

Тема 7. Комутація каналів. Комутація пакетів

Мережа з комутацією каналів – вид телекомунікаційної мережі, у якій між двома вузлами мережі повинно бути встановлене з'єднання (канал), перш ніж вони почнуть будь-який обмін інформацією. Це з'єднання протягом усього сеансу обміну інформацією може використовуватися тільки вказаними двома вузлами. Після завершення обміну з'єднання має бути відповідним чином розірване.

У мережах з комутацією каналів можуть встановлюватися як комутовані, так і виділені з'єднання. Комутоване з'єднання – це тимчасове з'єднання, встановлене тільки на період одного сеансу зв'язку. Однак комутоване з'єднання може бути «вічним» – набравши номер віддаленого сервера і встановивши з ним з'єднання, можна не закінчувати сеанс зв'язку як завгодно довго. Комутоване з'єднання дозволяє також у будь-який момент перервати сеанс зв'язку і встановити з'єднання з іншим абонентом. Наприклад, можна перервати з'єднання з одним провайдером Internet і встановити з іншим.

7.1 Принцип роботи

Мережі з динамічною комутацією вимагають попередньої процедури встановлення з'єднання між абонентами. Для цього в мережу передається адреса абонента (який викликається), що проходить через комутатори і налагоджує їх на наступну передачу даних. Запит на встановлення з'єднання маршрутизується від одного комутатора до іншого і зрештою досягає абонента (який викликається). Мережа може відмовити у встановленні з'єднання, якщо ємність необхідного вихідного каналу вже вичерпана. Для FDM-комутатора (частотний поділ каналів) ємність вихідного каналу дорівнює кількості частотних смуг цього каналу, а для TDM-комутатора (поділ каналів за часом) кількості тайм-слотів, на які поділяється цикл роботи каналу. Мережа відмовляє в з'єднанні також у тому випадку, якщо запитуваний абонент вже встановив з'єднання з

кимось іншим. У першому випадку говорять, що зайнято комутатор, другому – абонент.

Якщо з'єднання може бути встановлено, то йому виділяється фіксована смуга частот у FDM-мережах або ж фіксована пропускна здатність у TDM-мережах. Ці величини залишаються незмінними протягом всього періоду з'єднання. Гарантована пропускна здатність мережі після встановлення з'єднання є важливою властивістю, необхідною для таких додатків, як передача голосу, зображення чи керування об'єктами в реальному часі. Однак динамічно змінювати пропускну здатність каналу за вимогою абонента мережі з комутацією каналів неможливо, що робить їх неефективними в умовах пульсуючого трафіку.

7.2 Аналогові телефонні мережі з комутацією каналів

Аналогові телефонні мережі орієнтовані на з'єднання, яке встановлюється до початку ведення розмов (передачі голосу) між абонентами. Телефонна мережа утворюється (комутується) за допомогою комутаторів автоматичних телефонних станцій.

Телефонні мережі складаються з:

- автоматичних телефонних станцій (АТС);
- телефонних апаратів;
- магістральних ліній зв'язку (ліній зв'язку між АТС);
- абонентських ліній (ліній, що з'єднують телефонні апарати з АТС).

Виділяти для кожного з'єднання окрему магістральну лінію недоцільно, і для більш ефективного використання фізичних ліній застосовують:

- метод частотного ущільнення каналів;
- цифрові канали і мультиплексування цифрових потоків від великої кількості абонентів.

Телефонні мережі загального користування, крім передачі голосу, дозволяють передавати цифрові дані за допомогою модемів. Модем (модулятор-

демодулятор) служить для передачі даних на великі відстані з використанням виділених і комутованих телефонних ліній.

Модулятор отримує від комп'ютера двійкову інформацію та перетворює її в аналогові сигнали з частотною або фазовою модуляцією, спектр яких відповідає смузі пропускання звичайних голосових телефонних ліній. Демодулятор з цього сигналу витягує закодовану двійкову інформацію і передає її в приймаючий комп'ютер. Факс-модем (fax-modem) дозволяє передавати і приймати факсимільні зображення, сумісні із звичайними факс-машинами.

Виділені фізичні лінії мають смугу пропускання набагато більш широку, ніж комутовані. Для них випускаються спеціальні модеми, що забезпечують передачу даних зі швидкостями до 2048 кбіт/с і на значні відстані.

7.3 Технології комутації каналів

Коротко розглянемо наступні технології комутації каналів:

- PSTN;
- ISDN;
- DSL;
- виділені лінії.

Мережа PSTN (Public Switched Telephone Network) – комутована телефонна мережа загального користування є традиційною аналоговою телефонною мережею. Для встановлення зв'язків в глобальних мережах вона використовується досить часто.

Використання PSTN має дві істотні переваги:

- лінії PSTN є практично скрізь;
- цей зв'язок недорогий.

ISDN (Integrated Services Digital Network – цифрова мережа з інтегрованими послугами) – це загальнодоступна телефонна мережа, що використовує цифрову технологію передачі сигналу, і включає великий набір цифрових послуг, які стають доступними для кінцевих користувачів.

ISDN проводить оцифровку телефонної мережі для того, щоб голос, інформація, текст, графічні зображення, музика, відеосигнали і інші матеріальні джерела могли бути передані кінцевому користувачеві по наявних телефонних лініях і отримані ним з одного терміналу кінцевого користувача.

DSL (Digital Subscriber Line) – сімейство технологій, що дають змогу значно розширити пропускну здатність абонентської лінії місцевої телефонної мережі шляхом використання ефективних лінійних кодів і адаптивних методів корекції викривлень лінії на базі сучасних досягнень мікроелектроніки і методів цифрової обробки сигналу.

Технології DSL дають змогу передавати дані зі швидкістю, що значно перевищує ту швидкість, що доступна навіть найкращим аналоговим та цифровим модемам.

Виділена лінія (лінія безпосереднього зв'язку, local loop) – симетрична некомутована (постійна) лінія зв'язку, що з'єднує дві віддалені точки.

На відміну від традиційної телефонної мережі загального користування, виділена лінія не має телефонного номеру, а кожен кінець лінії знаходиться у постійному з'єднанні один з одним. Виділені лінії можуть бути використані для телефонного зв'язку, передачі даних або ж надання послуг Інтернету.

7.4 Переваги та недоліки

Типовим прикладом комутації каналів є ранні телефонні мережі. Абонент мав попросити оператора з'єднати його з іншим абонентом, під'єднаним до того ж комутатора або іншого комутатора через лінію зв'язку (і іншого оператора). В будь-якому разі кінцевим результатом було фізичне електричне з'єднання між телефонними апаратами абонентів протягом усієї розмови. Провідник, задіяний для з'єднання, не міг бути використаний для передачі інших розмов у цей час, навіть якщо абоненти насправді не розмовляли і на лінії була тиша.

Пізніше стало можливим ущільнення однієї фізичної лінії для утворення в ній декількох каналів. Попри це, один канал ущільненої лінії так само міг використовуватися лише однією парою абонентів.

Переваги

- висока стабільність параметрів каналу у часі.
- відсутність необхідності у передачі службової інформації після встановлення з'єднання.
- комутація каналів може використовуватися як в аналогових, так і в цифрових мережах зв'язку, на відміну від комутації пакетів, яка можлива тільки у цифрових мережах.

Недоліки

- комутація каналів вважається недостатньо ефективним способом комутації, тому що канална ємність частково витрачається на підтримання з'єднань, що встановлені, але (в цей час) не використовуються.
- неможливість застосування апаратури користувачів, яка працює з різною швидкістю.
- можливість відмови в з'єднанні.

7.5 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.

7.5.1 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.
- пропускну 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.

7.5.2 Швидка комутація пакетів

Швидка комутація пакетів (FPS, Fast Packet Switching) – спрощена комутація пакетів через віртуальні з'єднання при використанні цифрових трактів передачі з малим рівнем двійкових помилок, на відміну від «шумливих» аналогових телефонних каналів з параметрами 1 хибний біт на 1000-100000 переданих біт. FPS лежить в основі ряду сучасних цифрових широкосмугових пакетних систем.

Спрощення полягають в наступному:

- для обміну пакетованими даними не в реальному масштабі часу, які 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, мови і відео, що мають деяку надмірність, пакети з помилками повторно не передаються ні на одному рівні ЕМВОС, а просто відкидаються. Можливо також відкидання пакетів без помилок, але з надмірною затримкою проходження через мережу зв'язку.

В результаті зазначених спрощень переміщення пакетів через мережу стало можливим реалізувати апаратним чином, за допомогою двійкової схемотехніки. Це дозволяє досягати високих швидкостей передачі і комутації на мережі з FPS. Встановлення самих віртуальних з'єднань виконується звичайним чином.

На принципах FPS побудовані наступні практичні системи: АТМ (Asynchronous Transfer Mode); Frame Relay; MPLS (фрагментування на пакети з мітками).

7.5.3 MPLS

MPLS (Multiprotocol Label Switching – багатопрокольна комутація за мітками) – механізм передачі даних, який емулює різні властивості мереж з комутацією каналів через мережі з комутацією пакетів.

MPLS працює на рівні, який можна було б розташувати між другим (каналним) і третім (мережним) рівнями моделі OSI, і тому його, зазвичай, називають протоколом другого з половиною рівня (2,5-рівень). Його було розроблено з метою забезпечення універсальної служби передачі даних як для клієнтів мереж з комутацією каналів, так і мереж із комутацією пакетів. За допомогою MPLS можна передавати трафік найрізноманітнішої природи, такий як IP-пакети, АТМ, Frame Relay, SONET і кадри Ethernet.

В традиційній IP-мережі пакети передаються від одного маршрутизатора до іншого, й кожний маршрутизатор, зчитуючи заголовок пакету (адресу призначення) приймає рішення про те, за яким маршрутом відправити пакет далі.

В протоколі MPLS ніякого подальшого аналізу заголовків у маршрутизаторах на шляху проходження не проводиться, а переадресація керується виключно на основі міток. Це має багато переваг над традиційною маршрутизацією на мережевому рівні.

MPLS мережа є масштабованою, тобто можна відносно легко змінювати її будову, та протоколоне залежною, тобто вона може використовуватися, як транспорт для різноманітних протоколів. У MPLS мережі пакетам даних присвоюються спеціальні мітки. Рішення, щодо маршрутизації пакетів даних приймаються виключно на основі значення мітки без заглиблення у зміст самого пакета. Наприклад, якщо MPLS мережа використовується для передачі IP пакетів то немає необхідності для маршрутизаторів зазирати в IP-пакет та аналізувати IP адресу отримувача. Основною перевагою для клієнтів MPLS мережі є

відсутність необхідності підлаштовуватися під конкретні технології фізичного і канального рівнів OSI моделі мережі провайдера, таких як наприклад SDH, ATM, Frame Relay, Metro Ethernet. Другою перевагою є можливість передавати по MPLS мережі різні типи трафіку. Частіше за все MPLS мережі використовуються для передачі IP-трафіку, а саме IPv4, а з поступовим впровадженням IPv6 і трафіку цього протоколу.

Маршрутизатори MPLS мережі називаються LSR (Label Switching Routers) – маршрутизатори комутації по мітках, а маршрутизатори які використовуються на межі MPLS мережі – Edge LSR.

Коли IP-трафік надходить до MPLS мережі Edge LSR перетворюють IP-пакети на MPLS-пакети вставляючи мітки. А коли пакети лишають MPLS мережу Edge LSR перетворюють MPLS-пакети назад на IP-пакети видаляючи мітки. Всередині ж MPLS мережі LSR маршрутизують пакети по значеннях міток.

7.5.4 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 датаграми 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.