

ЛЕКЦІЯ 5. КОМУТАЦІЯ ТА МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ

Узагальнене завдання комутації

Якщо топологія мережі не повнозв'язана, то обмін даними між довільною парою кінцевих вузлів (абонентів) повинен іти в загальному випадку через транзитні вузли.

Наприклад, у мережі вузли 2 і 4, безпосередньо один з одним не зв'язані, змушено передавати дані через транзитні вузли, у якості яких можуть використовуватися, наприклад, вузли 1 і 5. Вузол 1 повинен виконати передачу даних з інтерфейсу А на інтерфейс В, а вузол 5 — з інтерфейсу В на F.

Послідовність транзитних вузлів (мережних інтерфейсів) на шляху від відправника до одержувача називається маршрутом .

У самому загальному виді завдання комутації — завдання з'єднання кінцевих вузлів через мережу транзитних вузлів — може бути представлено у вигляді декількох взаємозалежних приватних завдань:

1. Визначення інформаційних потоків, для яких потрібно прокладати шляхи.
2. Визначення маршрутів для потоків.
3. Повідомлення про знайдені маршрути вузлам мережі.
4. Просування – розпізнавання потоків і локальна комутація на кожному транзитному вузлі.
5. Мультиплексування й демультиплексування потоків.

Визначення інформаційних потоків

Зрозуміло, що через один транзитний вузол може проходити кілька маршрутів, наприклад через вузол 5 проходять дані, що направляються вузлом 4 кожному з інших вузлів, а також усі дані, що надходять у вузли 3 і 10. Транзитний вузол повинен уміти розпізнавати вступників на нього потоки даних, щоб забезпечувати їхню передачу саме на ті свої інтерфейси, які ведуть до потрібного вузла.

Інформаційним потоком (data flow, data stream) називають послідовність даних, об'єднаних набором загальних ознак, який виділяє ці дані із загального мережного трафіка.

Дані можуть бути представлені у вигляді послідовності байтів або об'єднані в більші одиниці даних — пакети, кадри, гнізда. Наприклад, усі дані, що надходять від одного комп'ютера, можна визначити як єдиний потік, а можна представити як сукупність декількох підпотоків, кожний з яких як додаткової ознаки має адреса призначення. Кожний із цих підпотоків, у свою чергу, можна розділити на ще більш дрібні підпотоки даних, наприклад, що ставляться до різних мережних додатків — електронній пошті, копіюванню файлів, звертанню до Web-Серверу.

Поняття потоку використовується при розв'язку різних мережних завдань і, залежно від конкретного випадку, визначається відповідний набір ознак. У завданні комутації, суть якої — передача даних з одного кінцевого вузла в іншій, при визначенні потоків у ролі обов'язкових ознак

поток, мабуть, повинні виступати адреса відправника й адреса призначення даних. Тоді кожній парі кінцевих вузлів буде відповідати один потік і один маршрут.

Однак не завжди досить визначити потік тільки парою адрес. Якщо на одній і тій же парі кінцевих вузлів виконується трохи взаємодіючих по мережі додатків, які пред'являють до неї свої особливі вимоги, потік даних між двома кінцевими вузлами повинен бути розділений на трохи підпотоків, так щоб для кожного з них можна було прокласти свій маршрут. У такому випадку вибір шляхи повинен здійснюватися з урахуванням характеру переданих даних. Наприклад для файлового сервера важливо, щоб передані їм більші обсяги даних направлялися по каналах з високою пропускнуою здатністю, а для програмної системи керування, яка посилає в мережу короткі повідомлення, що вимагають обов'язкового й негайного відпрацювання, при виборі маршруту важливіше надійність лінії зв'язку й мінімальний рівень затримок. У такому прикладі набір ознак потоку повинен бути розширений за рахунок інформації, що ідентифікує додаток.

Крім того, навіть для даних, що пред'являють до мережі однакові вимоги, може прокладатися кілька маршрутів, щоб за рахунок розпаралелювання добитися одночасного використання різних каналів і тим самим прискорити передачу даних. У цьому випадку необхідно "позначити" дані, які будуть направлятися по кожному із цих маршрутів.

Ознаки потоку можуть мати глобальне або локальне значення. У першому випадку вони однозначно визначають потік у межах усієї мережі, а в другому — у межах одного транзитного вузла. Пари унікальних адрес кінцевих вузлів для ідентифікації потоку — це приклад глобальної ознаки. Прикладом ознаки, що локально визначає потік у межах пристрою, може служити номер (ідентифікатор) інтерфейсу пристрою, з якого зробили дані. Наприклад, вузол 1 може бути **skonфигурирован** так, що він передає всі дані, що зробили з інтерфейсу А, на інтерфейс ІЗ, а дані, що зробили з інтерфейсу D, на інтерфейс В. Таке правило дозволяє розділити два потоки даних — вступник з вузла 2 і вступник з вузла 7 — і направляти їх для транзитної передачі через різні вузли мережі, у цьому випадку дані з вузла 2 через вузол 8, а дані з вузла 7 — через вузол 5.

Існує особливий тип ознаки — мітка потоку. Мітка може мати глобальне значення, що унікально визначає потік у межах мережі. У такому випадку вона в незмінному виді закріплюється за потоком на всьому протязі його шляху проходження від вузла джерела до вузла призначення. У деяких технологіях використовуються локальні мітки потоку, значення яких динамічно міняються при передачі даних від одного вузла до іншого.

Визначити потоки — це значить задати для них набір відмітних ознак, на підставі яких комутатори зможуть направляти потоки по призначених для них маршрутах.

Визначення маршрутів

Визначення шляху, тобто послідовності транзитних вузлів і їх інтерфейсів, через які треба передавати дані, щоб доправити їхньому адресатові — складне завдання, особливо коли конфігурація мережі така, що між парою взаємодіючих мережних інтерфейсів існує безліч шляхів. Завдання визначення маршрутів полягає у виборі із усього цієї безлічі одного або декількох

шляхів. І хоча в окремому випадку безлічі наявних і обраних шляхів можуть збігатися, найчастіше вибір зупиняють на одному оптимальному за деяким критерієм маршруті.

У якості критеріїв вибору можуть виступати, наприклад:

- номінальна пропускна здатність;
- завантаженість каналів зв'язки;
- затримки, внесені каналами;
- кількість проміжних транзитних вузлів;
- надійність каналів і транзитних вузлів.

Помітимо, що навіть у тому випадку, коли між кінцевими вузлами існує єдиний шлях, його визначення при складній топології мережі може являти собою нетривіальне завдання.

Маршрут може визначатися емпірично ("вручну") адміністратором мережі, який, використовуючи різні, часто не формалізовані міркування, аналізує топологію мережі й задає послідовність інтерфейсів, яку повинні пройти дані, щоб досягти одержувача. Серед спонукальних мотивів вибору того або іншого шляху можуть бути: особливі вимоги до мережі з боку різних типів додатків, розв'язок передавати трафік через мережу певного провайдера, припущення про пікові навантаження на деякі канали мережі, міркування безпеки.

Однак евристичний підхід до визначення маршрутів для великої мережі зі складною топологією не підходить. У цьому випадку таке завдання вирішується найчастіше автоматично. Для цього кінцеві вузли й інші пристрої мережі оснащуються спеціальними програмними засобами, які організують взаємний обмін службовими повідомленнями, що дозволяє кожному вузлу скласти свою виставу про топологію мережі. Потім на основі цього дослідження й математичних алгоритмів визначаються найбільш раціональні маршрути.

Визначити маршрут — однозначно задати послідовність транзитних вузлів і їх інтерфейсів, через які треба передавати дані, щоб доправити їхньому адресатові.

Оповіщення мережі про обраний маршрут

Після того, як маршрут визначений (вручну або автоматично), впливає "повідомити" про нього всім пристроям мережі. Повідомлення про маршрут повинне нести кожному транзитному пристрою приблизно таку інформацію: "Якщо прийдуть дані, що ставляться до потоку n , те потрібно передати їх на інтерфейс F ".

Повідомлення про маршрут обробляється транзитним пристроєм, у результаті чого створюється новий запис у таблиці комутації, у якій локальному або глобальній ознаці (ознакам) потоку (наприклад, мітці, номеру вхідного інтерфейсу або адресі призначення) ставиться у відповідність номер інтерфейсу, на який пристрій повинний передати дані, що ставляться до цього потоку.

Нижче поміщений фрагмент таблиці комутації, що містить запис, зроблену на підставі повідомлення про необхідність передачі потоку n на інтерфейс F .

Ознаки потоку	Напрямок передачі даних
	номер інтерфейсу й/або адреса наступного вузла
n	F

Звичайно, структура повідомлення про маршрут і вмісту таблиці комутації залежить від конкретної технології, однак ці особливості не міняють сутності розглянутих процесів.

Передача інформації про обрані маршрути так само, як і визначення маршруту, може здійснюватися й вручну, і автоматично. Адміністратор мережі може зафіксувати маршрут, виконавши конфігурацію пристрою вручну, наприклад, жорстко скоммутував на тривалий час певні пари вхідних і вихідних інтерфейсів (так працювали "телефонні панянки" на перших комутаторах). Він може також за власною ініціативою внести запис про маршрут у таблицю комутації. Однак оскільки топологія мережі й інформаційних потоків може мінятися (відмова або поява нових проміжних вузлів, зміна адрес або визначення нових потоків), той гнучкий розв'язок завдань визначення й призначення маршрутів припускає постійний аналіз стану мережі й відновлення маршрутів і таблиць комутації, що вимагає застосування засобів автоматизації.

Сповістити мережу про знайдені маршрути — це значить вручну або автоматично настроїти кожний комутатор таким чином, щоб він "знав", у якому напрямку слід передавати кожний потік.

Просування — розпізнавання потоків і комутація на кожному транзитному вузлі

Коли мережа сповіщена про маршрути, вона може почати виконувати свої функції по з'єднанню або комутації абонентів. Для кожної пари абонентів ця операція може бути представлена сукупністю декількох (по числу транзитних вузлів) локальних операцій комутації. Відправник повинен виставити дані на той свій порт, з якого виходить знайдений маршрут, а всі транзитні вузли повинні відповідним чином виконати "перекидання" даних з одного свого порту на інший, іншими словами — виконати комутацію.

Пристрій, призначене для виконання комутації, називається комутатором (switch). Комутатор робить комутацію вхідних у його порти інформаційних потоків, направляючи їх у відповідні вихідні порти.

Однак, перш ніж виконати комутацію, комутатор повинен розпізнати потік. Для цього дані, що надійшли, перевіряються на предмет наявності ознак якого-небудь із потоків, заданих у таблиці комутації. Якщо відбувся збіг, то ці дані направляються на той інтерфейс, який був визначений для них у маршруті.

Терміни комутація, таблиця комутації й комутатор у телекомунікаційних мережах можуть трактуватися неоднозначно. Ми вже визначили термін комутація як процес з'єднання абонентів мережі через транзитні вузли. Цим же терміном ми позначаємо й з'єднання інтерфейсів у межах окремого транзитного вузла. Комутатором у широкому змісті слова називається пристрій будь-якого типу, здатне виконувати операції перемикання потоку даних з одного інтерфейсу на інший.

Операція комутації може бути виконана відповідно до різних правил і алгоритмами. Деякі способи комутації й відповідні їм таблиці й пристрою одержали спеціальні назви (наприклад, маршрутизація, таблиця маршрутизації, маршрутизатор). У той же час за іншими спеціальними типами комутації й відповідними пристроями закріпилися ті ж самі назви – комутація, таблиця комутації й комутатор – які тут використовуються у вузькому змісті, наприклад комутація й комутатор локальної мережі. У телефонних мережах, які з'явилися набагато раніше комп'ютерних, також використовується аналогічна термінологія, комутатор є тут синонімом телефонної станції. Через солідний вік і набагато більшої (поки) поширеності телефонних мереж, найчастіше в телекомунікаціях під терміном "комутатор" розуміють саме телефонний комутатор.

Комутатором може бути як спеціалізований пристрій, так і універсальний комп'ютер із вбудованим програмним механізмом комутації, у цьому випадку комутатор називається програмним. Комп'ютер може сполучати функції комутації даних, що направляються на інші вузли, з виконанням своїх звичайних функцій кінцевого вузла. Однак у багатьох випадках більш раціональним є розв'язок, відповідно до якого деякі вузли в мережі виділяються спеціально для виконання комутації. Ці вузли утворюють комутаційну мережу, до якої підключаються всі інші. Розглянемо комутаційну мережу, утворену з вузлів 1, 5, 6 і 8, до якої підключаються кінцеві вузли 2, 3, 4, 7, 9 і 10.

Мультиплексування й демюльтиплексування

Як уже було сказано, перш ніж виконати перекидання даних на певні для них інтерфейси, комутатор повинен зрозуміти, до якого потоку вони ставляться. Це завдання повинна вирішуватися незалежно від того, надходить чи на вхід комутатора тільки один потік в "чистому" виді, або "змішаний" потік, який поєднує в собі кілька потоків. В останньому випадку до завдання розпізнавання додається завдання демюльтиплексування.

Завдання демюльтиплексування (demultiplexing) — поділ сумарного агрегированного потоку, що надходить на один інтерфейс, на кілька складових потоків .

Як правило, операцію комутації супроводжує також зворотна операція — мультиплексування.

Завдання мультиплексування (multiplexing) — утворення з декількох окремих потоків загального агрегированного потоку, який можна передавати по одному фізичному каналу зв'язку.

Операції мультиплексування/демюльтиплексування мають таке ж важливе значення в будь-якій мережі, як і операції комутації, тому що без них довелось б усі комутатори зв'язувати більшою кількістю паралельних каналів, що звело б на немає всі переваги неполносвязной мережі.

Розглянемо фрагмент мережі, що полягає із трьох комутаторів. Комутатор 1 має п'ять мережних інтерфейсів. Розглянемо, що відбувається на інтерфейсі 1. Сюди надходять дані із трьох інтерфейсів — int.3, int.4 і int.5. Усі їх треба передати в загальний фізичний канал, тобто виконати операцію мультиплексування. Мультиплексування являє собою спосіб забезпечення доступності наявних фізичних каналів одночасно для декількох сеансів зв'язку між абонентами мережі.

Існує безліч способів мультиплексування потоків в одному фізичному каналі, і найважливішим з них є поділ часу. При цьому способі кожний потік час від часу (з фіксованим або випадковим періодом) одержує у своє розпорядження фізичний канал і передає по ньому дані. Дуже поширений також частотний поділ каналу, коли кожний потік передає дані у виділеному йому частотному діапазоні.

Технологія мультиплексування повинна дозволити одержувачеві такого сумарного потоку виконувати зворотну операцію — поділ (демультиплексування) даних на складові потоки. На інтерфейсі int.3 комутатор виконує демультиплексування потоку на три складові підпотока. Один з них він передає на інтерфейс int. 1, іншої на int.2, а третій на int.5. А от на інтерфейсі int.2 немає необхідності виконувати мультиплексування або демультиплексування — цей інтерфейс виділено одному потоку в монопольне користування. У загальному випадку на кожному інтерфейсі можуть одночасно виконуватися обидві завдання — мультиплексування й демультиплексування.

Окремий випадок комутатора, у якого всі вхідні інформаційні потоки комутуються на один вихідний інтерфейс, де мультиплексируються в один агрегированный потік і направляються в один фізичний канал, називається мультиплексором (multiplexer, mux). Комутатор, який має один вхідний інтерфейс і трохи вихідних, називається демультиплексором .

Поділюване середовище передачі даних

Ще один параметр, що характеризує використання поділюваних каналів зв'язки — кількість вузлів, підключених до такого каналу. У наведених вище прикладах до каналу зв'язку підключалися тільки два взаємодіючі вузли, точніше — два інтерфейси. У телекомунікаційних мережах використовується й інший вид підключення, коли до одному каналу підключається кілька інтерфейсів. Таке множинне підключення інтерфейсів породжує топологію, що вже розглядався вище, "загальна шина", іноді називану також шлейфовим підключенням. У всіх цих випадках виникає проблема погодженого використання каналу декількома інтерфейсами. Нижче на малюнках показані різні варіанти поділу каналів зв'язки між інтерфейсами.

У випадку коли комутатори ДО1 і ДО2 зв'язано двома односпрямованими фізичними каналами, тобто такими каналами, по яких інформація може передаватися тільки в одному напрямку. У цьому випадку передавальний інтерфейс є активним, і фізичне середовище передачі перебуває цілком і повністю під його керуванням. Пасивний інтерфейс тільки ухвалює дані. Проблеми поділу каналу між інтерфейсами тут немає. Помітимо, однак, що завдання мультиплексування потоків даних у каналі при цьому зберігається. На практиці два односпрямовані канали, що реалізують у цілому дуплексний зв'язок між двома пристроями, звичайно вважаються одним дуплексним каналом, а два інтерфейси одного пристрою розглядаються як передавальна, що й ухвалює частини того самого інтерфейсу.

Комутатори ДО1 і ДО2 зв'язані каналом, який може передавати дані в обидва боки, але тільки поперемінно. При цьому виникає необхідність у механізмі узгодження доступу інтерфейсів

ДО1 і ДО2 до такого каналу. Узагальненням цього варіанта є випадок, коли до каналу зв'язку підключається трохи (більше двох) інтерфейсів, утворюючи загальну шину.

Спільно використовуваний декількома інтерфейсами фізичний канал називають поділюваним (shared). Часто використовується також термін "поділюване середовище" (shared media) передачі даних. Поділювані канали зв'язку використовуються не тільки для зв'язків типу комутатор-комутатор, але й для зв'язків комп'ютер-комутатор і комп'ютер-комп'ютер.

Існують різні способи організації спільного доступу до поділюваних ліній зв'язку. В одних випадках використовують централізований підхід, коли доступом управляє спеціальний пристрій — арбітр, в інших — децентралізований. У середині комп'ютера проблеми поділу ліній зв'язку між різними модулями також існують — прикладом може служити доступ до системної шини, яких управляє або процесор, або спеціальний арбітр шини. У мережах організація спільного доступу до ліній зв'язку має свою специфіку через суттєво більший час поширення сигналів по лініях зв'язку. Через цей процедуру узгодження доступу до лінії зв'язку можуть займати занадто багато часу й приводити до значного зниження продуктивності мережі.

Незважаючи на всі ці складності, у локальних мережах поділювані середовища використовуються дуже часто. Цей підхід, зокрема, реалізований у широко розповсюджених класичних технологіях Ethernet, Token Ring, FDDI. У глобальних мережах поділювані між інтерфейсами середовища практично не використовуються. Це пояснюється тим, що більші тимчасові затримки при поширенні сигналів уздовж протяжних каналів зв'язку приводять до занадто тривалих переговорних процедур доступу до поділюваного середовища, скорочуючи до неприйняттого рівня частку корисного використання каналу зв'язку на передачу даних абонентів.

Однак в останні роки намітилася тенденція відмови від поділюваних середовищ передачі даних і в локальних мережах. Це пов'язане з тим, що за, що досягається в такий спосіб зниження вартості мережі доводиться розплачуватися продуктивністю. Мережа з поділюваним середовищем при великій кількості вузлів завжди буде працювати повільніше, чим аналогічна мережа з індивідуальними лініями зв'язку, тому що пропускна здатність індивідуальної лінії зв'язку дістається одному комп'ютеру, а при спільному використанні — ділиться на всі комп'ютери мережі. Часто з такою втратою продуктивності доводиться миритися заради збільшення економічної ефективності мережі. Не тільки в класичних, але й у зовсім нових технологіях, розроблених для локальних мереж, зберігається режим поділюваних ліній зв'язку. Наприклад, розроблювачі технології Gigabit Ethernet, прийнятої в 1998 році в якості нового стандарту, включили режим поділу передавального середовища у свої специфікації поряд з режимом роботи з індивідуальних ліній зв'язку.