

## ЛЕКЦІЯ 6. КОМУТАЦІЯ КАНАЛІВ І КОМУТАЦІЯ ПАКЕТІВ. ЧАСТИНА 1

Різні підходи до виконання комутації

У загальному випадку розв'язок кожної із приватних завдань комутації — визначення потоків і відповідних маршрутів, фіксація маршрутів у конфігураційних параметрах і таблицях мережних пристроїв, розпізнавання потоків і передача даних між інтерфейсами одного пристрою, мультиплексування/демультиплексування потоків і поділ середовища передачі — тісно пов'язане з розв'язком усіх інших. Комплекс технічних розв'язків узагальненого завдання комутації в сукупності становить базис будь-якої мережної технології. Від того, який механізм прокладки маршрутів, просування даних і спільного використання каналів зв'язки закладений у тієї або іншої мережній технології, залежать її фундаментальні властивості.

Серед безлічі можливих підходів до розв'язку завдання комутації абонентів у мережах виділяють два основні:

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

Зовні обидві ці схеми відповідають наведеної структурі мережі, однак можливості й властивості їх різні.

Мережі з комутацією каналів мають більш багату історію, вони відбулися від перших телефонних мереж. Мережі з комутацією пакетів порівняно молоді, вони з'явилися наприкінці 60-х років як результат експериментів з першими глобальними комп'ютерними мережами. Кожна із цих схем має свої гідності й недоліки, але за прогнозами багатьох фахівців, майбутнє належить технології комутації пакетів, як більш гнучкої й універсальної.

Комутація каналів

При комутації каналів комутаційна мережа утворює між кінцевими вузлами безперервний складений фізичний канал з послідовно з'єднаних комутаторами проміжних каналних ділянок. Умовою того, що кілька фізичних каналів при послідовному з'єднанні утворюють єдиний фізичний канал, є рівність швидкостей передачі даних у кожному зі складових фізичних каналів. Рівність швидкостей означає, що комутатори такої мережі не повинні буферизовувати передані дані.

У мережі з комутацією каналів перед передачею даних завжди необхідно виконати процедуру встановлення з'єднання, у процесі якої й створюється складений канал. І тільки після цього можна починати передавати дані.

Наприклад, якщо мережа, відповідає за технологією комутації каналів, то вузол 1, щоб передати дані вузлу 7, спочатку повинен передати спеціальний запит на встановлення з'єднання комутатору А, указавши адресу призначення 7. Комутатор А повинен вибрати маршрут утвору складеного каналу, а потім передати запит наступному комутатору, у цьому випадку Е. Потім комутатор Е передає запит комутатору F, а той, у свою чергу, передає запит вузлу 7. Якщо вузол 7 ухвалює запит на встановлення з'єднання, він направляє по вже встановленому каналу відповідь

вихідному вузлу, після чого складений канал вважається скомутованим, і вузли 1 і 7 можуть обмінюватися по ньому даними.

Техніка комутації каналів має свої гідності й недоліки.

#### Гідності комутації каналів

1. Постійна й відома швидкість передачі даних по встановленому між кінцевими вузлами каналі. Це дає користувачеві мережі можливості на основі заздалегідь зробленої оцінки необхідної для якісної передачі даних пропускної здатності встановити в мережі канал потрібної швидкості.

2. **Низький** і постійний рівень затримки передачі даних через мережу. Це дозволяє якісно передавати дані, чутливі до затримок (називані також трафіком реального часу) — голос, відео, різну технологічну інформацію.

#### Недоліки комутації каналів

1. Відмова мережі в обслуговуванні запиту на встановлення з'єднання. Така ситуація може зложитися через те, що на деякій ділянці мережі з'єднання потрібно встановити уздовж каналу, через який уже проходить максимально можлива кількість інформаційних потоків. Відмова може трапитися й на кінцевій ділянці складеного каналу — наприклад, якщо абонент здатний підтримувати тільки одне з'єднання, що характерно для багатьох телефонних мереж. При вступі другого виклику до абонента, що вже розмовляє, мережа передає зухвалому абонентові короткі гудки — сигнал "зайняте".

2. Нераціональне використання пропускної здатності фізичних каналів. Та частина пропускної здатності, яка приділяється складеному каналу після встановлення з'єднання, надається йому на увесь час, тобто доти, поки з'єднання не буде розірвано. Однак абонентам не завжди потрібна пропускна здатність каналу під час з'єднання, наприклад у телефонній розмові можуть бути паузи, ще більш нерівномірним у часі є взаємодія комп'ютерів. Неможливість динамічного перерозподілу пропускної здатності являє собою принципове обмеження мережі з комутацією каналів, тому що одиницею комутації тут є інформаційний потік у цілому.

3. Обов'язкова затримка перед передачею даних через фазу встановлення з'єднання.

Гідності й недоліки будь-якої мережної технології відносні. У певних ситуаціях на перший план виходять гідності, а недоліки стають несуттєвими. Так, техніка комутації каналів добре працює в тих випадках, коли потрібно передавати тільки трафік телефонних розмов. Тут з неможливістю "вирізати" паузи з розмови й більш раціонально використовувати магістральні фізичні канали між комутаторами можна миритися. А от при передачі дуже нерівномірного комп'ютерного трафіка ця нераціональність уже виходить на перший план.

#### Комутація пакетів

Ця техніка комутації була спеціально розроблена для ефективної передачі комп'ютерного **трафіка**. Перші кроки на шляху створення комп'ютерних мереж на основі техніки комутації каналів показали, що цей вид комутації не дозволяє досягтися високої загальної пропускної

здатності мережі. Типові мережні додатки генерують трафік дуже нерівномірно, з високим рівнем пульсації **швидкості передачі** даних. Наприклад, при звертанні до вилученого файлового сервера користувач спочатку переглядає вміст каталогу цього сервера, що породжує передачу невеликого обсягу даних. Потім він відкриває необхідний файл у текстовому редакторі, і ця операція може створити досить інтенсивний обмін даними, особливо якщо файл містить об'ємні графічні вклучення. Після відображення декількох сторінок файлу користувач якийсь час працює з ними локально, що взагалі не вимагає передачі даних по мережі, а потім повертає модифіковані копії сторінок на сервер — і це знову породжує інтенсивну передачу даних по мережі.

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

При комутації пакетів усі передані користувачем повідомлення розбиваються у вихідному вузлі на порівняно невеликі частини, називані пакетами. Нагадаємо, що повідомленням називається логічно завершена порція даних — запит на передачу файлу, відповідь на цей запит, що містить увесь файл і т.д. Повідомлення можуть мати довільну довжину, від декількох байт до багатьох мегабайт. Напроти, пакети звичайно теж можуть мати змінну довжину, але у вузьких межах, наприклад від 46 до 1500 байт. Кожний пакет забезпечується заголовком, у якому вказується адресна інформація, необхідна для доставки пакета на вузол призначення, а також номер пакета, який буде використовуватися вузлом призначення для складання повідомлення. Пакети транспортуються по мережі як незалежні інформаційні блоки. Комутатори мережі ухвалюють пакети від кінцевих вузлів і на підставі адресної інформації передають їхнім один одному, а в остаточному підсумку — вузлу призначення.

Комутатори пакетної мережі відрізняються від комутаторів каналів тим, що вони мають внутрішню буферну пам'ять для тимчасового зберігання пакетів, якщо вихідний порт комутатора в момент прийняття пакета зайнятий передачею іншого пакета. У цьому випадку пакет перебуває якийсь час у черзі пакетів у буферній пам'яті вихідного порту, а коли уводити, увести до ладу нього дійде черга, він передається наступному комутатору. Така схема передачі даних дозволяє згладжувати пульсацію трафіка на магістральних зв'язках між комутаторами й тим самим найбільше ефективно використовувати їх для підвищення пропускної здатності мережі в цілому.

Дійсно, для пари абонентів найбільш ефективним було б надання їм в одноособове користування скомутованим каналом зв'язку, як це робиться в мережах з комутацією каналів. У такому випадку час взаємодії цієї пари абонентів був би мінімальним, тому що дані без затримок передавалися б від одного абонента іншому. Простої каналу під час пауз передачі абонентів не цікавлять, для них важливо швидше розв'язати своє завдання. Мережа з комутацією пакетів сповільнює процес взаємодії конкретної пари абонентів, тому що їхні пакети можуть очікувати в

комутаторах, поки по магістральних зв'язках передаються інші пакети, пришедшие в комутатор раніше.

Проте, загальний обсяг переданих мережею комп'ютерних даних в одиницю часу при техніку комутації пакетів буде вище, чим при техніку комутації каналів. Це відбувається тому, що пульсації окремих абонентів відповідно до закону більших чисел розподіляються в часі так, що їх піки не збігаються. Тому комутатори постійно й досить рівномірно завантажені роботою, якщо число абонентів, що обслуговуються ними, дійсно велике. Трафік, що надходить від кінцевих вузлів на комутатори, розподілений у часі дуже нерівномірно. Однак комутатори більш високого рівня ієрархії, які обслуговують з'єднання між комутаторами нижнього рівня, завантажені більш рівномірно, і потік пакетів у магістральних каналах, що з'єднують комутатори верхнього рівня, має майже максимальний коефіцієнт використання. Буферизація згладжує пульсації, тому коефіцієнт пульсації на магістральних каналах набагато нижче, чим на каналах абонентського доступу — він може бути рівним 1:10 або навіть 1:2.

Більш висока ефективність мереж з комутацією пакетів у порівнянні з мережами з комутацією каналів (при рівній пропускній здатності каналів зв'язки) була доведена в 60-е роки як експериментально, так і за допомогою імітаційного моделювання. Тут доречна аналогія з мультипрограмними операційними системами. Кожна окрема програма в такій системі виконується довше, чим в однопрограмній системі, коли програмі виділяється весь процесорний час, поки її виконання не завершиться. Однак загальне число програм, виконуваних за одиницю часу, у мультипрограмній системі більше, чим в однопрограмній.

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

Затримки в джерелі передачі:

- час на передачу заголовків ;
- **затримки**, викликані інтервалами між передачею кожного наступного пакета.

Затримки в кожному комутаторі:

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

Гідності комутації пакетів

1. Висока загальна пропускна здатність мережі при передачі пульсуючого трафіка.
2. Можливість динамічно перерозподіляти пропускну здатність фізичних каналів зв'язки між абонентами відповідно до реальних потреб їх трафіка.

Недоліки комутації пакетів

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

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

3. Можливі втрати даних через переповнення буферів.

У цей час активно розробляються й впроваджуються методи, що дозволяють подолати зазначені недоліки, які особливо гостро проявляються для чутливого до затримок трафіка, що вимагає при цьому постійної швидкості передачі. Такі методи називаються методами забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS).

Мережі з комутацією пакетів, у яких реалізовані методи забезпечення якості обслуговування, дозволяють одночасно передавати різні види трафіка, у тому числі такі важливі як телефонний і комп'ютерний. Тому методи комутації пакетів сьогодні вважаються найбільш перспективними для побудови конвергентної мережі, яка забезпечить комплексні якісні послуги для абонентів будь-якого типу. Проте, не можна скидати з рахунків і методи комутації каналів. Сьогодні вони не тільки з успіхом працюють у традиційних телефонних мережах, але й широко застосовуються для утвору високошвидкісних постійних з'єднань у так званих первинні (опорних) мережах технологій SDH і DWDM, які використовуються для створення магістральних фізичних каналів між комутаторами телефонних або комп'ютерних мереж. У майбутньому цілком можлива поява нових технологій комутації, у тому або іншому виді комутації, що комбінують принципи, пакетів і каналів.

#### Комутація повідомлень

Комутація повідомлень по своїх принципах близька до комутації пакетів. Під комутацією повідомлень розуміється передача єдиного блоку даних між транзитними комп'ютерами мережі з тимчасовою буферизацією цього блоку на диску кожного комп'ютера. Повідомлення на відміну від пакета має довільну довжину, яка визначається не технологічними міркуваннями, а змістом інформації, що становить повідомлення.

Транзитні комп'ютери можуть з'єднуватися між собою як мережею з комутацією пакетів, так і мережею з комутацією каналів. Повідомлення (це може бути, наприклад, текстовий документ, файл із кодом програми, електронний лист) зберігається в транзитному комп'ютері на диску, причому досить тривалий час, якщо комп'ютер зайнятий іншою роботою або мережа тимчасово перевантажена.

За такою схемою звичайно передаються повідомлення, що не вимагають негайної відповіді, найчастіше повідомлення електронної пошти. Режим передачі із проміжним зберіганням на диску називається режимом "зберігання-і-передачі" (store-and-forward).

Режим комутації повідомлень розвантажує мережу для передачі трафіка, що вимагає швидкої відповіді, наприклад трафіка служби WWW або файлової служби.

Кількість транзитних комп'ютерів звичайно намагаються зменшити. Якщо комп'ютери підключені до мережі з комутацією пакетів, то число проміжних комп'ютерів зменшується до двох. Наприклад, користувач передає поштове повідомлення своєму серверу вихідної пошти, а той відразу намагається передати його серверу вхідної пошти адресата. Але якщо комп'ютери зв'язані

між собою телефонною мережею, те часто використовується кілька проміжних серверів, тому що прямий доступ до кінцевого сервера може бути в цей момент неможливий через перевантаження телефонної мережі (абонент зайнятий) або економічно не вигідний через високі тарифи на далекий телефонний зв'язок.

Техніка комутації повідомлень з'явилася в комп'ютерних мережах раніше техніки комутації пакетів, але потім була витиснута останньою, як більш ефективною за критерієм пропускної здатності мережі. Запис повідомлення на диск займає досить багато часу, і крім того, наявність дисків припускає використання як комутатори спеціалізованих комп'ютерів, що спричиняє істотні витрати на організацію мережі.