічно організованої безлічі модулів.

Без прийняття всіма виробниками загальних правил побудови обладнання прогрес в справі будівництва мереж був би неможливий. Тому весь розвиток комп'ютерної галузі відображено в стандартах - будь-яка нова технологія тільки тоді може широко використовуватися, коли її зміст закріплюється у відповідному стандарті, а поки стандарту немає - це не технологія, а всього лише експериментальна розробка.

У комп'ютерних мережах ідеологічною основою стандартизації є багаторівневий підхід до розробки засобів мережевої взаємодії. Саме на основі цього підходу була розроблена стандартна модель взаємодії OSI (Open Systems Interconnection) - абстрактна мережева модель комунікації і розробки мережевих протоколів. Модель розглядає мережу за рівнями, кожен рівень обслуговує свою частину процесу взаємодії. Завдяки такій структурі спільна робота мережного обладнання та програмного забезпечення стає набагато простіше і прозоріше.

Класифікація моделей мереж ЕОМ, розглядаються переваги і недоліки основних напрямків моделювання - імітаційного й аналітичного. Робиться висновок про те, що в даний час для моделювання мереж ЕОМ в основному використовуються імітаційні моделі, так як отримання таких характеристик як відсоток втрат переданих пакетів з використанням аналітичного апарату неможливо. Відзначаються основний недолік більшості сучасних мережевих симуляторів - при створенні та впровадженні нового модуля розробляється протоколу виникає необхідність модифікації інших модулів, що призводить до залежності між розробниками. У зв'язку з цим застосування концепції об'єктно проектування і аналізу є хорошим рішенням для усунення зазначених недоліків існуючих імітаційних моделей мереж ЕОМ. 4 В рамках підходу об'єктно-орієнтованого аналізу і проектування імітаційна модель мультисервісної мережі розглядається як модель складної системи, що включає компоненти, представлені на рис. 1.

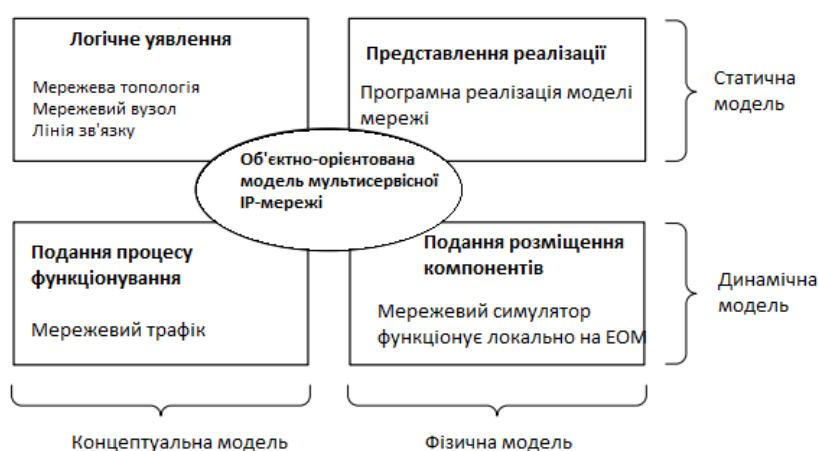


Рис. 1. Імітаційна модель мультисервісної мережі як модель складної системи

У другому розділі аналізується архітектура протоколів мультисервісних мереж. На її основі робиться висновок про те, що трафік реального часу в IP мережах передається в складі протокольної тріади RTP / UDP / IP. Аналізується застосовувані в даний час критерії ефективності передачі трафіку в комп'ютерних мережах, такі як затримка при передачі пакетів, джиттер і відсоток втрат переданих пакетів. Робиться висновок про те, що



поточні архітектури Інтернету не забезпечує будь-якої форми гарантії якості. До теперішнього моменту часу було запропоновано безліч адаптивних методів, які дозволяють зробити додатки реального часу більш толерантними до варіацій затримок і втрат пакетів. Незважаючи на це практика показує, що проблема якісної передачі мультимедійного трафіку в мережах TCP / IP залишається вирішеною не до кінця. У наступному розділі виділяються і аналізуються три рішення проблеми якісної передачі мультимедійного трафіку на основі вже існуючих мереж TCP / IP: 1. Застосування технологій управління якістю сервісу QoS. 2. Розробка алгоритмів активного управління чергами мережевих інтерфейсів. 3. Розробка алгоритмів IP-маршрутизації шляхом залучення додаткової інформації для їх роботи. Проводиться порівняльний аналіз кожного з розглянутих напрямків з пріоритетом вибору більш простого, і як наслідок бюджетного, рішення. У 5 Для вирішення проблеми якісної передачі мультимедійного трафіку в IP-мережах обрана розробка нового алгоритму маршрутизації. Таким чином, в розділі показана актуальність розробки об'єктно імітаційної моделі мультисервісної мережі TCP / IP, яка буде використовуватися для апробації розробленого в рамках дипломної роботи алгоритму маршрутизації, що поліпшує якісні характеристики проходження мультимедійного трафіку.

#### **4.2 Проводимо аналіз існуючого стандартного алгоритму маршрутизації в Інтернеті**

Запропонований новий розподілений адаптивний алгоритм IP-маршрутизації зі зворотним зв'язком (Distributed Adaptive Routing with Loorback, DARL) і описана його реалізація в операційній системі Linux. Постановка завдання розробки алгоритму маршрутизації DARL виділив його наступні особливості, необхідні для реалізації: 1. Адаптивність. Алгоритм здійснює балансування трафіку на основі показників «ймовірність скидання пакету», кількості повернутих пакетів даних і вартості маршруту. 2. Наявність механізму зворотного зв'язку. Алгоритми

на сусідніх маршрутизаторах взаємодіють, обмінюючись службовою інформацією, роль якої грають повертаються пакети даних. Структурно алгоритм DARL можна представити у вигляді блок-схеми (Рис. 2), яка складається з наступних логічних секцій. Секція BackWard введена для реалізації механізму повідомлення про події в мережі перевантаження. Даний механізм реалізується шляхом відсилання пакета з позначкою «зворотна пересилання» попереднього маршрутизатора. Секція stRules виробляє первинний аналіз таблиці. Застосовуються стандартні правила Basic Match і Longest Match. Безліч маршрутів-кандидатів, отримане після роботи даного правила, використовується в подальшій роботі алгоритму DARL. У секції Best Metric відбувається вибір маршруту з найкращого метрикою, яка є многокритеріальною. Тому необхідно введення двох нових полів в таблицю маршрутизації. Поле «Завантаженість» містить кількість пакетів, повернутих шлюзом на даному маршруті за певний проміжок часу, для обчислення якого служить значення в поле «Граничне час». Підсумкова метрика розраховується за такою формулою:

$$M = \begin{cases} 0, & \text{якщо } p=1; \\ P + L + C, & \text{якщо } p < 1. \end{cases}$$

де  $p$  - завантаженість мережевого інтерфейсу маршруту;

$P$  - нормована завантаженість мережевого інтерфейсу;

$L$  - нормована завантаженість маршруту;

$C$  - нормована стандартна метрика маршруту.

Значення складових формули змінюються в діапазоні від 0 до 1. Більш пріоритетним вважається більшого значення.

Нормована завантаженість мережевого інтерфейсу розраховується за формулою .

P = 1- p.

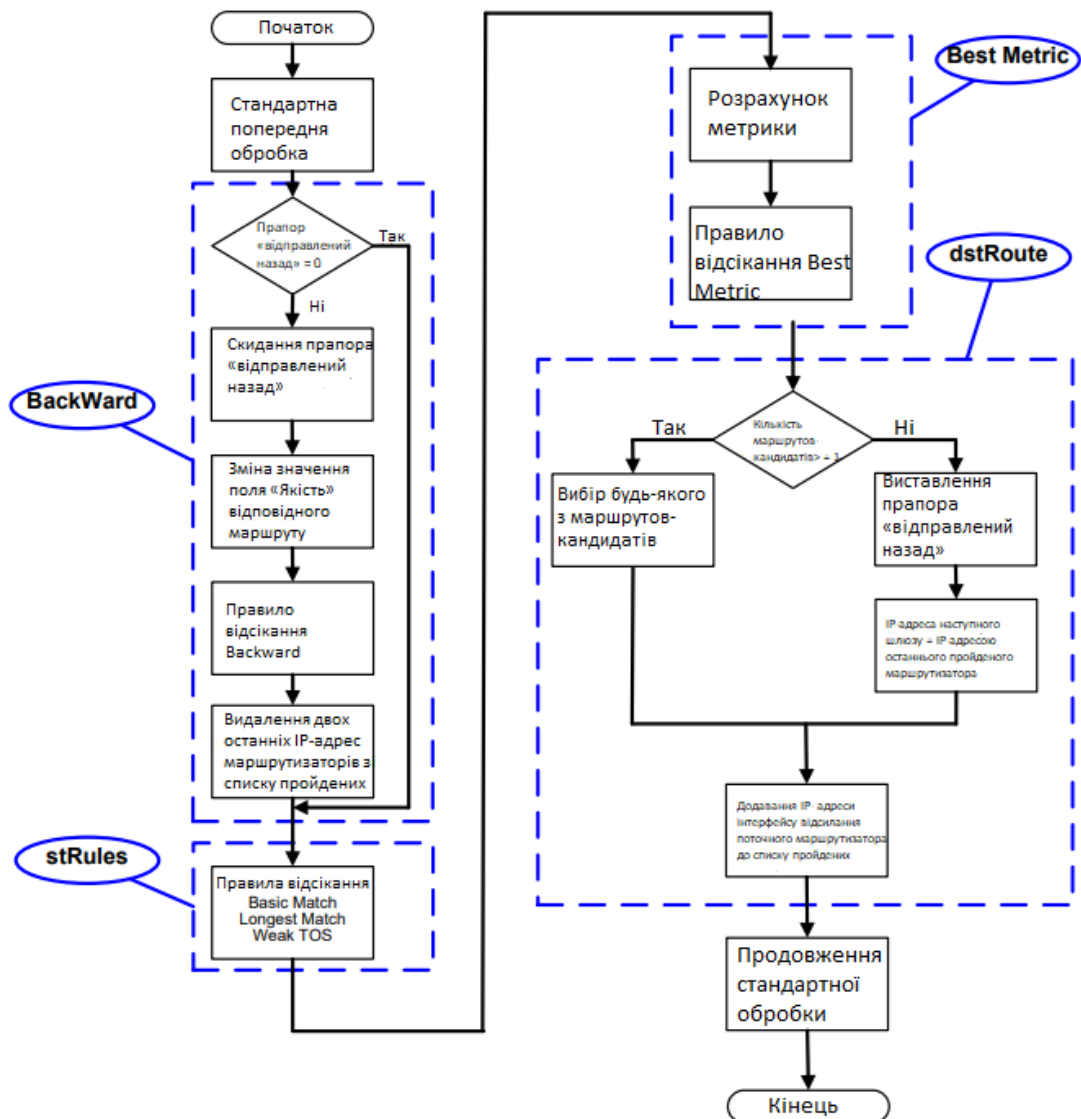


Рис. 2. Схема роботи алгоритму маршрутизації DARL

Окремим питанням є отримання показника завантаженості мережевого інтерфейсу  $p$ . При цьому пріоритетні черги не розглядаються, і вважається, що черга організована за принципом FIFO з залученням алгоритму активного управління чергою або без нього. У першому випадку завантаженість черги визначається ймовірністю скидання оброблюваного пакета, у другому

випадку - її довжиною: якщо черга не досягла ліміту, то показник  $p$  приймається рівним 0, інакше - 1.

Нормована завантаженість маршруту розраховується за формулою.

$$L = \begin{cases} 1, & \text{якщо } l=0; \\ \frac{1}{l}, & \text{якщо } l>1, \end{cases}$$

де  $l$  - завантаженість маршруту.

Саме значення завантаженості маршруту розраховується як відношення кількості повернутих пакетів за інтервал часу. Кількість пакетів береться рівним значенню поля «Завантаженість» таблиці маршрутизації. Часовий інтервал ( $c$ ) розраховується як різниця поточного часу і значення поля «Граничне час» таблиці маршрутизації. Інтервал, протягом якого здійснюється постійне інкрементування поля «Завантаженість», приймається рівним 0,25 с. Після закінчення даного часу очікування поле «Завантаженість» обнуляється, а значення поля «Граничне час» приймається рівним поточному часу.

Нормована стандартна метрика виходить за такою формулою:

$$C = \frac{1}{c},$$

де  $c$  - метрика стандартного алгоритму.

У секції `dstRoute` поряд з секцією `BackWard` реалізується механізм зворотного зв'язку між комутаційними вузлами. Якщо після застосування всього ланцюжка описаних правил безліч маршрутів-кандидатів виявиться порожнім,

то пакет необхідно відправити попереднього маршрутизатора. Інакше продовжити алгоритм стандартної обробки пакета.

У розділі доведено, що розроблений алгоритм DARL володіє наступними основними властивостями: дискретність, визначеність, кінцівку, результативність і масовість. З метою практичного впровадження отриманих в дипломній роботі результатів був обраний варіант реалізації у відкритій операційній системі Linux, яка широко використовується провайдерами Інтернет послуг в якості програмного забезпечення вузлів маршрутизації. Для цього був обраний пакет Click Modular Router.

У розділі був розроблений оригінальний розподілений адаптивний алгоритм IP-маршрутизації, що поліпшує якісні характеристики мультимедійного трафіку, а також показана його практична реалізація в операційній системі Linux.

### **4.3 Розробка адекватної об'єктно-орієнтованої імітаційної моделі мультисервісної IP-мережі.**

У відповідність з рис. 1 виділені і розглянуті основні складові моделі: логічна структура - модель лінії зв'язку, модель мережевого вузла і модель мережевої топології; логічне функціонування (функціональна складова концептуальної моделі) - модель мережевого навантаження; фізична модель. Логічна структура об'єктно-орієнтованої імітаційної моделі мережі представлена з використанням нотації уніфікованої мови моделіеслі  $l = 0$ ; якщо  $l > 1$ , (3) (4) 8 вання UML на рис. 3. Вузол повністю представимо моделлю стека мережевих протоколів, який реалізований в класі ProtocolStack і містить безліч протоколів, які представлені абстрактним класом Protocol. 7-й рівнева еталонна модель ISO / OSI відображена в абстрактних класах Physical, DataLink, Network, Transport і Application. Останні три рівня моделі загально визнано вважаються надмірними і

представлені класом Application. Далі вказуються класи основних протоколів стека TCP / IP, що відносяться до того чи іншого рівня. Об'єднання протоколів в стек вказується через ставлення агрегації до класу TCP / IP, який в свою чергу є дочірнім по відношенню до класу ProtocolStack. Пакети даних всіх протоколів є дочірніми класами по відношенню до абстрактного класу Message, який в свою чергу є складовою класу CALL. Даний клас є виклик, який виробляє протокол для здійснення вертикального взаємодії в рамках стека. Взаємозв'язок вузла і лінії зв'язку вказана через ставлення асоціацію між класом мережевого інтерфейсу NIC і класом інтерфейсу лінії зв'язку Connector. Сама лінія зв'язку представлена класом Link. Навантаження на мережу, як функціональна складова концептуальної моделі, формується протоколами прикладного рівня в рамках алгоритму формування та обробки повідомлення, який реалізується процедурою processing (). Вироблений в дисертаційній роботі аналіз показує, що типові мережеві топології не дозволяють врахувати істотних властивостей Інтернет мереж. Тому для ІМ запропоновано розширення моделі «вузьке горло» - модель «багатоканальність», яка показана на рис. 4. Умовно схема розділена на чотири зони. На основі проведеного аналізу мереж сучасних Інтернет-для кожної із зон визначені характеристики ліній зв'язку. В ІМ для генерації потоку пакетів використовуються три типи джерел трафіку: VoIP, HTTP і FTP. Можна з повною впевненістю стверджувати, що для моделювання трафіку реального часу достатньо джерел IP-телефонії, так як весь цей тип трафіку працює через протокольну тріаду RTP / UDP / IP і має однаковий профіль навантаження на мережу. HTTP і FTP джерела трафіку були обрані як найбільш популярні Неінтерактивні сервіси на сьогоднішній день. Модель джерела VoIP трафіку можна розбити на три підмоделі: модель процесу розмови людини, модель вибору голосового кодека, модель потоку дзвінків. Поведінка голосового джерела традиційно описується моделлю Бреді. Природа будь-якої розмови має характер періодичного чергування циклів мови і пауз між вимовними звуками, словами або фразами. При генерації голосових пакетів ці цикли

також присутні. При цьому ключовими елементами моделі розмови людини є активна мова (ON-період), паузи (OFF-період) і закони розподілу тривалості цих періодів. Результати останніх досліджень показують, що ON / OFF періоди розподілені згідно із законами Парето і Вейбулла. У моделі джерела VoIP трафіку використовується кодек стиснення голосу G.729 Annex B. У моделі потоку дзвінків визначаються закони розподілу часу між двома дзвінками з одного джерела і тривалості самого дзвінка.

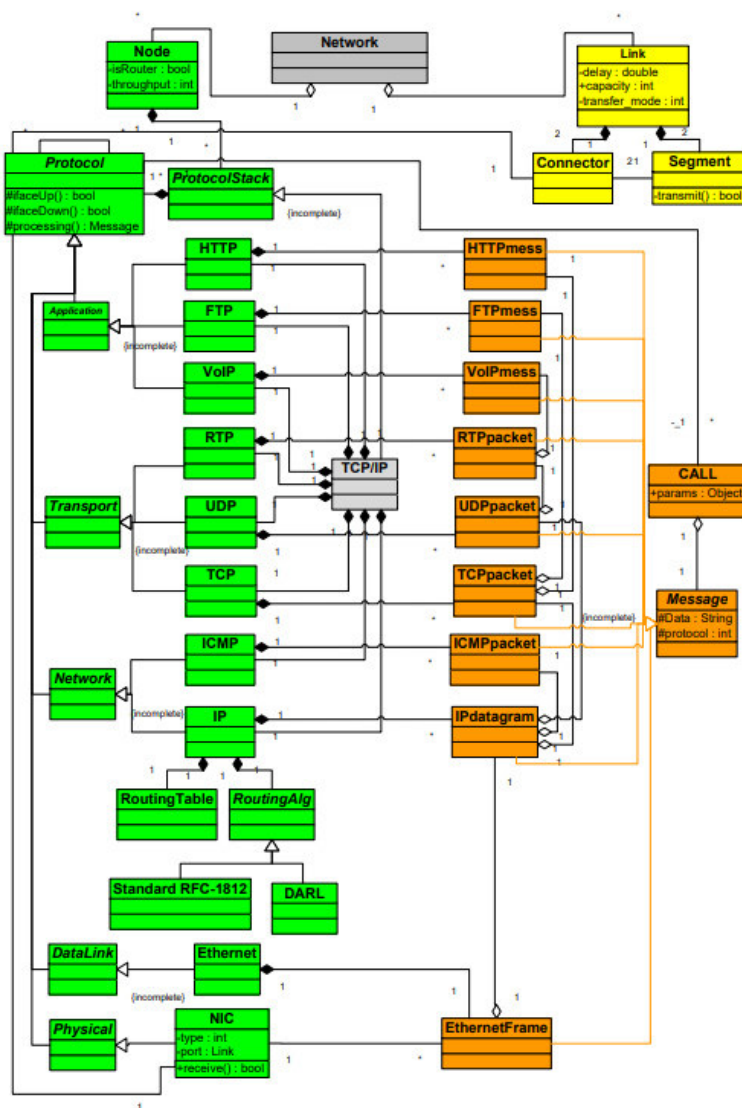


Рис. 3. UML-діаграма логічної структури імітаційної моделі мультисервісної мережі

Модель джерела трафіку IP-телефонії представлена на рис. 5. Параметри моделі наведені в Таблиця 1.

Для визначення і опису структурних параметрів моделі web-трафіку використовується абстракція web-сеансу, яка включає в себе поняття сторінки і об'єкта. Дана абстракція була запропонована в SURGE-моделі, яка була взята за основу при емуляції даного типу трафіку. Для визначення і опису структурних параметрів моделі ftp-трафіку використовується абстракція ftp-сеансу, яка включає в себе поняття файлу.

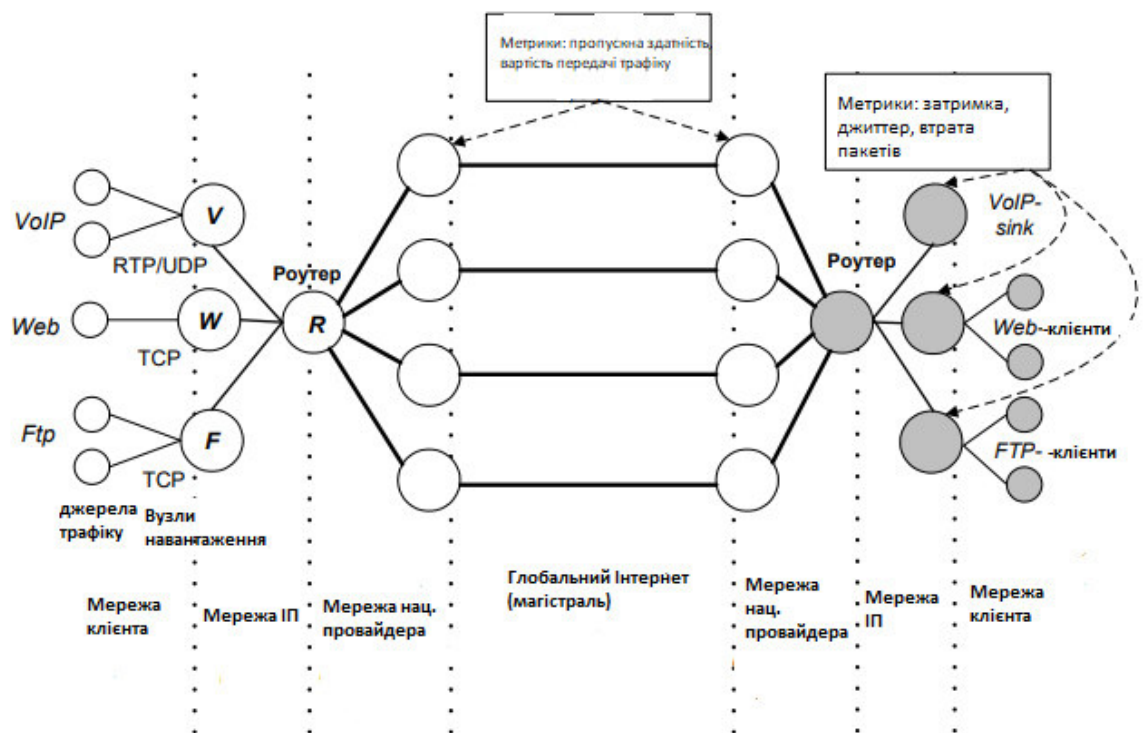


Рис. 4. Модель мережевої топології «багатоканальність»



Таблиця 1 - Параметри імітаційної моделі трафіку VoIP

Параметр моделі	Функція параметра	Значення
Час ON-періоду, T <sub>сп</sub> .	Розподіл	<b>Парето</b> $f(x) = \frac{a \cdot b^a}{x^{a+1}}$ $a = 2,114; b = 0,211$
	Середнє значення, сек	0,4011
	Відхилення, сек	0,3637
Час OFF-періоду, T <sub>гар</sub>	Розподіл	<b>Вейбулла</b> $f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$ $x \geq 0, a > 0, b > 0$
	Середнє значення, сек	0,5775
	Відхилення, сек	1,1774
Тривалість розмови, T <sub>h</sub> .	Розподіл	<b>Експоненціальне</b> $f(x) = \begin{cases} ae^{-ax}, & x \geq 0, a > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$ $a = 0,0029$
	Середнє значення, сек	345,4
Інтервал між дзвінками, T <sub>a</sub> .	Розподіл	<b>Експоненціальне</b> $a = 0,275$
	Середнє значення, сек	3,64
Кодек	Тип	G.729 Annex B
	Довжина пакета, байт	20
	Міжпакетний інтервал, T <sub>i</sub> , мс	10

Кількісні і тимчасові характеристики сеансу, також як і у випадку з голосовим і web- трафіком, визначаються за допомогою статистичних імовірнісних розподілів і взяті з специфікації IEEE 802.20.

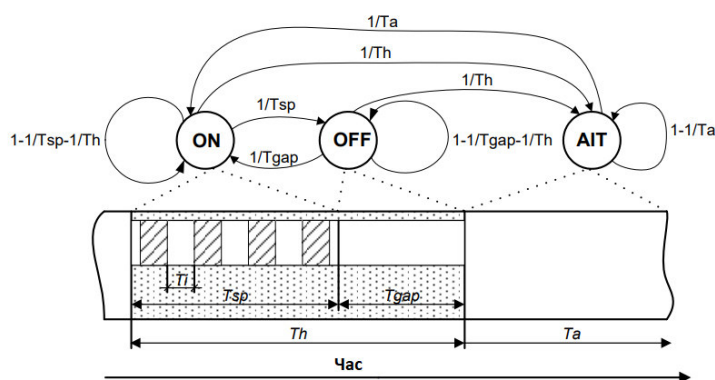


Рис. 5. Модель джерела VoIP трафіку

Для програмної реалізації розробленої моделі обраний пакет AnyLogic.

AnyLogic є середовищем для графічного створення моделей з використанням об'єктно-орієнтованої мови Java. Після створення моделі і опису експериментів автоматично генерується програма імітаційного моделювання. Основним елементом моделі в середовищі AnyLogic є активний об'єкт. Він має внутрішню структуру і поведінку, а також може містити інші активні об'єкти як свої елементи. Структура активного об'єкта залежить від того, з яких елементів він складається і які зв'язки існують між включеними в нього об'єктами. Поведінка об'єкта показує його реакцію на зовнішні події в вигляді послідовності його змін в часі. AnyLogic дозволяє

- моделювати за допомогою візуальних, гнучких, розширюються, повторно-використовуваних об'єктів (стандартних і своїх), а також на мові Java;
- збільшити життєвий цикл моделі, швидко підлаштовуючи її до мінливих умов, при вирішенні яких необхідні як високий, так і низький рівні абстракції;
- використовувати потужний арсенал засобів аналізу і оптимізації безпосередньо з середовища розробки моделі;
- інтегрувати модель відкритої архітектури з офісними та корпоративними ПО (електронні таблиці, БД, ERP і CRM системи);
- ефектно представляти свої результати, супроводжуючи модель інтерактивною анімацією, а також даючи можливість доступу до моделі через Інтернет.

AnyLogic підтримує на єдиній платформі наступні існуючі підходи: дискретно-подієвого і безперервного моделювання (блок-схеми процесів, системну динаміку, Агентне моделювання, карти станів, системи рівнянь).

AnyLogic має розвинений базова мова дискретного і змішаного дискретно / безперервного моделювання, на основі якого побудовані рішення для конкретних областей; бібліотека Enterprise Library, а також Material Flow Library (потoki матеріалів) і Healthcare Library (робота медичних установ), включені до складу продукту. Enterprise Library містить традиційні об'єкти: черги, затримки, конвеєри, ресурси іт.п., так що модель і анімація будуються в стилі drag- and-drop і гнучко параметризуються.

Агенти AnyLogic можуть створюватися і знищуватися динамічно, переміщатися, спілкуватися один з одним. За допомогою агентів моделюють ринки (агент - потенційний покупець), конкуренцію, ланцюжки поставок (агент - компанія), населення (агент - сім'я, житель міста або виборець). Тільки агентні моделі дозволяють отримати уявлення про загальний поведінці системи, виходячи з припущень про поведінку її елементів при відсутності знання про глобальні законах, т. Е. В найбільш загальному випадку.

AnyLogic пропонує безліч засобів для опису структури, поведінки і даних, що моделюється: об'єкти, інтерфейси і ієрархія, блокові діаграми, карти станів, таймери, порти і передача повідомлень, змінні і алгебраїчні диференціальні рівняння, а також можливість додати вираз, оператор або функцію на мові Java в будь-якому місці моделі.

Оскільки моделі AnyLogic - 100% Java, їх можна не тільки запускати на багатьох платформах, але і поміщати на web- сайти в вигляді аплетів. Це властивість дозволяє віддаленим користувачам запускати інтерактивні моделі в web-браузері.

У AnyLogic уявлення моделі є візуальним і ієрархічним. Простий графічний мова моделювання, заснований на UML-RT, оперує поняттями об'єктів і зв'язків між ними - дискретними (відправлення повідомлень довільної структури) і безперервними (відстеження показників). Для опису складного поведінки користувач може використовувати графічні діаграми переходів і станів. Такі діаграми дозволяють візуально проектувати складні бізнес-процеси і багатокрокові дії з альтернативами.

Опис поведінки об'єктів проводиться за допомогою фрагментів коду на мові Java: користувач повинен визначити суттєвий код дій в спеціальних полях властивостей елементів об'єктів, а весь рутинний код генерується пакетом автоматично. Коли базових можливостей AnyLogic недостатньо, розробник моделі може використовувати Java для створення додаткових класів. При розробці складних моделей не вдається обійтися без процедурної логіки і, як наслідок, написання значного обсягу програмного коду. Частка програмування в цьому випадку становить приблизно 80% загальних трудовитрат на розробку моделі.

Була проведена оцінка адекватності ІМ на основі результатів, отриманих з використанням стенда натурного моделювання. Використовуючи критерій Вілкоксона, був проведений порівняльний аналіз вибірок, отриманих в ході натурного і імітаційного експерименту. Результати розрахунків свідчать про адекватність розробленої імітаційної моделі.

#### 4.4 Аналіз ефективності роботи алгоритму DARL

Зробимо аналіз ефективності роботи алгоритму DARL з використанням розробленої аналітичної оціночної моделі і об'єктно-орієнтованої імітаційної моделі мультисервісної мережі. В рамках дипломної роботи відома аналітична методика оцінки ефективності роботи маршрутизаторів була розвинена і на її основі отримано аналітичну модель оцінки ефективності роботи алгоритмів IPмаршрутизації, за допомогою якої були отримані вирази оціночних функцій алгоритму DARL і стандартного алгоритму IPмаршрутизації:

$$F(\Omega_R \times \Omega_S)_{DARL} = \left[ \frac{2 * S_{BACK} + \left( C_{ACK} - \frac{S_F}{S_W} \right) * S_{ACK} + S_{TR} - S_F}{Vc} + T_{PP\_DARL} \right]^{-1}$$
$$F(\Omega_R \times \Omega_S)_{STAND} = \left[ \frac{\left( C_{ACK} - \frac{S_F}{S_W} \right) * S_{ACK} + S_{TR} - S_F}{Vc} + T_{PP\_STAND} \right]^{-1},$$

де  $F(\Omega_R \times \Omega_S)_{DARL}$  – оціночна функція алгоритму DARL;  
 $F(\Omega_R \times \Omega_S)_{STAND}$  – оціночна функція стандартного алгоритму;

$S_{BACK}$  – розмір повернутих пакетів;

$C_{ACK}$  – кількість переданих повідомлень-квитанцій;

$S_F$  – розмір повідомлення прикладного рівня (біт);

$S_w$  – розмір вікна TCP-протоколу (біт);

$S_{ACK}$  – розмір пакета підтвердження (біт);

$S_{TR}$  – розмір переданих даних (біт);

$T_{PP}$  – час виконання алгоритму маршрутизатором;

$Vc$  – швидкість самого повільного каналу мережі (б / с).

Використовуючи отримані оціночні функції, був зроблений наступний висновок - застосування алгоритму DARL є доцільним тільки на топологіях типу «багатоканальність». Розроблено інтегральна методика оцінки якості передачі трафіку при використанні певної системи маршрутизації, в якій підсумковий показник якості виходить як сума нормованих математичних очікувань характеристик трафіку за наведеною нижче формулою:

$$QoR = k1 * \left( \frac{P_{\max} - \bar{P}}{P_{\max}} \right) + k2 * \frac{D_{\min}}{\bar{D}} + k3 * \frac{J_{\min}}{\bar{J}} + k4 * \frac{C_{\min}}{\bar{C}} + k5 * \frac{\bar{B}}{B_{\max}},$$

де  $QoR$  – інтегральний показник якості;

$\bar{P}$  – математичне очікування відсотка втрат;

$P_{\max}$  – максимальний відсоток втрат пакетів;

$\bar{D}$  – математичне очікування односторонньої затримки передачі даних;

$D_{\min}$  – мінімальна затримка в даній мережі;

$\bar{J}$  – математичне очікування джиттера;

$J_{\min}$  – мінімальний джиттер в даній мережі;

$\bar{C}$  – математичне очікування вартості передачі даних;

$C_{\min}$  – вартість передачі по найдешевшому каналу;

$\bar{B}$  – математичне очікування продуктивності системи маршрутизації;

$B_{\max}$  – пропускна здатність найшвидшого каналу мережі;

$k1, k2, k3, k4, k5$  – вагові коефіцієнти.

У формулі кожна складова варіюється в діапазоні від 0 до 1. При цьому для того, щоб інтегральний показник якості варіювався в тому ж діапазоні,

$$\sum_{i=1}^5 k_i = 1.$$

необхідно дотримуватися наступну вимогу:

З використанням розробленої імітаційної моделі зроблені експерименти з поступовим збільшенням навантаження на мережу. При цьому дотримувалося наступне співвідношення типів трафіку - Web  $\approx$  70%, VoIP  $\approx$  25% і FTP  $\approx$  5%. У кожному з експериментів моделювалася робота мережі протягом 1 години (Таблиця 2). З таблиці 2 видно, що алгоритм DARL перевершує стандартний алгоритм по втратах будь-якого типу трафіку незалежно від завантаженості мережі. При цьому значення затримки і джиттера залежать від навантаження на мережу. Збільшення параметрів затримки і джиттера при збільшенні навантаження на мережу є не суттєвим.

Зокрема джиттер можна компенсувати, організувавши буфер на приймаючій стороні, що і робиться сучасними протоколами зв'язку в реальному часі.

Таблиця 2 - Результати імітаційного моделювання

СМ	VoIP трафік			HTTP трафік		FTP трафік		Продуктивність СМ, пакет / сек	Вартість доставки даних, у.е. / пакет
	Втрати %	Затримка Мс	Джиттер мс	Втрати %	Затримка мс	Втрати %	Затримка мс		
<b>Нагрузка 20%</b>									
Станд.	0	130,03	4,35	0	141,14	0	142,49	287,96	58,35
DARL	0	125,17	2,08	0	134,21	0	138,57	283,94	56,75
<b>Нагрузка 35%</b>									
Станд.	1,90	136,9	5,00	19,3	151,1	0	140,9	420,7	64,30
DARL	0	125,46	2,35	0	141,57	0	138,30	478,2	62,90
<b>Нагрузка 50%</b>									
Станд.	4,47	137,31	4,39	24,61	157,67	0	138,72	535,68	68,72
DARL	0	137,34	5,63	3,35	161,01	0	146,59	671,90	70,97
<b>Нагрузка 65%</b>									
Станд.	6,07	129,82	4,17	44,27	143,19	1,33	149,47	754,73	73,93
DARL	0	137,94	7,07	6,06	150,10	0	151,54	836,41	76,23
<b>Нагрузка 80%</b>									
Станд.	9,26	128,44	3,94	86,65	156,51	2,00	153,68	757,03	75,74
DARL	0	131,46	4,93	7,62	167,99	0,11	151,64	856,60	77,16

При різкому зростанні вхідного трафіку і виникненні перевантаження стандартний алгоритм, не володіючи можливістю балансування трафіку, змушений скидати частину пакетів. Навпаки, в аналогічній ситуації (Рис. 6, а) алгоритм DARL на граничному маршрутизаторі перенаправляє частина вхідних пакетів в більш дорогий канал (10 Мбіт / с) і тим самим знижує втрати пакетів.

Також нижче (Рис. 6, б) показана утилізація каналів вихідного трафіку.

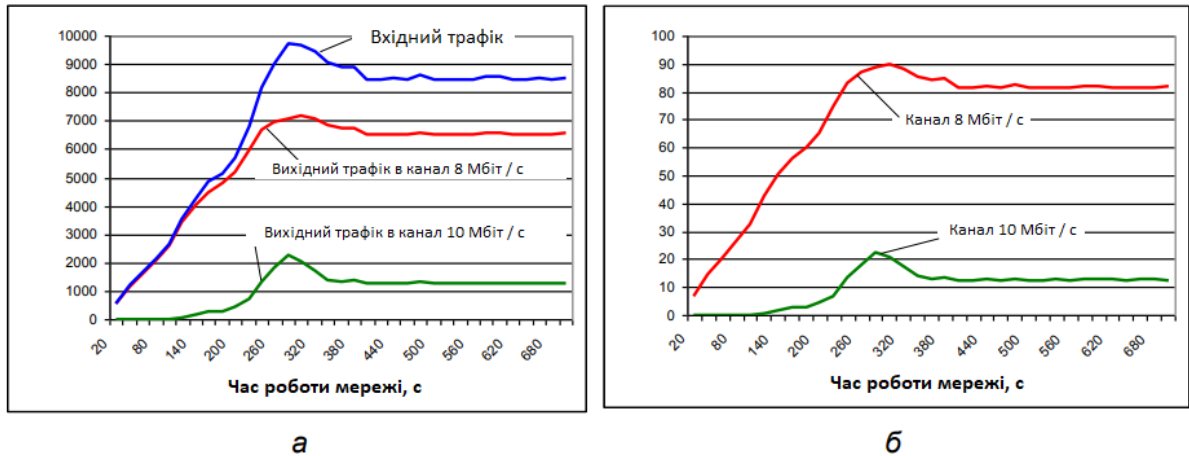


Рис. 6. Ефективність роботи алгоритму DARL (а - балансування трафіку при 80% навантаженні на мережу, б - утилізація каналів вихідного трафіку при 80% навантаженні на мережу)

Проведена порівняльна оцінка стандартного алгоритму маршрутизації і DARL на основі інтегрального показника якості при однаковій значущості всіх вихідних величин. В середньому приріст показника якості при використанні алгоритму DARL становить 0,2. Таким чином, використання розподіленого адаптивного алгоритму маршрутизації зі зворотним зв'язком DARL дає наступні переваги:

1. Значне зменшення втрат будь-якого типу трафіку.
2. Як наслідок, збільшення продуктивності системи маршрутизації.
3. Поліпшення параметрів затримки і джиттера при низькій завантаженості мережі.

Недоліками розробленого алгоритму є незначне збільшення затримки передачі даних і Джітер при високому навантаженні на мережу.



## Висновки

Імітаційна модель мультисервісної IP-мережі з адаптивною маршрутизацією, заснована на використанні об'єктно-орієнтованого підходу для подання складових компонентів моделі та зв'язку між ними, що забезпечує архітектурне і функціональне відповідність моделі стеку протоколів TCP / IP, простоту впровадження нових і заміни існуючих класів мережевих об'єктів без зміни концептуальної структури моделі; можливість незалежної роботи декількох дослідників і розробників нових мережевих протоколів і алгоритмів; можливість налаштування вихідних даних моделі під завдання дослідження.

Розподілений адаптивний алгоритм IP-маршрутизації зі зворотним зв'язком DARL, що базується на використанні механізму зворотного зв'язку комутаційних вузлів і відрізняється тим, що з метою вибору одного з альтернативних маршрутів доставки даних обчислюються комплексні метрики, при розрахунку значень яких враховується показник «ймовірність скидання пакету» на тому чи іншому мережевому інтерфейсі.

Програмна реалізація алгоритму DARL в операційній системі Linux, заснована на використанні пакета Click Modular Router, що дозволило провести аналіз адекватності розробленої імітаційної моделі мультисервісної IP-мережі в рамках стенду натурного моделювання і використовувати отримані результати для її удосконалення.

Програмна реалізація імітаційної моделі мультисервісної IP-мережі в середовищі AnyLogic, заснована на застосування підходу агентного моделювання, що дозволило провести аналіз розробленого алгоритму маршрутизації DARL і використовувати отримані результати для його модернізації.

Аналітична модель оцінки ефективності роботи алгоритмів IP-маршрутизації, заснована на використанні оціночних функцій і дозволяє

порівняти різні алгоритми маршрутизації без проведення обчислювальних експериментів.

Інтегральна методика оцінки якості алгоритмів маршрутизації, що відрізняється тим, що з метою порівняльної оцінки якості проходження мультимедійного трафіку при використанні того чи іншого алгоритму використовується всього один комплексний показник, при формуванні якого можна задавати пріоритет компонент, що використовуються при його розрахунку: продуктивність системи маршрутизації, вартість доставки даних, відсоток втрат, затримка при передачі і джиттер.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Об'єктно-орієнтована імітаційна модель мультисервісної IPсеті / А.В. Мельников, К.А. Домбровський // Програмні продукти і системи. 2007. № 2. С. 51-55.
2. Методи поліпшення якості передачі мультимедійного трафіку в сучасних мережах / К.А. Домбровський // Сучасні інформаційні технології - 2004: Додати зб. тр. міжнар. наук.-техн. конф. Пенза: Изд-во ПДТУ, 2004. С. 161-162.
3. Обробка результатів імітаційного моделювання та оцінка адекватності моделі / К.А. Домбровський // Сучасні інформаційні технології - 2004: Додати зб. тр. міжнар. наук.-техн. конф. Пенза: Изд-во ПДТУ, 2004. С. 73-75.
4. Метод підвищення якості сервісу мереж передачі даних для дистанційної освіти / О.В. Мельников, К.А. Домбровський // Актуальні проблеми інформатики в сучасному російському освіту: тр. 2-го совещ. наук.-метод. ради з інформатики. М.: Макс Прес, 2005. С. 293-300.
5. Метод підвищення якості сервісу мультисервісних мереж / А.В. Мельников, К.А. Домбровський // Комп'ютерні науки та інформаційні технології: тр. 7-го Міжнар. сем. (CSIT'2005). Уфа: Изд-во Уфімс. держ. авіація. техн. ун-ту, 2005. Т. 3 С. 173-176. (Англ. Мова).
6. Імітаційне моделювання мультисервісних мереж передачі даних / К.А. Домбровський // Інформаційні технології в освіті: зб. тр. 1-й міжнар. наук.-практ. конф. (ІТЕ'2005). М.: Макс Прес, 2005. С. 540-545.
7. Розподілений адаптивний алгоритм IP-маршрутизації зі зворотним зв'язком / А.В. Мельников, К.А. Домбровський // Мітс-НАУКА: міжнар. науч. вісник: мережеве електронне наукове видання. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2006. №4. Іден. номер 0420600032/0047.
8. Адаптивний метод динамічної IP-маршрутизації зі зворотним зв'язком / І.Л. Кафтанніков, К.А. Домбровський // Известия Челяб. науч. центру УрО РАН. 2007. № 1. <http://csc.ac.ru/ej/file/3777>.

9. Об'єктно-орієнтована імітаційна модель мультисервісної IPсеті / А.В. Мельников, К.А. Домбровський // Комп'ютерні науки та інформаційні технології: тр. 9-го Міжнар. сем. (CSIT'2007). Уфа: Изд-во Уфімс. держ. авіація. техн. ун-ту, 2007. Т. 1. С. 110-115. (Англ. Мова).
10. Воропаєва В. Я. Алгоритми оптимальної маршрутизації в межах складної топології / В. Я Воропаєва // Вычислительная техника и автоматизация. — Выпуск 106. — Донецк-2006. — С. 45—50.
11. International Telecommunication Union [Electronic resource]. — Electronic data. — United Nations specialized agency for information and communication technologies. — Mode access: <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.265-201304-I>
12. Михалевський Д. В. Система передачі високоякісних звукових сигналів без втрат / Д. В. Михалевський, Є. С. Наугольних, В. М. Мельник // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2013. — №3. — С. 153—156.