

## Тема 11. Комутація пакетів

*Комутація пакетів* – принцип комутації, при якому інформація розділяється на окремі пакети, які передаються в мережі незалежно один від одного. В таких мережах, по одній фізичній лінії зв'язку, можуть обмінюватися даними багато вузлів.

Переваги – ефективність використання пропускної здатності та менші затрати.

Недоліки – зайнятість лінії зв'язку та зменшення її пропускної здатності.

*Мережа з комутацією пакетів* – вид телекомунікаційної мережі, у якій застосовується комутація пакетів. Яскравим (але не єдиним) прикладом такої мережі є Інтернет.

### 11.1 Основні принципи

При комутації пакетів всі дані, що передаються користувачем розбиваються передавальним вузлом на невеликі (до декількох кілобайт) частини – пакети (packet). Кожний пакет оснащується заголовком, у якому вказується, як мінімум, адреса вузла-одержувача й номер пакета. Передача пакетів по мережі відбувається незалежно один від одного. Комутатори такої мережі мають внутрішню буферну пам'ять для тимчасового зберігання пакетів, що дозволяє згладжувати пульсації трафіка на лініях зв'язку між комутаторами. Пакети іноді називають дейтаграмами (datagram), а режим індивідуальної комутації пакетів – дейтаграмним режимом.

Переваги комутації пакетів

- ефективність використання пропускної здатності.
- при перевантаженні мережі нікого не «викидає» з повідомленням «мережа зайнята», мережа просто знижує всім або декільком абонентам швидкість передачі.
- абонент, що використовує свій канал не повністю, фактично віддає пропускну здатність мережі іншим.

– менші витрати.

Недоліки комутації пакетів

– складність реалізації; без мікропроцесорної техніки пакетну мережу налагодити практично неможливо.

– пропускна здатність витрачається на передачу технічних даних (службової інформації).

– затримки доставки, в тому числі змінні, через те, що при зайнятості вихідного каналу пакет може чекати своєї черги в комутаторі.

Мережа з комутацією пакетів відрізняється від мережі з комутацією каналів тим, що з певною ймовірністю може уповільнювати процес взаємодії кожної конкретної пари вузлів, оскільки їх пакети можуть очікувати в комутаторах, поки передаються інші пакети. Це особливо критично для служб, що працюють в реальному масштабі часу (аудіо, відео). Однак загальна ефективність (об'єм переданих даних в одиницю часу) при комутації пакетів буде вищою, ніж при комутації каналів. Це пов'язано з тим, що трафік кожного окремого абонента носить пульсуючий характер, а пульсації різних абонентів, відповідно до закону великих чисел розподіляються в часі, збільшуючи рівномірність навантаження.

## **11.2 Режими без та зі встановленням з'єднання**

Комутацію пакетів можна розділити на комутацію пакетів без встановлення з'єднання (комутація дейтаграм) і комутацію пакетів зі встановленням з'єднання (комутація віртуальних каналів). Прикладами систем без встановлення з'єднання є Ethernet, Інтернет-протокол (IP) та протокол дейтаграм користувача (UDP). Системи, орієнтовані на з'єднання, включають X.25, Frame Relay, багатопроTOCOLьну комутацію за мітками (MPLS) та протокол керування передачею (TCP).

У режимі без встановлення з'єднання кожен пакет позначається адресою призначення, адресою джерела та номерами портів. Також може бути вказано порядковий номер пакета. Ця інформація задається в заздалегідь встановлений

шлях, щоб допомогти пакету знайти свій шлях до місця призначення, але означає, що потрібно більше інформації в заголовку пакета, який стає більшим. Пакети маршрутизуються індивідуально, іноді різними шляхами, що призводить до порушення порядку доставки. У місці призначення вихідне повідомлення може бути повторно зібране у правильному порядку на основі порядкових номерів пакетів. Таким чином, віртуальний канал, що переносить потік байтів, надається додатком протоколом транспортного рівня, хоча мережа надає лише послугу мережного рівня без встановлення з'єднання.

Передача зі встановленим з'єднанням потребує фази налаштування, щоб встановити параметри зв'язку перед передачею будь-якого пакета. Протоколи сигналізації, які використовуються для налаштування, дозволяють додаткам виставляти свої вимоги та виявляти параметри каналу. Допустимі значення параметрів послуги можуть бути узгоджені. Пакети, що передаються, можуть включати ідентифікатор з'єднання, а не адресну інформацію, а заголовок пакета може бути меншим, оскільки він повинен містити тільки цей код і інформацію, таку як довжина, тимчасова мітка або порядковий номер, які відрізняються для різних пакетів. У цьому випадку адресна інформація передається кожному вузлу тільки на етапі встановлення з'єднання, коли визначається маршрут до пункту призначення та додається запис до таблиці комутації у кожному мережному вузлі, через який проходить з'єднання. Коли використовується ідентифікатор з'єднання, для маршрутизації пакета вузол повинен знайти ідентифікатор з'єднання таблиці.

Протоколи транспортного рівня, орієнтовані на встановлення з'єднання, такі як TSP, підтримують послуги, орієнтовані на встановлення з'єднання, з допомогою базової мережі без встановлення з'єднань. У цьому випадку для реалізації наскрізного з'єднання необхідно, щоб відповідні функції виконували кінцеві вузли такого з'єднання, а не мережа.

### **11.3 Комутація пакетів в мережах**

Комутація пакетів використовується для оптимізації використання пропускної спроможності каналу в комп'ютерних мережах, та мінімізації затримки передачі (час, який потрібний для передачі даних по мережі), а також підвищення надійності зв'язку.

Комутація пакетів використовується в Інтернеті та більшості локальних мереж. Інтернет реалізується за допомогою пакету Internet Protocol Suite за допомогою різних технологій каналного рівня. Наприклад, поширені Ethernet та Frame Relay. Нові технології мобільних телефонів (наприклад GSM, LTE) також використовують комутацію пакетів. Комутація пакетів пов'язана з мережами без встановлення з'єднання, оскільки в цих системах не потрібно укладати угоду про з'єднання між сторонами, що взаємодіють, до обміну даними.

Такі технології, як багатопрокольна комутація за мітками (MPLS) та протокол резервування ресурсів (RSVP), створюють віртуальні канали поверх мереж дейтаграм. MPLS та його попередники, а також АТМ були названі технологіями «швидких пакетів». Віртуальні канали особливо корисні при створенні надійних механізмів перемикання при відмові та розподілі смуги пропускання для чутливих до затримок додатків.

### **11.4 Швидка комутація пакетів**

*Швидка комутація пакетів (FPS, Fast Packet Switching)* – спрощена комутація пакетів за віртуальними з'єднаннями при використанні цифрових трактів передачі з малим рівнем двійкових помилок.

Спрощення полягають у наступному:

- для обміну пакетованими даними не в реальному масштабі часу, потребують доставки відправленої інформації без помилок, функції виявлення та виправлення двійкових помилок за рахунок повторної передачі (ARQ, Automatic Repeat reQuest) винесені за межі мережі на кінцеві точки прийому і передачі;

- для інтерактивних служб, наприклад, мовлення та відео, що мають деяку надмірність, пакети з помилками повторно не передаються на жодному рівні, а просто відкидаються. Можливе також відкидання пакетів без помилок, але з надмірною затримкою проходження через мережу зв'язку.

Внаслідок зазначених спрощень передачу пакетів через мережу стало можливим реалізувати апаратним чином, за допомогою двійкової схемотехніки. Це дозволяє досягати високих швидкостей передачі та комутації в мережах зі швидкою передачею пакетів. Встановлення самих віртуальних з'єднань виконується звичайним чином, тобто із застосуванням процесорного ресурсу.

### **11.5 Дейтаграмна передача даних**

*Датаграма* – блок інформації, що передається протоколом через мережу зв'язку без попереднього встановлення з'єднання і створення віртуального каналу. Будь-протокол, що не встановлює попереднє з'єднання (а також зазвичай не контролює порядок приймально-передачі та дублювання пакетів), називається датаграмним протоколом. Такими є, наприклад, протоколи Ethernet, IP, UDP та ін. Назва «датаграма» було вибрано за аналогією зі словом телеграма. Кожна дейтаграма містить у своєму заголовку повну адресу місця призначення і тому є повністю незалежною від інших дейтаграм і в загальному випадку дейтаграми, навіть будучи частинами одного і того ж повідомлення, можуть бути доставлені отримувачу за різними маршрутами.

У сучасній практиці термін «IP-пакет» зазвичай використовується як синонім до терміну «IP-датаграма». Разом з тим в багатьох документах IETF між ними проводиться певна відмінність. Як відомо, модулі даних верхніх рівнів мережевої моделі послідовно інкапсулюються в модулі даних нижчих рівнів. При передачі на каналний рівень IP-датаграма може не поміщатися в кадр каналного рівня. У такому випадку для інкапсуляції потрібна попередня фрагментація дейтаграми для задоволення вимог конкретної технології рівня середовища передачі даних. Таким чином, виникає ще один термін – IP-

фрагмент. Термін IP-пакет узагальнює поняття IP-датаграми і IP-фрагменту, з тою істотною умовою, що він позначає модуль даних, який передається каналному рівню для інкапсуляції в кадр. Не кожна датаграма, і навіть не кожен фрагмент без додаткової фрагментації може стати IP-пакетом.

Повні датаграми і фрагменти датаграм розрізняються тільки певною інформацією в заголовках. Пакет просто ідентичний датаграмі або фрагменту, якщо вони будуть поміщені в кадр. Таким чином, необхідно пам'ятати, що датаграми, фрагменти і пакети становлять собою різні одиниці мережевого рівня не в структурному, а в функціональному плані.