

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Комп'ютерні мережі 2.

Глобальні комп'ютерні мережі

Методичні вказівки до комп'ютерного практикуму

Для студентів напряму підготовки
6.050102 «Комп'ютерна інженерія»
кафедри обчислювальної техніки
заочної форми навчання

*Рекомендовано
Вченою радою факультету
інформатики та обчислювальної
техніки НТУУ «КПІ»
Протокол № від 2012р.*

Київ
НТУУ «КПІ»
2012

Комп'ютерні мережі 1.Локальні комп'ютерні мережі. Методичні вказівки до комп'ютерного практикуму. [Текст] / Уклад.: О.Ю. Кулаков, Р.Ю.Берест – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 229 с.

Методичні вказівки призначені для студентів напряму підготовки 6.050102 «Комп'ютерна інженерія» кафедри обчислювальної техніки всіх форм навчання. В посібнику наведена тематика практичних занять, основні теоретичні відомості, завдання для лабораторних робіт, список рекомендованої літератури, контрольні питання.

Укладач

О.Ю. Кулаков, к.т.н.

Р.Ю.Берест

Рецензент

Муха І.П., к.т.н., доц.

кафедри АСОІУ

За редакцією укладачів

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Комп'ютерний практикум № 1. Мережі X.25.....	5
Комп'ютерний практикум № 2.Мережі FRAME RELAY.....	16
Комп'ютерний практикум № 3.Технологія мереж АТМ.....	31
Комп'ютерний практикум №4. Широкопasmовий абонентський доступ з використанням технологій XDSL.....	63

ВСТУП

Дисципліна «Комп'ютерні мережі» призначена для вивчення основних принципів, методів та засобів побудови комп'ютерних мереж, зокрема структурної організації локальних та глобальних мереж, мереж з асинхронним режимом передавання інформації, архітектури мережевих операційних систем та мережевих технологій.

Практична частина курсу складається з дванадцяти лабораторних робіт і призначена для отримання практичних навичок використання існуючих мережевих технологій для побудови локальних та глобальних комп'ютерних мереж. Всі лабораторні роботи виконуються в системі автоматизованого проектування NetCrackerPro, призначеної для побудови та моделювання інформаційно-обчислювальних мереж та оцінки їх технічних параметрів. Роботи послідовно логічно впорядковані за складністю та охоплюють всі теми, що вивчаються в курсі.

Матеріал для кожної лабораторної роботи містить мету, основні теоретичні відомості, загальне завдання, варіанти індивідуальних завдань, список питань для самоперевірки, зміст звіту про виконання лабораторних робіт, а також список рекомендованих інформаційних джерел для підготовки та виконання лабораторних робіт.

Комп'ютерний практикум № 1.

МЕРЕЖІ X.25.

Мета роботи: Ознайомитися з технологіями побудови мереж X.25.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Призначення і структура мереж X.25

Мережі X.25 є на сьогоднішній день найпоширенішими мережами з комутацією пакетів, що використовуються для побудови корпоративних мереж. Основна причина такої ситуації полягає в тому, що довгий час мережі X.25 були єдиними доступними мережами з комутацією пакетів комерційного типу, в яких давалися гарантії коефіцієнта готовності мережі. Мережа Internet також має довгу історію існування, але як комерційна мережа вона почала експлуатуватися зовсім недавно, тому для корпоративних користувачів вибору не було. Крім того, мережі X.25 добре працюють на ненадійних лініях завдяки протоколам з встановленням з'єднання і корекцією помилок на двох рівнях - каналному і мережевому.

Стандарт X.25 «Інтерфейс між кінцевим обладнанням даних та апаратурою передачі даних для терміналів, що працюють в пакетному режимі в мережах передачі даних загального користування» був розроблений комітетом ССІТТ в 1974 році і переглядався кілька разів. Стандарт найкращим чином підходить для передачі трафіку низької інтенсивності, характерного для терміналів, і в меншій мірі відповідає вищим вимогам трафіку локальних мереж. Як видно з назви, стандарт не описує внутрішній устрій мережі X.25, а тільки визначає інтерфейс користувача з мережею. Взаємодія двох мереж X.25 визначає стандарт X.75.

Технологія мереж X.25 має декілька суттєвих ознак, що відрізняють її від інших технологій.

- Наявність в структурі мережі спеціального пристрою - *PAD* (*Packet Assembler Disassembler*), призначеного для виконання операції складання кількох низькошвидкісних потоків байт від алфавітно-цифрових терміналів в пакети, що передаються по мережі і направляються комп'ютерам для обробки. Ці пристрої мають також російськомовну назву «Сборщик-разборщик пакетов», СРП.

- Наявність трирівневого стека протоколів з використанням на каналному і мережевому рівнях протоколів зі встановленням з'єднання, керуєних потоками даних і виправляючих помилок.

- Орієнтація на однорідні стеки транспортних протоколів у всіх вузлах мережі - мережевий рівень розрахований на роботу тільки з одним протоколом каналного рівня і не може подібно протоколу IP об'єднувати різномірні мережі. Мережа X.25 складається з комутаторів (*Switches*, *S*), які називаються також *центрами комутації пакетів* (ЦКП), розташованих в різних географічних точках і з'єднаних високошвидкісними виділеними каналами (рис. 1.1). Виділені канали можуть бути як цифровими, так і аналоговими.

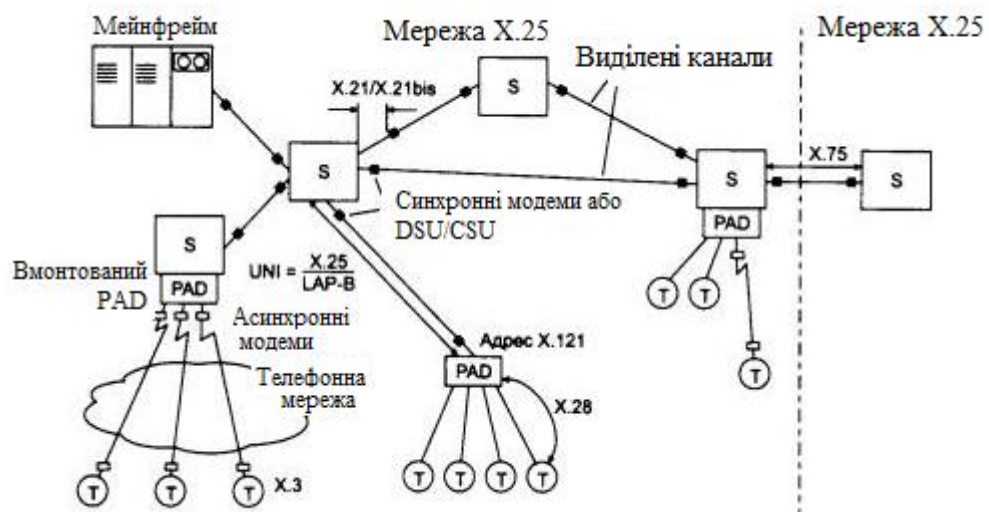


Рис. 1.1. Структура мережі X.25

Асинхронні старт-стопні термінали підключаються до мережі через пристрої PAD. Вони можуть бути вбудованими або віддаленими. Вбудований PAD зазвичай розташований в стійці комутатора. Термінали одержують доступ до вбудованого пристрою PAD по телефонній мережі за допомогою модемів з асинхронним інтерфейсом. Вбудований PAD також підключається до телефонної мережі за допомогою декількох модемів з асинхронним інтерфейсом. Віддалений PAD є невеликим автономним пристроєм, підключеним до комутатора через виділений канал зв'язку X.25. До віддаленого пристрою PAD термінали підключаються по асинхронному інтерфейсу, звичайно для цієї мети використовується інтерфейс RS-232C. Один PAD зазвичай забезпечує доступ для 8, 16 або 24 асинхронних терміналів.

До основних функцій PAD, визначених стандартом X.3, відносяться:

- складання символів, отриманих від асинхронних терміналів, в пакети;
- розбирання полів даних в пакетах і виведення даних на асинхронні термінали;
- управління процедурами встановлення з'єднання і роз'єднання по мережі X.25 з потрібним комп'ютером;
- передача символів, що включають старт-стопного сигнали і біти перевірки на парність, на вимогу асинхронного терміналу;
- просування пакетів при наявності відповідних умов, таких як заповнення пакета, закінчення часу очікування та ін

Термінали не мають кінцевих адрес мережі X.25. Адреса присвоюється порту PAD, що підключений до комутатора пакетів X.25 за допомогою виділеного каналу.

Незважаючи на те що завдання підключення «неінтелектуальних» терміналів до віддалених комп'ютерів виникає зараз досить рідко, функції PAD все ще залишаються затребуваними. Пристрої PAD часто використовуються для

підключення до мереж X.25 касових терміналів і банкоматів, які мають асинхронний інтерфейс RS-232.

Стандарт X.28 визначає параметри терміналу, а також протокол взаємодії терміналу з пристроєм PAD. При роботі на терміналі користувач спочатку проводить деякий текстовий діалог з пристроєм PAD, використовуючи стандартний набір символічних команд. PAD може працювати з терміналом в двох режимах: керуючому і передачі даних. У керуючому режимі користувач за допомогою команд може вказати адресу комп'ютера, з яким потрібно встановити з'єднання по мережі X.25, а також встановити деякі параметри роботи PAD, наприклад вибрати спеціальний символ для позначення команди негайної відправки пакета, встановити режим луна - відповідей символів, що набираються на клавіатурі, від пристрою PAD (при цьому дисплей не буде відображати символи, що набираються на клавіатурі до тих пір, поки вони не повернуться від PAD - це звичайний локальний режим роботи терміналу з комп'ютером). При наборі комбінації клавіш Ctrl + P PAD переходить в режим передачі даних і сприймає всі наступні символи як дані, які потрібно передати в пакеті X.25 вузлу призначення.

По суті, протоколи X.3 і X.28 визначають протокол емуляції терміналу, подібний протоколу telnet стека TCP / IP. Користувач за допомогою пристрою PAD встановлює з'єднання з потрібним комп'ютером, а потім може вести вже діалог з операційний системою цього комп'ютера (в режимі передачі даних пристроєм PAD), запускаючи потрібні програми і переглядаючи результати їх роботи на своєму екрані, як і при локальному підключенні терміналу до комп'ютера.

Комп'ютери та локальні мережі зазвичай підключаються до мережі X.25 безпосередньо через адаптер X.25 або маршрутизатор, який підтримує на своїх інтерфейсах протоколи X.25. Для управління пристроями PAD в мережі існує

протокол X.29, за допомогою якого вузол мережі може управляти і конфігурувати PAD віддалено, через мережу. При необхідності передачі даних комп'ютери, підключені до мережі X.25 безпосередньо, послугами PAD не користуються, а самостійно встановлюють віртуальні канали в мережі і передають по ним дані в пакетах X.25.

Адресація в мережах X.25

Якщо мережа X.25 не пов'язана із зовнішнім світом, то вона може використовувати адресу будь-якої довжини (в межах формату поля адреси) і давати адресами довільні значення. Максимальна довжина поля адреси в пакеті X.25 складає 16 байт.

Рекомендація X.121 ССІТТ визначає міжнародну систему нумерації адрес для мереж передачі даних загального користування. Якщо мережа X.25 хоче обмінюватися даними з іншими мережами X.25, то в ній потрібно дотримуватися адресації стандарту X.121.

Адреси X.121 (звані також *International Data Numbers, IDN*) мають різну довжину, яка може доходити до 14 десяткових знаків. Перші чотири цифри IDN називають *кодом ідентифікації мережі (Data Network Identification Code, DNIC)*. DNIC поділений на дві частини, перша частина (3 цифри) визначає країну, в якій знаходиться мережа, а друга - номер мережі X.25 в даній країні. Таким чином, усередині кожної країни можна організувати тільки 10 мереж X.25. Якщо ж потрібно перенумерувати більше, ніж 10 мереж для однієї країни, проблема вирішується тим, що жодній країні дається кілька кодів. Наприклад, Росія мала до 1995 року один код - 250, а в

1995 році їй було виділено ще один код - 251. Інші цифри називаються *номером національного терміналу (National Terminal Number, NTN)*. Ці цифри дозволяють ідентифікувати певний DTE в мережі X.25.

Міжнародні мережі X.25 можуть також використовувати міжнародний стандарт нумерації абонентів ISO 7498, описаний вище.

Протокол фізичного рівня каналу зв'язку не обговорений, і це дає можливість використовувати канали різних стандартів.

На каналному рівні зазвичай використовується протокол LAR-B. Цей протокол забезпечує збалансований режим роботи, тобто обидва вузла, що беруть участь в з'єднанні, рівноправні. За протоколом LAR-B встановлюється з'єднання між користувальницьким обладнанням DTE (комп'ютером, IP-або IPX-маршрутизатором) і комутатором мережі. Хоча стандарт це і не обумовлює, але по протоколу LAR-B можливо також встановлення з'єднання на каналному рівні всередині мережі між безпосередньо пов'язаними комутаторами. Протокол LAR-B майже в усіх відношеннях ідентичний протоколу LLC2, крім адресації. Кадр LAR-B містить одне однобайтове адресне поле (а не два - DSAP і SSAP), в якому вказується не адресу служби верхнього рівня, а напрям передачі кадру - 0x01 для направлення команд від DTE до DCE (в мережу) або відповідей від DCE до DTE (з мережі) і 0x03 для направлення відповідей від DTE до DCE або команд від DCE до DTE. Підтримується як нормальний режим (з максимальним вікном 8 кадрів і однобайтовим полем управління), так і розширений режим (з максимальним вікном в 128 кадрів і багатобайтових полем управління).

Мережевий рівень X.25 / 3 (у стандарті він названий не мережевим, а пакетним рівнем) реалізується з використанням 14 різних типів пакетів, за призначенням аналогічних типам кадрів протоколу LAR-B. Так як надійну передачу даних забезпечує протокол LAR-B, протокол X.25 / 3 виконує функції маршрутизації пакетів, встановлення і розриву віртуального каналу між кінцевими абонентами мережі і управління потоком пакетів.

Після встановлення з'єднання на каналному рівні кінцевий вузол повинен встановити віртуальне з'єднання з іншим кінцевим вузлом мережі. Для цього він в кадрах LAR-B посилає пакет Call Request протоколу X.25. Формат пакета Call Request зображений на рис. 1.3.

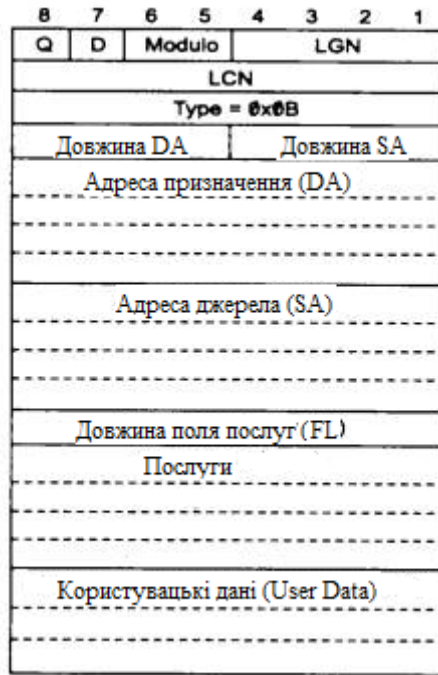


Рис. 1.3. Формат пакета Call Request

Поля, розташовані в перших трьох байтах заголовка пакета, використовуються у всіх типах кадрів протоколу X.25. Ознаки Q і D і Modulo розташовані у старшій частині першого байта заголовка. Ознака Q призначений для розпізнавання на мережевому рівні типу інформації в поле даних пакета. При отриманні пакету інформація, розташована в поле даних, а також значення біта Q передається верхнім рівням користувача стека протоколів (безпосередньо транспортному рівню цього стека). Значення Q = 1 означає керуючу інформацію користувача, а Q = 0 - дані. Ознака D означає підтвердження прийому пакета вузлом призначення. Звичайний механізм підтвердження прийняття пакетів з допомогою квитанцій має для протоколу X.25 тільки локальний сенс - прийом пакета підтверджує найближчий комутатор мережі, через який кінцевий вузол запросив і встановив віртуальне з'єднання. Якщо ж вузол-джерело запросив підтвердження прийому кінцевим вузлом, то це підтвердження індицирується установкою біта D (delivery confirmation) в пакетах, що йдуть від вузла призначення.

Ознака Modulo говорить про те, за яким модулю - 8 або 128 - ведеться нумерація пакетів.

Значення 10 означає модуль 128, а 01 - модуль 8.

Поле *Номер логічної групи (Logical Group Number, LGN)* містить значення *номера логічної групи* віртуального каналу. Канали утворюють логічні групи за функціональною ознакою, наприклад:

- постійний віртуальний канал;
- комутований віртуальний канал тільки для вхідних повідомлень (симплексний);
- комутований віртуальний канал тільки для вихідних повідомлень (симплексний);
- комутований дуплексний віртуальний канал.

Максимальна кількість логічних груп - 12, хоча в конкретній мережі допустимо і меншу кількість.

Поле *Номер логічного каналу (Logical Channel Number, LCN)* містить номер віртуального каналу, який призначається вузлом-джерелом (для комутованих віртуальних каналів) або адміністратором мережі (для постійних віртуальних каналів). Максимальна кількість віртуальних каналів, що проходять через один порт, так само 256.

Поле *Тип (Type)* вказує тип пакета. Наприклад, для пакета Call Request відведено значення типу, рівне 0x0B. Молодший біт цього поля визначає, чи є пакет керуючим (біт дорівнює 1) або пакетом даних (біт дорівнює 0). Значення 0x0B містить 1 в молодшому біті, тому це керуючий пакет, а решта біти в цьому випадку визначають підтип пакета. В пакеті даних інші біти поля *Type* використовуються для перенесення номерів квитанцій N (S) і N (R).

Наступні два поля визначають довжину адрес призначення і джерела (DA і SA) в пакеті. Запит на встановлення віртуального каналу вказує обидві адреси.

Перший адреса потрібна для маршрутизації пакета Call Request, а другий - для прийняття рішення вузлом призначення про можливість встановлення віртуального з'єднання з даними вузлом-джерелом. Якщо вузол призначення вирішує прийняти запит, то він повинен відправити пакет Call Accepted - «Запит прийнятий», в якому також вказати обидві адреси, помінявши їх, природно, місцями. Адреси можуть мати довільний формат або ж відповідати вимогам стандарту X.121 або ISO 7498.

Самі адреси призначення і джерела займають відведений їм кількість байт в наступних двох полях.

Поля *Довжина поля послуг (Facilities length)* і *послуги (Facilities)* потрібні для узгодження додаткових послуг, які надає мережа абоненту. Наприклад, послуга «Ідентифікатор користувача мережі» дозволяє задати ідентифікатор користувача (відмінний від його мережевої адреси), на підставі якого можуть оплачуватися рахунки за користування мережею. Користувач за допомогою послуги «Узгодження параметрів управління потоком» може попросити мережу використовувати нестандартні значення параметрів протоколу - розміру вікна, максимального розміру поля даних пакету і т. п. Протокол X.25 допускає такі максимальні значення довжини поля даних: 16,32, 64,128, 256,512 і 1024 байт. Кращою є довжина 128 байт.

Пакет Call Request приймається комутатором мережі та маршрутизується на підставі таблиці маршрутизації, прокладаючи при цьому віртуальний канал. Початкове значення номера віртуального каналу задає користувач в цьому пакеті в поле LCN (аналог поля VCI, згадуваного при поясненні принципу встановлення віртуальних каналів). Протокол маршрутизації для мереж X.25 не визначений.

Для скорочення розміру адресних таблиць в комутаторах в мережах X.25 реалізується принцип агрегування адрес. Всі термінали, що мають загальний префікс в адресі, підключаються при цьому до загального вхідного комутатора

підмережі, що відповідає значенню префікса. Наприклад, якщо шлях до всіх терміналів, які мають адреси з префіксом 250 720, пролягає через загальний комутатор K1, то в таблиці маршрутизації комутаторів, через які проходить шлях до комутатора K1, міститься єдиний запис - 250 720, яка відповідає як кінцевому вузлу 250720 11 , так і кінцевому вузлу 250720 26. Маски в комутаторах не використовуються, а молодші розряди адреси, які не потрібні при маршрутизації, просто опускаються.

Після встановлення віртуального каналу кінцеві вузли обмінюються пакетами іншого формату - формату пакетів даних (пакет Data). Цей формат схожий на описаний формат пакета Call Request - перші три байти в ньому мають ті ж поля, а адресні поля і поля послуг відсутні. Пакет даних не має поля, яке б визначало тип переносити в пакеті даних, тобто поля, аналогічного полю Protocol в IP-пакеті. Для усунення цього недоліку перший байт в поле даних завжди інтерпретується як ознака типу даних.

Комутатори (ЦКП) мереж X.25 є набагато більш прості і дешеві пристрої в порівнянні з маршрутизаторами мереж TCP / IP. Це пояснюється тим, що вони не підтримують процедур обміну маршрутною інформацією і знаходження оптимальних маршрутів, а також не виконують перетворень форматів кадрів каналних протоколів. За принципом роботи вони ближче до комутаторів локальних мереж, ніж до маршрутизаторів. Проте робота, яку виконують комутатори X.25 над прийшли кадрами, включає більше етапів, ніж при просуванні кадрів комутаторами локальних мереж. Комутатор X.25 повинен прийняти кадр LAP-B і відповісти на нього іншим кадром LAP-B, в якому підтвердити отримання кадру з конкретним номером. При втраті або спотворенні кадру комутатор повинен організувати повторну передачу кадру. Якщо ж з кадром LAP-B все гаразд, то комутатор повинен отримати пакет X.25, на підставі номера віртуального каналу визначити вихідний порт, а потім

сформувати новий кадр LAR-B для подальшого просування пакета. Комутатори локальних мереж такою роботою не займаються і просто передають кадр в тому вигляді, в якому він прийшов, на вихідний порт.

В результаті продуктивність комутаторів X.25 виявляється зазвичай невисокою - кілька тисяч пакетів в секунду. Для низькошвидкісних каналів доступу, якими багато років користувалися абоненти цієї мережі (1200-9600 біт / с), такої продуктивності комутаторів вистачало для роботи мережі.

Гарантій пропускної здатності мережа X.25 не дає. Максимум, що може зробити мережа, - це пріоритезувати трафік окремих віртуальних каналів. Пріоритет каналу вказується в запиті на встановлення з'єднання в поле послуг.

Протоколи мереж X.25 були спеціально розроблені для низькошвидкісних ліній з високим рівнем перешкод. Саме такі лінії складають поки більшу частину телекомунікаційної структури нашої країни, тому мережі X.25 будуть як і раніше ще довго бути найбільш раціональним вибором для багатьох регіонів.

Завдання на комп'ютерний практикум

1. Ознайомитися з теоретичною частиною по мережах X.25.
2. Знайти і вивчити елементи в NetCracker \ PacketTracer, які необхідні для виконанню роботи.
3. На базі отриманих елементів побудувати схему, яка моделює роботу мережі.

Комп'ютерний практикум № 2.

МЕРЕЖІ FRAME RELAY.

Мета роботи: ознайомитися та отримати практичні навички роботи з мережами frame relay.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Призначення і загальна характеристика

Мережі frame relay - порівняно нові мережі, які набагато краще підходять для передачі пульсуючого трафіка локальних мереж в порівнянні з мережами X.25, правда, ця перевага виявляється тільки тоді, коли канали зв'язку наближаються за якістю до каналів локальних мереж, а для глобальних каналів така якість зазвичай досяжна тільки при використанні волоконно-оптичних кабелів.

Перевага мереж frame relay полягає в їх низькій протокольній надмірності і дейтаграмному режимі роботи, що забезпечує високу пропускну здатність і невеликі затримки кадрів. Надійну передачу кадрів технологія frame relay не забезпечує. Мережі frame relay спеціально розроблялися як громадські мережі для з'єднання приватних локальних мереж. Вони забезпечують швидкість передачі даних до 2 Мбіт / с.

Особливістю технології frame relay є гарантована підтримка основних показників якості транспортного обслуговування локальних мереж - середньої швидкості передачі даних по віртуальному каналу при допустимих пульсаціях трафіку. Крім технології frame relay гарантії якості обслуговування на сьогодні може надати тільки технологія АТМ, в той час як інші технології надають необхідну якість обслуговування тільки в режимі «з максимальними зусиллями» (best effort), тобто без гарантій.

Технологія frame relay в мережах ISDN стандартизована як служба. У рекомендаціях 1.122, що вийшли у світ в 1988 році, ця служба входила в число додаткових служб пакетного режиму, але потім вже при перегляді рекомендацій в 1992-93 р. вона була названа службою frame relay і увійшла в число служб режиму передачі кадрів поряд зі службою frame switching. Служба frame

switching працює в режимі гарантованої доставки кадрів з регулюванням потоку. На практиці постачальники телекомунікаційних послуг пропонують тільки службу frame relay.

Некомерційну організацію Frame Relay Forum утворили в 1990 році компанії Cisco Systems, StrataCom (сьогодні - підрозділ Cisco Systems), Northern Telecom і Digital Equipment Corporation для розвитку та конкретизації стандартів CCITT і ANSI. Специфікації Frame Relay Forum носять назву FRF і мають порядкові номери. Специфікації FRF часто стандартизують ті аспекти технології frame relay, які ще не знайшли своє відображення в стандартах ITU-T і ANSI. Наприклад, специфікація FRF. 11 визначає режим передачі голосу по мережах frame relay.

Консорціум Frame Relay Forum розробив специфікацію, що відповідає вимогам базового протоколу frame relay, розробленого T1S1 і CCITT. Однак консорціум розширив базовий протокол, включивши додаткові можливості по управлінню мережею з боку користувача, що дуже важливо при використанні мереж frame relay в складних складових корпоративних мережах. Ці доповнення до frame relay називають узагальнено Local Management Interface (LMI) - локальний інтерфейс управління.

Стандарти ITU-T зазвичай відрізняються високим рівнем складності і наявністю багатьох можливостей, які досить важко втілити на практиці. Специфікації Frame Relay Forum спрощують деякі аспекти стандартів ITU-T або відкидають деякі можливості. Так, технологія frame switching не знайшла свого відображення в специфікаціях FRF, а процедури створення комутованих віртуальних каналів з'явилися в специфікаціях FRF пізніше, ніж в стандартах ITU-T, і виявилися більш простими.

Стандарти frame relay, як ITU-T/ANSI, так і Frame Relay Forum, визначають два типи віртуальних каналів - постійні (PVC) і комутовані (SVC). Це відповідає потребам користувачів, так як для сполук, за якими трафік

передається майже завжди, більше підходять постійні канали, а для сполук, які потрібні тільки на кілька годин на місяць, більше підходять комутовані канали.

Однак виробники обладнання frame relay і постачальники послуг мереж frame relay почали з підтримки тільки постійних віртуальних каналів. Це, звичайно, є великим спрощенням технології. Проте в останні роки обладнання, що підтримує комутовані віртуальні канали, з'явилося, і з'явилися постачальники, що пропонують таку послугу.

Стек протоколів frame relay

Технологія frame relay використовує для передачі даних техніку віртуальних з'єднань, аналогічну тій, яка застосовувалася в мережах X.25, проте стек протоколів frame relay передає кадри (при встановленому віртуальному з'єднанні) по протоколах тільки фізичного і каналного рівнів, у той час як в мережах X.25 і після встановлення з'єднання призначені для користувача дані передаються протоколом 3-го рівня.

Крім того, протокол каналного рівня LAP-F в мережах frame relay має два режими роботи - основний (core) і керуючий (control). В основному режимі, який фактично практикується в сьогоdnішніх мережах frame relay, кадри передаються без перетворення і контролю, як і в комутаторах локальних мереж. За рахунок цього мережі frame relay володіють досить високою продуктивністю, оскільки кадри в комутаторах не піддаються перетворенню, а мережа не передає квитанції підтвердження між комутаторами на кожен користувальницький кадр, як це відбувається в мережі X.25. Пульсації трафіку передаються мережею frame relay достатньо швидко і без великих затримок.

При такому підході зменшуються накладні витрати при передачі пакетів локальних мереж, так як вони вкладаються відразу в кадри каналного рівня, а не в пакети мережевого рівня, як це відбувається в мережах X.25.

Структура стека (рис. 2.1) добре відображає походження технології frame

relay в надрах технології ISDN, оскільки мережі frame relay запозичують багато з стека протоколів ISDN, особливо в процедурах встановлення комутованого віртуального каналу.

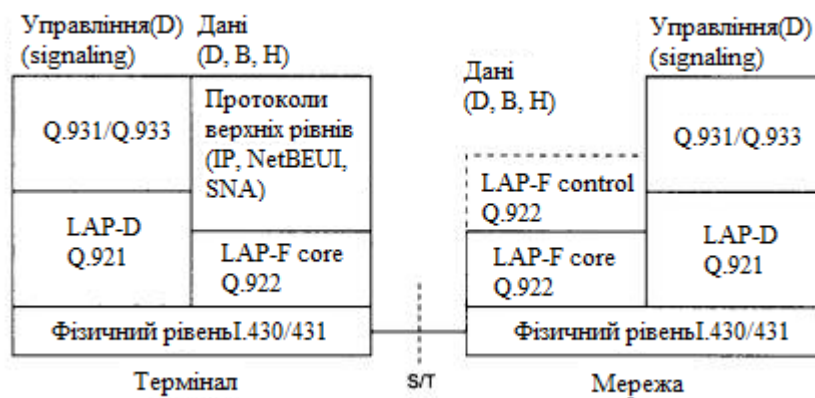


Рис. 2.1. Стек протоколів frame relay

Основу технології складає протокол LAR-F core, який є досить спрощеною версією протоколу LAR-D. Протокол LAR-F (стандарт Q.922 ІТУ-Т) працює на будь-яких каналах мережі ISDN, а також на каналах типу T1/E1. Термінальне обладнання посилає в мережу кадри LAR-F в будь-який момент часу, вважаючи що віртуальний канал в мережі комутаторів вже прокладений. При використанні PVC устаткування frame relay потрібно підтримувати тільки протокол LAR-F core.

Протокол LAR-F control є обов'язковою надбудовою над LAR-F core, яка виконує функції контролю доставки кадрів та управління потоком. За допомогою протоколу LAR-F control мережею реалізується служба frame switching.

Для установки комутованих віртуальних каналів стандарт ІТУ-Т пропонує канал D користувальницького інтерфейсу. На ньому, як і раніше працює знайомий протокол LAR-D, який використовується для надійної передачі кадрів в мережах ISDN. Поверх цього протоколу працює протокол Q.931 або протокол Q.933 (який є спрощенням і модифікацією протоколу Q.931 ISDN), що

встановлює віртуальне з'єднання на основі адрес кінцевих абонентів (у стандарті E.164 або ISO 7498), а також номери віртуального з'єднання, який в технології frame relay носить назву Data Link Connection Identifier - DLCI.

Після того як комутований віртуальний канал в мережі frame relay встановлений за допомогою протоколів LAP-D і 0,931/933, кадри можуть транслюватися по протоколу LAP-F, який комутує їх за допомогою таблиць комутації портів, в яких використовуються локальні значення DLCI. Протокол LAP-F core виконує не всі функції канального рівня в порівнянні з протоколом LAP-D, тому ІТУ-Т зображує його на піврівня нижче, ніж протокол LAP-D, залишаючи місце для функцій надійної передачі пакетів протоколу LAP-F control.

Через те, що технологія frame relay закінчується на канальному рівні, вона добре узгоджується з ідеєю інкапсуляції пакетів єдиного мережевого протоколу, наприклад IP, в кадри канального рівня будь-яких мереж, що становлять інтермережу. Процедури взаємодії протоколів мережевого рівня з технологією frame relay стандартизовані, наприклад, прийнята специфікація RFC 1490, що визначає методи інкапсуляції в трафік frame relay трафіку мережевих протоколів і протоколів канального рівня локальних мереж і SNA.

Іншою особливістю технології frame relay є відмова від корекції виявлених в кадрах спотворень. Протокол frame relay має на увазі, що кінцеві вузли будуть виявляти і коригувати помилки за рахунок роботи протоколів транспортного або більш високих рівнів. Це вимагає деякої міри інтелектуальності від кінцевого обладнання, що здебільшого справедливо для сучасних локальних мереж. В цьому відношенні технологія frame relay близька до технологій локальних мереж, таким як Ethernet, Token Ring і FDDI, які теж тільки відкидають спотворені кадри, але самі не займаються їх повторної передачею.

Структура кадру протоколу LAP-F наведена на рис. 10.2.

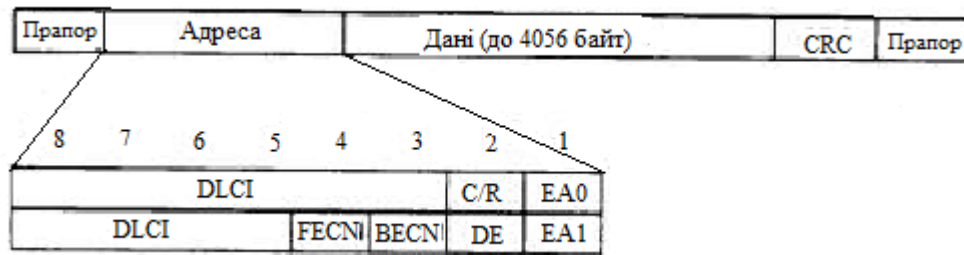


Рис. 2.2. Формат кадра LAP-F

За основу взято формат кадру HDLC, але поле адреси істотно змінило свій формат, а поле управління взагалі відсутнє.

Поле номера віртуального з'єднання (Data Link Connection Identifier, DLCI) складається з 10 бітів, що дозволяє використовувати до 1024 віртуальних з'єднань. Поле DLCI може займати і більше число розрядів - цим управляють ознаки EA0 і EA1 (Extended Address - розширений адресу). Якщо біт в цьому ознаку встановлено в нуль, то ознака називається EA0 і означає, що в наступному байті є продовження поля адреси, а якщо біт ознаки дорівнює 1, то поле називається EA1 і відображає закінчення поля адреси.

Десятирозрядний формат DLCI є основним, але при використанні трьох байт для адресації поле DLCI має довжину 16 біт, а при використанні чотирьох байт - 23 біта.

Стандарти frame relay (ANSI, ITU-T) розподіляють адреси DLCI між користувачами і мережею наступним чином:

- 0 - використовується для віртуального каналу локального управління (LMI);
- 1-15 - зарезервовані для подальшого застосування;
- 16-991 - використовуються абонентами для нумерації PVC і SVC;
- 992-1007 - використовуються мережевою транспортною службою для внутрішньомережевих з'єднань;
- 1008-1022 - зарезервовані для подальшого застосування;

- 1023 - використовуються для управління каналним рівнем.

Таким чином, в будь-якому інтерфейсі frame relay для кінцевих пристроїв користувача відводиться 976 адрес DLCI.

Поле даних може мати розмір до 4056 байт.

Поле C/R має звичайний для протоколу сімейства HDLC сенс - це ознака «команда-відповідь».

Поля DE, FECN і BECN використовуються протоколом для управління трафіком і підтримки заданої якості обслуговування віртуального каналу.

Підтримка якості обслуговування

Здатність технології frame relay гарантувати деякі параметри якості обслуговування (QoS) є ключовою. Саме тому дана технологія набула широкого поширення і вважається однією з найбільш перспективних технологій глобальних мереж. Технологія frame relay завдяки особливому підходу гарантовано забезпечує основні параметри якості транспортного обслуговування, необхідні при об'єднанні локальних мереж.

Замість пріоритезації трафіка використовується процедура замовлення якості обслуговування при встановленні з'єднання, відсутня в мережах X.25 і пробиває собі дорогу в мережах TCP/IP у формі експериментального протоколу RSVP, який поки не підтримується постачальниками послуг Internet. У технології frame relay замовлення та підтримка якості обслуговування вбудований в технологію.

Для кожного віртуального з'єднання визначається кілька параметрів, які впливають на якість обслуговування.

• *CIR (Committed Information Rate)* - узгоджена інформаційна швидкість, з якої мережа буде передавати дані користувача.

• *Bc (Committed Burst Size)* - узгоджений об'єм пульсацій, тобто максимальна кількість байтів, яку мережа буде передавати від цього

користувача за інтервал часу T .

• Be (*Excess Burst Size*) - додатковий об'єм пульсацій, тобто максимальна кількість байтів, яку мережа буде намагатись передати поверх устанавленого значення Bc за інтервал часу T .

Гарантій по затримках передачі кадрів технологія *frame relay* не дає, залишаючи цю послугу мережам АТМ.

Основним параметром, за яким абонент і мережа укладають угоду при встановленні віртуального з'єднання, є узгоджена швидкість передачі даних. Для постійних віртуальних каналів ця угода є частиною контракту на користування послугами мережі. При встановленні комутованого віртуального каналу угоду про якість обслуговування полягає автоматично за допомогою протоколу Q.931/933 - необхідні параметри CIR, Bc і Be передаються в пакеті запиту на встановлення з'єднання.

Так як швидкість передачі даних вимірюється на якомусь інтервалі часу, то інтервал T і є таким контрольним інтервалом, на якому перевіряються умови угоди. В загальному випадку користувач не повинен за цей інтервал передати в мережу дані з середньою швидкістю, що перевершує CIR. Якщо ж він порушує угоду, то мережа не тільки не гарантує доставку кадру, але позначає цей кадр ознакою DE (*Discard Eligibility*), рівним 1, тобто як кадр, який підлягає видаленню. Однак кадри, відмічені такою ознакою, видаляються з мережі тільки в тому випадку, якщо комутатори мережі відчують перевантаження. Якщо ж перевантажень немає, то кадри з ознакою $DE = 1$ доставляються адресатові.

Така щадна поведінка мережі відповідає випадку, коли загальна кількість даних, переданих користувачем в мережу за період T , не перевищує обсягу $Bc+Be$. Якщо ж цей поріг перевищено, то кадр не позначається ознакою DE, а негайно видаляється з мережі.

Для контролю угоди про параметри якості обслуговування всі комутатори мережі *frame relay* виконують так званий алгоритм «дірявого відра» (*Leaky*

Bucket). Алгоритм використовує лічильник C надійшовших від користувача байт. Кожні T секунд цей лічильник зменшується на величину V_c (або ж скидається в 0 , якщо значення лічильника менше, ніж V_c). Всі кадри, дані яких не збільшили значення лічильника вище порога V_c , пропускаються в мережу зі значенням ознаки $DE = 0$. Кадри, дані яких привели до значення лічильника, більшого V_c , але меншого $V_c + V_e$, також передаються в мережу, але з ознакою $DE = 1$. І нарешті, кадри, які привели до значення лічильника, більшого $V_c + V_e$, відкидаються комутатором.

Користувач може домовитися про включення не всіх параметрів якості обслуговування на даному віртуальному каналі, а тільки деяких.

Наприклад, можна використовувати лише параметри CIR і V_c . Цей варіант дає більш якісне обслуговування, оскільки кадри ніколи не відкидаються комутатором відразу. Комутатор лише позначає кадри, які перевищують поріг V_c за час T , ознакою $DE = 1$. Якщо мережа не стикається з перевантаженнями, то кадри такого каналу завжди доходять до кінцевого вузла, навіть якщо користувач постійно порушує договір з мережею.

Популярний ще один вид замовлення на якість обслуговування, при якому обговорюється тільки поріг V_e , а швидкість CIR вважається рівною нулю. Всі кадри такого каналу відразу ж відзначаються ознакою $DE = 1$, але відправляються в мережу, а при перевищенні порога V_e вони відкидаються. Контрольний інтервал часу T у цьому випадку обчислюється як V_e/R , де R - швидкість доступу каналу.

На рис. 3 наведено приклад мережі frame relay з п'ятьма віддаленими регіональними відділеннями корпорації. Зазвичай доступ до мережі здійснюється каналами з більшою ніж CIR пропускну здатністю. Але при цьому користувач платить не за пропускну здатність каналу, а за замовлені величини CIR , V_c і V_e . Так, при використанні як каналу доступу каналу $T1$ та замовлення служби зі швидкістю CIR , рівної 128 Кбіт/с, користувач буде

платити тільки за швидкість 128 Кбіт/с, а швидкість каналу T1 в 1,544 Мбіт/с буде впливати на верхню межу можливої пульсації $V_c + V_e$.

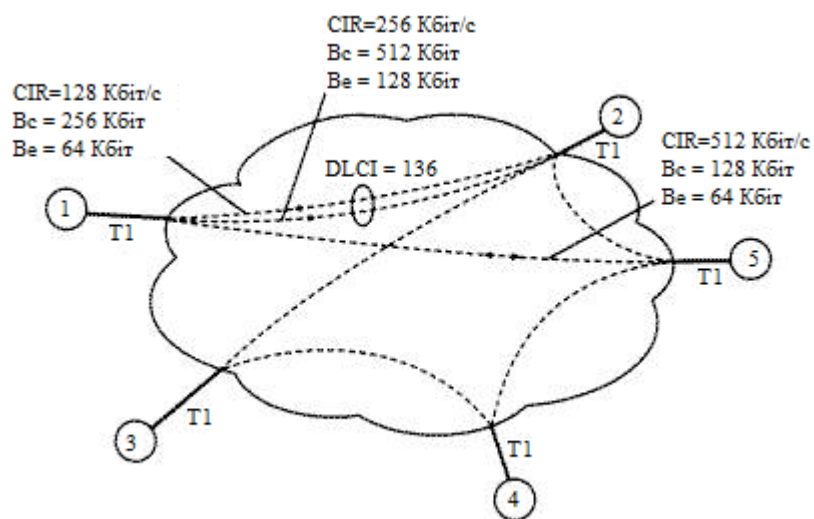


Рис.2. 3 Приклад використання мережі frame relay

Параметри якості обслуговування можуть бути різними для різних напрямів віртуального каналу. Так, на рис. 3 абонент 1 з'єднаний з абонентом 2 віртуальним каналом з DLCI=136. При напрямку від абонента 1 до абонента 2 канал має середню швидкість 128 Кбіт/с з пульсаціями $V_c=256$ Кбіт (інтервал T склав 1 с) і $V_e=64$ Кбіт. А при передачі кадрів у зворотному напрямку середня швидкість вже може досягати значення 256 Кбіт/с з пульсаціями $V_c=512$ Кбіт і $V_e=128$ Кбіт.

Механізм замовлення середньої пропускної здатності та максимальної пульсації є основним механізмом управління потоками кадрів в мережах frame relay. Угоди повинні укладатися таким чином, щоб сума середніх швидкостей віртуальних каналів не перевершувала можливостей портів комутаторів. При замовленні сталих каналів за це відповідає адміністратор, а при встановленні комутованих віртуальних каналів - програмне забезпечення комутаторів. При правильно взятих на себе зобов'язаннях мережа бореться з перевантаженням шляхом видалення кадрів з ознакою $DE = 1$ і кадрів, що перевищили поріг

Vc+Ve.

Проте в технології frame relay визначений ще і додатковий (необов'язковий) механізм управління кадрами. Це механізм оповіщення кінцевих користувачів про те, що в комутаторах мережі виникли перевантаження (переповнення необробленими кадрами). Біт FECN (Forward Explicit Congestion Bit) кадру сповіщає про це приймаючу сторону. На підставі значення цього біта приймаюча сторона повинна за допомогою протоколів більш високих рівнів (TCP/IP, SPX і т. п.) сповістити передавальну сторону про те, що та повинна знизити інтенсивність відправлення пакетів в мережу.

Біт BECN (Backward Explicit Congestion Bit) сповіщає про переповнення в мережі передавальну сторону і є рекомендацією негайно знизити темп передачі. Біт BECN зазвичай відпрацьовується на рівні пристроїв доступу до мережі frame relay - маршрутизаторів, мультиплексорів і пристроїв CSU/DSU. Протокол frame relay не вимагає від пристроїв, які отримали кадри з встановленими битами FECN і BECN, негайного припинення передачі кадрів в даному напрямку, як того вимагають кадри RNR мереж X.25. Ці біти повинні служити вказівкою для протоколів вищих рівнів (TCP, SPX, NCP і т. п.) про зниження темпу передачі пакетів. Так як регулювання потоку ініціюється в різних протоколах по-різному - як приймаючою стороною, так і передавальною, - то розробники протоколів frame relay врахували обидва напрямки постачання попереджуючою інформацією про переповнення мережі.

У загальному випадку біти FECN і BECN можуть ігноруватися. Але зазвичай пристрої доступу до мережі frame relay (Frame Relay Access Device, FRAD) відпрацьовують принаймні ознаку BECN.

При створенні комутованого віртуального каналу параметри якості обслуговування передаються в мережу за допомогою протоколу Q.931. Цей протокол встановлює віртуальне з'єднання за допомогою декількох службових пакетів.

Абонент мережі frame relay, який хоче встановити комутоване віртуальне з'єднання з іншим абонентом, повинен передати в мережу по каналу D повідомлення SETUP, яке має декілька параметрів, у тому числі:

- DLCI;
- адресу призначення (в форматі E.164, X.121 або ISO 7498);
- максимальний розмір кадру в даному віртуальному з'єднанні;
- запитуване значення CIR для двох напрямлень;
- запитуване значення Vs для двох напрямлень;
- запитуване значення Ve для двох напрямлень.

Комутатор, з яким з'єднаний користувач, відразу ж передає користувачеві пакет CALL PROCEEDING - виклик обробляється. Потім він аналізує параметри, зазначені в пакеті, і якщо комутатор може їх задовольнити (маючи, звичайно, інформацією про те, які віртуальні канали на кожному порту він уже підтримує), то пересилає повідомлення SETUP наступного комутатора. Наступний комутатор вибирається по таблиці маршрутизації. Протокол автоматичного складання таблиць маршрутизації для технології frame relay не визначений, тому може використовуватися фірмовий протокол виробника устаткування або ж ручне складання таблиці. Якщо всі комутатори на шляху до кінцевого вузла згодні прийняти запит, то пакет SETUP передається в кінцевому рахунку абоненту. Абонент негайно передає в мережу пакет CALL PROCEEDING і починає обробляти запит. Якщо запит приймається, то абонент передає в мережу новий пакет - CONNECT, який проходить у зворотному порядку по віртуальному шляху. Всі комутатори повинні відзначити, що даний віртуальний канал прийнятий абонентом. При надходженні повідомлення CONNECT абоненту він повинен передати в мережу пакет CONNECT ACKNOWLEDGE.

Мережа також повинна передати абоненту пакет CONNECT

ACKNOWLEDGE, і на цьому з'єднання вважається встановленим. По віртуальному каналу можуть передаватися дані.

Використання мереж frame relay

Послуги frame relay зазвичай надаються тими ж операторами, які експлуатують мережі X.25. Велика частина виробників випускає зараз комутатори, які можуть працювати як по протоколах X.25, так і по протоколам frame relay.

Технологія frame relay починає займати в територіальних мережах з комутацією пакетів ту ж нішу, яку зайняла в локальних мережах технологія Ethernet. Їх ріднить те, що вони надають тільки швидкі базові транспортні послуги, доставляючи кадри у вузол призначення без гарантій, дейтаграмним способом. Проте якщо кадри втрачаються, то мережа frame relay, як і мережа Ethernet, не робить ніяких зусиль для їх відновлення. Звідси випливає простий висновок - корисна пропускна здатність прикладних протоколів при роботі через мережі frame relay залежатиме від якості каналів і методів відновлення пакетів на рівнях стека, розташованого над протоколом frame relay. Якщо канали якісні, то кадри будуть губитися і спотворюватися рідко, так що швидкість відновлення пакетів протоколом TCP або NCP буде цілком прийнятна. Якщо ж кадри спотворюються і губляться часто, то корисна пропускна здатність в мережі frame relay може впасти в десятки разів, як це відбувається в мережах Ethernet при поганому стані кабельної системи.

Тому мережі frame relay слід застосовувати тільки при наявності на магістральних каналах волоконно-оптичних кабелів високої якості. Канали доступу можуть бути і на кручений парі, як це дозволяє інтерфейс G.703 або абонентське закінчення ISDN. Використовувана на каналах доступу апаратура передачі даних повинна забезпечити прийнятний рівень спотворення даних - не нижче 10^{-6} .

На величини затримок мережа frame relay гарантій не дає, і це основна

причина, яка стримує застосування цих мереж для передачі голосу. Передача відеозображення гальмується і іншою відмінністю мереж frame relay від АТМ - низькою швидкістю доступу в 2 Мбіт/с, що для передачі відео часто недостатньо.

Проте багато виробників обладнання для мереж frame relay підтримують передачу голосу. Підтримка пристроями доступу полягає в привласненні кадрам, що переносять виміри голосу, пріоритетів. Магістральні комутатори frame relay повинні обслуговувати такі кадри в першу чергу. Крім того, бажано, щоб мережа frame relay, що передає кадри з вимірами голосу, була недовантаженою. При цьому в комутаторах не виникають черги кадрів, і середні затримки в чергах близькі до нульових.

Необхідно також дотримання ще однієї умови для якісної передачі голосу - передавати виміри голосу необхідно в кадрах невеликих розмірів, інакше на якість будуть впливати затримки упаковки замірів в кадр, так звані затримки пакетизації, які більш докладно розглядаються в розділі, присвяченому технології АТМ.

Для стандартизації механізмів якісної передачі голосу через мережу frame relay випущена специфікація FRF.11. Проте в ній вирішені ще не всі проблеми передачі голосу, тому робота в цьому напрямку триває.

Зважаючи на переважання в комерційних мережах frame relay послуг постійних комутованих каналів і гарантованої пропускної здатності, ці мережі надають послуги, дуже схожі на послуги дробових виділених ліній T1/E1, але тільки за істотно меншу плату.

При використанні PVC мережа frame relay добре підходить для об'єднання локальних мереж за допомогою мостів, тому що в цьому випадку від моста не потрібна підтримка механізму встановлення віртуального каналу, що потребує деякого програмного «інтелекту». Міст може відправляти кадри протоколу Ethernet або FDDI безпосередньо в кадрах LAP-F або ж може використовувати

поверх протоколу LAP-F протокол PPP. Стандарт Internet RFC 1490 визначає формат заголовка SNAP для випадку передачі через мережу frame relay безпосередньо кадрів канального рівня.

Найчастіше доступ до мереж frame relay реалізують не віддалені мости, а маршрутизатори, які в разі підтримки на послідовних портах протоколу frame relay як основного називають пристроями доступу FRAD (хоча і міст, і будь-який пристрій, що підтримує протоколи UNI frame relay, відносяться до класу FRAD).

Так як мережі frame relay передають кадри з невеликими затримками, з їх допомогою часто передають трафік мереж SNA, особливо в тому випадку, коли вони використовують такі чутливі до затримок протоколи, як SDLC (фірмовий протокол канального рівня компанії IBM).

Віртуальні канали в якості основи побудови корпоративної мережі мають один недолік - при великій кількості точок доступу і змішаному характері зв'язків необхідна велика кількість віртуальних каналів, кожен з яких оплачується окремо. В мережах з маршрутизацією окремих пакетів, таких як TCP/IP, абонент платить тільки за кількість точок доступу, а не за кількість зв'язків між ними.

Комп'ютерний практикум № 3

ТЕХНОЛОГІЯ МЕРЕЖ АТМ.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Гетерогенність - невід'ємна якість будь-якої великої обчислювальної мережі, і на узгодження різнорідних компонентів системні інтегратори й адміністратори витрачають велику частину свого часу. Тому будь-який засіб, що

обіцяє перспективу зменшення неоднорідності мережі, приваблює пильний інтерес мережевих фахівців. Технологія асинхронного режиму передачі (Asynchronous Transfer Mode, ATM) розроблена як єдиний універсальний транспорт для нового покоління мереж з інтеграцією послуг, які називаються широкосмуговими мережами ISDN (Broadband-ISDN, B-ISDN).

За планами розробників одноманітність, що забезпечується ATM, буде полягати в тому, що одна транспортна технологія зможе забезпечити кілька перерахованих нижче особливостей.

- Передачу в рамках однієї транспортної системи комп'ютерного та мультимедійного (голос, відео) трафіку, чутливого до затримок, причому для кожного виду трафіку якість обслуговування буде відповідати його потребам.

- Ієрархію швидкостей передачі даних, від десятків мегабіт до декількох гигабіт в секунду з гарантованою пропускну здатністю для відповідальних додатків.

- Загальні транспортні протоколи для локальних і глобальних мереж.

- Збереження наявної інфраструктури фізичних каналів або фізичних протоколів:

T1/E1, T3 / E3, SDH STM-n, FDDI.

- Взаємодія з успадкованими протоколами локальних і глобальних мереж: IP, SNA, Ethernet, ISDN.

Головна ідея технології асинхронного режиму передачі була висловлена досить давно - цей термін ввела лабораторія Bell Labs ще в 1968 році. Основною розробленою технологією тоді була технологія TDM з синхронними методами комутації, заснованими на порядковому номері байта в об'єднаному кадрі. Головний недолік технології TDM, яку також називають технологією синхронної передачі STM (Synchronous Transfer Mode), полягає в неможливості перерозподіляти пропускну здатність об'єданого каналу між підканалами. У ті

періоди часу, коли по підканалі не передаються дані користувача, об'єднаний канал все одно передає байти цього підканалу, заповнені нулями.

Спроби завантажити періоди простою підканалів призводять до необхідності введення заголовка для даних кожного підканалу. У проміжній технології STDM (Statistical TDM), яка дозволяє заповнювати періоди простою передачею пульсацій трафіку інших підканалів, дійсно вводяться заголовки, які містять номер підканалу. Дані при цьому оформляються в пакети, схожі за структурою на пакети комп'ютерних мереж. Наявність адреси у кожного пакета дозволяє передавати його асинхронно, так як місце розташування його відносно даних інших підканалів вже не є його адресою. Асинхронні пакети одного підканалу вставляються у вільні тайм - слоти іншого підканалу, але не змішуються з даними цього підканалу, так як мають власну адресу.

Технологія АТМ поєднує в собі підходи двох технологій - комутації пакетів і комутації каналів. Від першої вона взяла на озброєння передачу даних у вигляді адресованих пакетів, а від другої - використання пакетів невеликого фіксованого розміру, в результаті чого затримки в мережі стають більш передбачуваними. За допомогою техніки віртуальних каналів, попереднього замовлення параметрів якості обслуговування каналу і пріоритетного обслуговування віртуальних каналів з різною якістю обслуговування вдається домогтися передачі в одній мережі різних типів трафіку без дискримінації. Хоча мережі ISDN також розроблялася для передачі різних видів трафіку в рамках однієї мережі, голосовий трафік явно був для розробників більш пріоритетним. Технологія АТМ з самого початку розроблялася як технологія, здатна обслуговувати всі види трафіку відповідно до їх вимог.

Служби верхніх рівнів мережі В-ISDN повинні бути приблизно такими ж, що й у мережі ISDN

Це передача факсів, розповсюдження телевізійного зображення, голосова пошта, електронна пошта, різні інтерактивні служби, наприклад, проведення

відеоконференцій. Високі швидкості технології АТМ створюють набагато більше можливостей для служб верхнього рівня, які не могли бути реалізовані мережами ISDN - наприклад, для передачі кольорового телевізійного зображення необхідна смуга пропускання в районі 30 Мбіт/с. Технологія ISDN таку швидкість підтримати не може, а для АТМ вона не становить великих проблем.

Розробку стандартів АТМ здійснює група організацій під назвою АТМ Forum під егідою спеціального комітету IEEE, а також комітети ITU-T і ANSI. АТМ - це дуже складна технологія, що вимагає стандартизації в самих різних аспектах, тому, хоча основне ядро стандартів було прийнято в 1993 році, робота зі стандартизації активно продовжується. Оптимізм вселяє той факт, що в АТМ Forum беруть участь практично всі зацікавлені сторони - виробники телекомунікаційного обладнання, виробники обладнання локальних мереж, оператори телекомунікаційних мереж і мережеві інтегратори. До широкого розповсюдження технології АТМ за оцінками фахівців повинно пройти ще 5-10 років. Такий прогноз пов'язаний не тільки з відсутністю повного набору прийнятих стандартів, але і з неможливістю швидкої заміни вже встановленого дорогого обладнання, яке хоча і не так добре, як хотілося б, але все ж справляється зі своїми обов'язками. Крім того, багато чого ще потрібно зробити в галузі стандартизації взаємодії АТМ з існуючими мережами, як комп'ютерними, так і телефонними.

Основні принципи технології АТМ

Мережа АТМ має класичну структуру великої територіальної мережі - кінцеві станції з'єднуються індивідуальними каналами з комутаторами нижнього рівня, які в свою чергу з'єднуються з комутаторами більш високих рівнів. Комутатори АТМ користуються 20-байтними адресами кінцевих вузлів для маршрутизації трафіку на основі техніки віртуальних каналів. Для приватних

мереж ATM визначений протокол маршрутизації PNNI (Private NNI), за допомогою якого комутатори можуть будувати таблиці маршрутизації автоматично. У публічних мережах ATM таблиці маршрутизації можуть будуватися адміністраторами вручну, як і в мережах X.25, або можуть підтримуватися протоколом PNNI.

Комутація пакетів відбувається на основі ідентифікатора віртуального каналу (Virtual Channel Identifier, VCI), який призначається з'єднанню при його встановленні і знищується при розриві з'єднання. Адреса кінцевого вузла ATM, на основі якого прокладається віртуальний канал, має ієрархічну структуру, подібну номеру в телефонній мережі, і використовує префікси, відповідні кодам країн, міст, мережам постачальників послуг і т. п., що спрощує маршрутизацію запитів встановлення з'єднання, як і при використанні агрегованих IP-адрес у відповідності з технікою CIDR.

Віртуальні з'єднання можуть бути постійними (Permanent Virtual Circuit, PVC) і комутованими (Switched Virtual Circuit, SVC). Для прискорення комутації у великих мережах використовується поняття віртуального шляху - Virtual Path, який об'єднує віртуальні канали, що мають у мережі ATM загальний маршрут між вихідним і кінцевим вузлами або загальну частину маршруту між деякими двома комутаторами мережі. Ідентифікатор віртуального шляху (Virtual Path Identifier, VPI) є старшою частиною локальної адреси і являє собою загальний префікс для деякої кількості різних віртуальних каналів. Таким чином, ідея агрегування адресів в технології ATM застосована на двох рівнях - на рівні адресів кінцевих вузлів (працює на стадії встановлення віртуального каналу) і на рівні номерів віртуальних каналів (працює при передачі даних по наявному віртуального каналу).

З'єднання кінцевої станції ATM з комутатором нижнього рівня визначаються стандартом UNI (User Network Interface). Специфікація UNI визначає структуру пакета, адресацію станцій, обмін керуючою інформацією,

рівні протоколу АТМ, способи встановлення віртуального каналу і способи управління трафіком. В даний час прийнята версія UNI 4.0, але найбільш поширеною версією, підтримуваної виробниками обладнання, є версія UNI 3.1.

Стандарт АТМ не вводить свої специфікації на реалізацію фізичного рівня. Тут він ґрунтується на технології SDH / SONET, приймаючи її ієрархію швидкостей. Відповідно до цього початкова швидкість доступу користувача мережі - це швидкість OC-3/155 Мбіт/с. Організація АТМ Forum визначила для АТМ не всі ієрархії швидкостей SDH, а тільки швидкості OC-3 і OC-12 (622 Мбіт/с). На швидкості 155 Мбіт/с можна використовувати не тільки волоконно-оптичний кабель, але і неекрановану виту пару категорії 5. На швидкості 622 Мбіт/с допустимий тільки волоконно-оптичний кабель, причому як SMF, так і MMF.

Є й інші фізичні інтерфейси до мереж АТМ, відмінні від SDH/SONET. До них відносяться інтерфейси T1/E1 і T3/E3, поширені в глобальних мережах, і інтерфейси локальних мереж - інтерфейс з кодуванням 4B/5B зі швидкістю 100 Мбіт/с (FDDI) і інтерфейс зі швидкістю 25 Мбіт/с, запропонований компанією IBM і затверджений АТМ Forum. Крім того, для швидкості 155,52 Мбіт/с визначений так званий «cell-based» фізичний рівень, тобто рівень, заснований на осередках, а не на кадрах SDH/SONET. Цей варіант фізичного рівня не використовує кадри SDH/SONET, а відправляє по каналу зв'язку безпосередньо осередки формату АТМ, що скорочує накладні витрати на службові дані, але трохи ускладнює завдання синхронізації приймача з передавачем на рівні осередків.

Всі перераховані вище характеристики технології АТМ не свідчать про те, що це якась «особлива» технологія, а швидше представляють її як типову технологію глобальних мереж, засновану на техніці віртуальних каналів. Особливості ж технології АТМ лежать в області якісного обслуговування різноманітного трафіку і пояснюються прагненням вирішити задачу поєднання в

одних і тих же каналах зв'язку і в одному і тому ж комунікаційному обладнанні комп'ютерного та мультимедійного трафіку таким чином, щоб кожен тип трафіку отримав необхідний рівень обслуговування і не розглядалося як «Другорядне».

Трафік обчислювальних мереж має яскраво виражений асинхронний і пульсуючий характер. Комп'ютер посилає пакети в мережу у випадкові моменти часу, в міру виникнення в цьому необхідності. При цьому інтенсивність посилки пакетів в мережу і їх розмір можуть змінюватися в широких межах - наприклад, коефіцієнт пульсацій трафіку (відносини максимальної миттєвої інтенсивності трафіку до його середньої інтенсивності) протоколів без встановлення з'єднань може доходити до 200, а протоколів з встановленням сполук - до 20. Чутливість комп'ютерного трафіку до втрат даних висока, так як без втрачених даних обійтися не можна і їх необхідно відновити за рахунок повторної передачі.

Мультимедійний трафік, що передає, наприклад, голос або зображення, характеризується низьким коефіцієнтом пульсацій, високою чутливістю до затримок передачі даних (що відбиваються на якості відтворюваного безперервного сигналу) і низькою чутливістю до втрат даних (через інерційності фізичних процесів втрату окремих вимірів голосу або кадрів зображення можна компенсувати згладжуванням на основі попередніх і наступних значень).

Складність суміщення комп'ютерного та мультимедійного трафіку з діаметрально протилежними характеристиками добре видно на рис. 3.1.

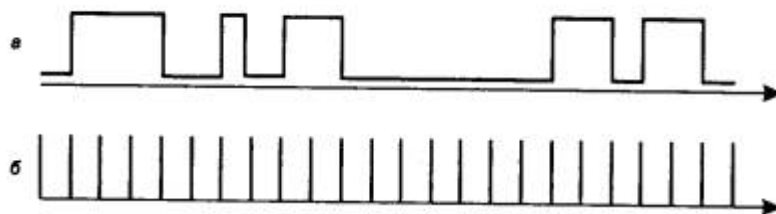


Рис.3.1. Два типа трафіку: а – комп'ютерний, б – мультимедійний

На можливості суміщення цих двох видів трафіку великий вплив має розмір комп'ютерних пакетів. Якщо розмір пакета може змінюватися в широкому діапазоні (наприклад, від 29 до 4500 байт, як в технології FDDI), то навіть при доданні голосовим пакетам вищого пріоритету обслуговування в комутаторах час очікування комп'ютерного пакета може виявитися неприпустимо високим. Наприклад, пакет в 4500 байт передаватиметься у вихідний порт на швидкості 2 Мбіт/с (максимальна швидкість роботи порту комутатора frame relay) 18 мс. При суміщенні трафіку за цей час необхідно через цей же порт передати 144 виміру голосу. Переривати передачу пакета в мережах небажано, так як при розподіленому характері мережі накладні витрати на сповіщення сусіднього комутатора про переривання пакета, а потім - про поновлення передачі пакету з перерваного місця виявляються занадто великими.

Підхід, реалізований в технології АТМ, полягає у передачі будь-якого виду трафіку - комп'ютерного, телефонного або відео - пакетами фіксованої і дуже маленької довжини в 53 байти. Пакети АТМ називають комірками - cell. Поле даних комірок займає 48 байт, а заголовок - 5 байт.

Щоб пакети містили адресу вузла призначення і в той же час відсоток службової інформації не перевищував розмір поля даних пакету, в технології АТМ застосований стандартний для глобальних обчислювальних мереж прийом – передача комірки у відповідності з технікою віртуальних каналів з довжиною номера віртуального каналу в 24 біт, що цілком достатньо для обслуговування великої кількості віртуальних з'єднань кожним портом комутатора глобальної (може бути всесвітньої) мережі АТМ.

Розмір комірки АТМ є результатом компромісу між телефоністами і комп'ютерщиками - перші наполягали на розмірі поля даних в 32 байта, а другі - в 64 байта.

Чим менше пакет, тим легше імітувати послуги каналів з постійною бітовою швидкістю, яка характерна для телефонних мереж. Ясно, що при відмові від жорстко синхронізованих тимчасових слотів для кожного каналу ідеальної синхронності домогтися буде неможливо, проте чим менше розмір пакета, тим легше цього досягнути.

Для пакета, що складається з 53 байт, при швидкості в 155 Мбіт/с час передачі кадру на вихідний порт складає менше 3 мкс. Так що ця затримка не дуже істотна для трафіку, пакети якого повинні передаватися кожні 125 мкс.

Однак на вибір розміру комірки більший вплив справила не величина очікування передачі комірки, а затримка пакетизації. Затримка пакетизації - це час, протягом якого перший замір голосу чекає моменту остаточного формування пакета і відправки його по мережі. При розмірі поля даних у 48 байт одна комірка АТМ звичайно переносить 48 вимірів голосу, які робляться з інтервалом в 125 мкс. Тому перший замір повинен чекати приблизно 6 мс, перш ніж комірка буде відправлена по мережі. Саме з цієї причини телефоністи боролися за зменшення розміру комірки, так як 6 мс - це затримка, близька до межі, за яким починаються порушення якості передачі голосу. При виборі розміру комірки в 32 байта затримка пакетизації становила б 4 мс, що гарантувало б більш якісну передачу голосу. А прагнення комп'ютерних фахівців збільшити поле даних до 64 байт цілком зрозуміло - при цьому підвищується корисна швидкість передачі даних. Надмірність службових даних при використанні 48-байтного поля даних складає 10%, а при використанні 32-байтного поля даних вона відразу підвищується до 16%.

Вибір для передачі даних будь-якого типу невеликої комірки фіксованого розміру ще не вирішує задачу суміщення різноманітного трафіку в одній мережі, а лише створює передумови для її вирішення. Для повного вирішення цього завдання технологія АТМ приваблює і розвиває ідеї замовлення пропускну здатності та якості обслуговування, реалізовані в технології frame relay. Але

якщо мережа frame relay споконвічно була призначена для передачі тільки пульсуючого комп'ютерного трафіка (у зв'язку з цим для мереж frame relay так важко дається стандартизація передачі голосу), то розробники технології АТМ проаналізували всілякі зразки трафіку, створювані різними додатками, і виділили 4 основні класи трафіку, для яких розробили різні механізми резервування і підтримки необхідної якості обслуговування.

Клас трафіку (званий також класом послуг - service class) якісно характеризує необхідні послуги з передачі даних через мережу АТМ. Якщо програма вказує мережі, що потрібно, наприклад, передача голосового трафіку, то з цього стає ясно, що особливо важливими для користувача будуть такі показники якості обслуговування, як затримки і варіації затримок комірок, які суттєво впливають на якість переданої інформації - голоси або зображення, а втрата окремої комірки з декількома вимірами не так вже й важлива, так як, наприклад, що відтворює голос пристрій може апроксимувати відсутні виміри і якість постраждає не сильно. Вимоги до синхронності переданих даних дуже важливі для багатьох додатків - не тільки голосу, але і відеозображення, і наявність цих вимог стало першим критерієм для поділу трафіку на класи.

Іншим важливим параметром трафіку, що істотно впливає на спосіб його передачі через мережу, є величина його пульсацій. Розробники технології АТМ вирішили виділити два різних типи трафіку у відношенні цього параметру - трафік з постійною бітовою швидкістю (Constant Bit Rate, CBR) і трафік зі змінною бітовою швидкістю (Variable Bit Rate, VBR).

До різних класів були віднесені трафіки, породжувані додатками, які використовують для обміну повідомленнями протоколи з встановленням з'єднань і без встановлення з'єднань. У першому випадку дані передаються самим додатком досить надійно, як його зазвичай роблять протоколи з встановленням з'єднання, тому від мережі АТМ високої надійності передачі не потрібно. А в другому випадку додаток працює без встановлення з'єднання і

відновленням втрачених і спотворених даних не займається, що висуває підвищені вимоги до надійності передачі комірок мережею АТМ.

В результаті було визначено п'ять класів трафіку, що відрізняються наступними якісними характеристиками:

- наявністю або відсутністю пульсації трафіку, тобто трафіки CBR або VBR;
- вимогою до синхронізації даних проміжній сторонами;
- типом протоколу, що передає свої дані через мережу АТМ, - з встановленням з'єднання або без встановлення з'єднання (тільки для випадку передачі комп'ютерних даних). Основні характеристики класів трафіку АТМ наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Класи трафіку АТМ

Клас трафіку	Характеристика
А	Постійна бітова швидкість – Constant Bit Rate, CBR. Потрібні часові співвідношення між переданими і прийнятими даними. З встановленням з'єднання. Приклади: голосовий трафік, трафік телевізійного зображення.
В	Змінна бітова швидкість – Variable Bit Rate, VBR. Потрібні часові співвідношення між переданими і прийнятими даними. З встановленням з'єднання. Приклади: скомпресований голос, скомпресоване відео зображення.
С	Змінна бітова швидкість – Variable Bit Rate, VBR. Не потрібні часові співвідношення між переданими і прийнятими даними. З встановленням з'єднання. Приклади: трафік комп'ютерних мереж, в яких кінцеві вузли працюють по протоколах з встановленням з'єднання: Frame relay, X.25, LLC2, TCP
Д	Змінна бітова швидкість – Variable Bit Rate, VBR. Не потрібні часові співвідношення між переданими і прийнятими даними. Без встановлення з'єднання. Приклади: трафік комп'ютерних мереж, в яких кінцеві вузли

	працюють по протоколаї без встановлення з'єднання (IP, Ethernet DNS, SNMP)
X	Тип трафіку и його параметри визначаються користувачем

Очевидно, що тільки якісних характеристик, що задаються класом трафіку, для опису необхідних послуг виявляється недостатньо. У технології АТМ для кожного класу трафіку визначений набір кількісних параметрів, які додаток повинен задати. Наприклад, для трафіку класу А необхідно вказати постійну швидкість, з якою додаток буде посилати дані в мережу, а для трафіку класу В - максимально можливу швидкість, середню швидкість і максимально можливу пульсацію. Для голосового трафіку можна не тільки вказати на важливість синхронізації між передавачем і приймачем, але і кількісно задати верхні межі затримки і варіації затримки осередків.

У технології АТМ підтримується наступний набір основних кількісних параметрів:

- Peak Cell Rate (PCR) - максимальна швидкість передачі даних;
- Sustained Cell Rate (SCR) - середня швидкість передачі даних;
- Minimum Cell Rate (MCR) - мінімальна швидкість передачі даних;
- Maximum Burst Size (MBS) - максимальний розмір пульсації;
- Cell Loss Ratio (CLR) - частка втрачених осередків;
- Cell Transfer Delay (CTD) - затримка передачі осередків;
- Cell Delay Variation (CDV) - варіація затримки осередків.

Параметри швидкості вимірюються в осередках в секунду, максимальний розмір пульсації - в комірках, а тимчасові параметри - в секундах. Максимальний розмір пульсації задає кількість осередків, яке додаток може передати з максимальною швидкістю PCR, якщо задана середня швидкість. Частка втрачених осередків є відношенням втрачених осередків до загальної кількості відправлених осередків по даному віртуальному з'єднанню. Так як

віртуальні з'єднання є дуплексним, то для кожного напрямку з'єднання можуть бути задані різні значення параметрів.

У технології ATM прийнятий не зовсім традиційний підхід до трактування терміна «якість обслуговування» - QoS. Зазвичай якість обслуговування трафіку характеризується параметрами пропускної здатності (тут це RCR, SCR, MCR, MBS), параметрами затримок пакетів (CTD і CDV), а також параметрами надійності передачі пакетів (CLR). В ATM характеристики пропускної здатності називають параметрами трафіку і не включають їх в число параметрів якості обслуговування QoS, хоча по суті вони такими є. Параметрами QoS в ATM є тільки параметри CTD, CDV і CLR. Мережа намагається забезпечити такий рівень послуг, щоб підтримувалися необхідні значення і параметрів трафіку, і затримок комірок, і частки втрачених осередків.

Угода між додатком і мережею ATM називається трафік - контрактом. Основним його відмінністю від угод, що застосовуються в мережах frame relay, є вибір одного з декількох певних класів трафіку, для якого поряд з параметрами пропускної здатності трафіку можуть зазначатися параметри затримок комірок, а також параметр надійності доставки осередків. У мережі frame relay клас трафіку один, і він характеризується тільки параметрами пропускної здатності.

Необхідно підкреслити, що завдання тільки параметрів трафіку (разом з параметрами QoS) часто не повністю характеризує необхідну послугу, тому завдання класу трафіку корисно для уточнення потрібного характеру обслуговування даного з'єднання мережею.

В деяких випадках специфіка програми така, що її графік не може бути віднесений до одного з чотирьох стандартних класів. Тому для цього випадку введений ще один клас X, який не має ніяких додаткових описів, а повністю визначається тими кількісними параметрами трафіку і QoS, які обумовлюються в трафік - контракті.

Якщо для програми не критично підтримання параметрів пропускну́ї здатності і QoS, то воно може відмовитися від завдання цих параметрів, вказавши ознака «Best Effort» в запиті на встановлення з'єднання. Такий тип трафіку отримав назву трафіку з невизначеною бітовою швидкістю - Unspecified Bit Rate, UBR.

Після укладення трафік - контракту, який відноситься до певного віртуальному з'єднанню, у мережі АТМ працює кілька протоколів і служб, що забезпечують потрібну якість обслуговування. Для трафіку UBR мережа виділяє ресурси «по можливості», тобто ті, які в даний момент вільні від використання віртуальними з'єднаннями, замовити певні параметри якості обслуговування.

Технологія АТМ спочатку розроблялася для підтримки як постійних, так і комутованих віртуальних каналів (на відміну від технології frame relay, довгий час не підтримує комутовані віртуальні канали). Автоматичний висновок трафік-контракту при встановленні комутованого віртуального з'єднання являє собою дуже непросту задачу, так як комутаторів АТМ необхідно визначити, чи зможуть вони надалі забезпечити передачу трафіку даного віртуального каналу поряд з трафіком інших віртуальних каналів таким чином, щоб виконувалися вимоги якості обслуговування кожного каналу .

Стек протоколів АТМ

Стек протоколів АТМ зображений на рис 3.2, а розподіл протоколів за кінцевим вузлам і комутаторів АТМ - на рис. 3.2.

Верхні рівні мережі

Рівні адаптації АТМ (AAL 1-5)	Пірівень конвергенції (CS)	Загальна частина підрівня конвергенції
		Специфічна для сервісу частина
Підрівень сегментації і реасемблювання (SAR)		

Рівень АТМ (маршрутизація пакетів, мультиплексування, управління потоком, обробка пріоритетів)	
Фізичний рівень	Підрівень узгодження передачі
	Підрівень, який залежить від фізичного середовища

Рис. 3.2. Структура стеку протоколів АТМ

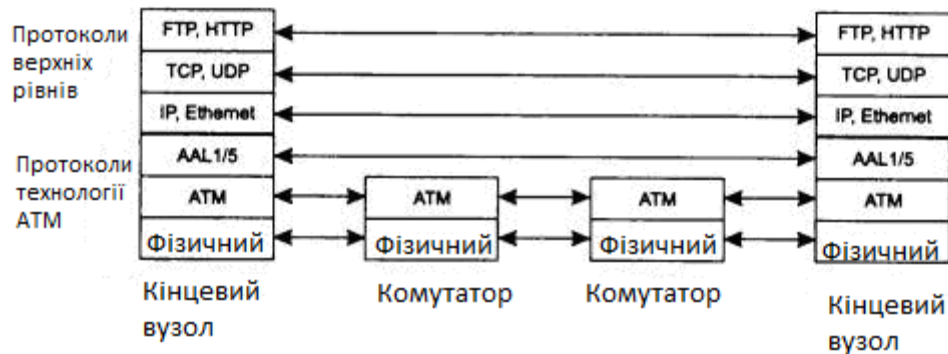


Рис.3.3. Розподіл протоколів по вузлах і комутатораї мережі АТМ

Стек протоколів АТМ відповідає нижнім рівнями семиурівневої моделі ISO / OSI і включає рівень адаптації АТМ, власне рівень АТМ і фізичний рівень. Прямої відповідності між рівнями протоколів технології АТМ і рівнями моделі OSI немає.

Рівень адаптації ААЛ

Рівень адаптації (ATM Adaptation Layer, AAL) являє собою набір протоколів AAL1-AAL5, які перетворюють повідомлення протоколів верхніх рівнів мережі АТМ в осередку АТМ потрібного формату. Функції цих рівнів досить умовно відповідають функціям транспортного рівня моделі OSI, наприклад, функцій протоколів TCP або UDP. Протоколи ААЛ при передачі користувальницької трафіку працюють тільки в кінцевих вузлах мережі (див. рис. 6.31), як і транспортні протоколи більшості технологій.

Кожен протокол рівня AAL обробляє трафік певного класу. На початкових етапах стандартизації кожному класу трафіку відповідав свій протокол AAL, який брав у кінцевому вузлі пакети від протоколу верхнього рівня і замовляв за допомогою відповідного протоколу потрібні параметри трафіку та якості обслуговування для даного віртуального каналу. При розвитку стандартів ATM таке однозначне відповідність між класами трафіку і протоколами рівня AAL зникло, і сьогодні дозволяється використовувати для одного і того ж класу трафіку різні протоколи рівня AAL.

Рівень адаптації складається з декількох підрівнів. Нижній підрівень AAL називається підрівнем сегментації та реасемблювання (Segmentation And Reassembly, SAR). Ця частина не залежить від типу протоколу AAL (і, відповідно, від класу переданого трафіку) і займається розбивкою (сегментацією) повідомлення, прийнятого AAL of протоколу верхнього рівня, на комірки ATM, постачанням їх відповідним заголовком і передачею рівню ATM для відправки в мережу.

Верхній підрівень AAL називається підрівнем конвергенції - Convergence Sublayer, CS. Цей підрівень залежить від класу переданого трафіку. Протокол підрівня конвергенції вирішує такі завдання, як, наприклад, забезпечення тимчасової синхронізації між передаючим і приймаючі вузлами (для трафіку, що вимагає такої синхронізації), контролем і можливим відновленням бітових помилок в інформації користувача, контролем цілісності переданого пакета комп'ютерного протоколу (X.25, frame relay).

Протоколи AAL для виконання своєї роботи використовують службову інформацію, що розміщується в заголовках рівня AAL. Після прийому комірок, які прийшли по віртуальному каналу, підрівень SAR протоколу AAL збирає послане по мережі вихідне повідомлення (яке в загальному випадку було розбито на кілька комірок ATM) за допомогою заголовків AAL, які для комутаторів ATM є прозорими, тому що поміщаються в 48-бітному полі даних

комірки, як і годиться протоколу вищого рівня. Після складання вихідного повідомлення протокол AAL перевіряє службові поля заголовка і кінцевика кадру AAL і на їх підставі приймає рішення про коректність отриманої інформації.

Жоден з протоколів AAL при передачі даних користувача кінцевих вузлів не займається відновленням втрачених або перекручених даних. Максимум, що робить протокол AAL, - це повідомляє кінцевий вузол про таку подію. Так зроблено для прискорення роботи комутаторів мережі ATM в розрахунку на те, що випадки втрат або викривлення даних будуть рідкісними. Відновлення втрачених даних (або ігнорування цієї події) відводиться протоколами верхніх рівнів, що не входять в стек протоколів технології ATM.

Протокол AAL1 зазвичай обслуговує трафік класу А з постійною бітовою швидкістю (Constant Bit Rate, CBR), який характерний, наприклад, для цифрового відео та цифрового мовлення та чутливий до тимчасових затримок. Цей трафік передається в мережах ATM таким чином, щоб емулювати звичайні виділені цифрові лінії. Тема AAL1 займає в поле даних осередку ATM 1 або 2 байти, залишаючи для передачі призначених для користувача даних відповідно 47 або 46 байт. У заголовку один байт відводиться для нумерації осередків, щоб приймальня сторона могла судити про те, чи всі надіслані осередку дійшли до неї чи ні. При відправці голосового трафіку тимчасова відмітка кожного виміру відома, так як вони слідуєть один за одним з інтервалом в 125 мкс, тому при втраті комірки можна скорегувати тимчасову прив'язку байт наступної комірки, зсунувши її на 125x46 мкс. Втрата кількох байт вимірів голосу не так страшна, так як на приймальній стороні відтворювальне обладнання згладжує сигнал. У завданні протоколу AAL1 входить згладжування нерівномірності надходження комірок даних у вузол призначення.

Протокол AAL2 був розроблений для передачі трафіку класу В, але при розвитку стандартів він був виключений з стека протоколів АТМ, і сьогодні трафік класу В передається за допомогою протоколу AAL1, AAL3/4 або AAL5.

Протокол AAL3 / 4 обробляє пульсуючий трафік - зазвичай характерний для трафіку локальних мереж - із змінною бітовою швидкістю (Variable Bit Rate, VBR). Цей трафік обробляється так, щоб не допустити втрат комірок, але комірки можуть затримуватися комутатором. Протокол AAL3 / 4 виконує складну процедуру контролю помилок при передачі комірок, нумеруючи кожен складову частину вихідного повідомлення і постачаючи кожен клітинку контрольною сумою. Правда, при спотвореннях або втраті комірок рівень не займається їх відновленням, а просто відкидає всі повідомлення - тобто все, що залишили комірки, так як для комп'ютерного трафіку або компресированного голоси втрата частини даних є фатальною помилкою. Протокол AAL3 / 4 утворився в результаті злиття протоколів AAL3 і AAL4, які забезпечували підтримку трафіку комп'ютерних мереж відповідно з встановленням з'єднання і без встановлення з'єднання. Однак через велику близькості використовуваних форматів службових заголовків і логіки роботи протоколи AAL3 і AAL4 були згодом об'єднані.

Протокол AAL5 є спрощеним варіантом протоколу AAL4 і працює швидше, так як обчислює контрольну суму не для кожної комірки повідомлення, а для всього вихідного повідомлення в цілому і поміщає її в останню клітинку повідомлення. Спочатку протокол AAL5 розроблявся для передачі кадрів мереж frame relay, але тепер він найчастіше використовується для передачі будь-якого комп'ютерного трафіку. Протокол AAL5 може підтримувати різні параметри якості обслуговування, крім тих, які пов'язані з синхронізацією передавальної та приймаючої сторін. Тому він зазвичай використовується для підтримки всіх класів трафіку, що відноситься до передачі комп'ютерних даних, тобто класів С і D. Деякі виробники обладнання за

допомогою протоколу AAL5 обслуговують трафік CBR, залишаючи завдання синхронізації трафіку протоколами верхнього рівня.

Протокол AAL5 працює не тільки в кінцевих вузлах, але і в комутаторах мережі ATM. Однак там він виконує службові функції, не пов'язані з передачею даних користувача. У комутаторах ATM, протокол AAL5 підтримує службові протоколи більш високих рівнів, що займаються встановленням комутованих віртуальних з'єднань.

Існує певний інтерфейс між додатком, якому потрібно надіслати трафік через мережу ATM, і рівнем адаптації AAL. За допомогою цього інтерфейсу додаток (протокол комп'ютерної мережі, модуль оцифрування голоси) замовляє необхідну послугу, визначаючи тип трафіку, його параметри, а також параметри QoS. Технологія ATM допускає два варіанти визначення параметрів QoS: перший - безпосереднє завдання їх кожним додатком, другий - призначення їх за замовчуванням в залежності від типу трафіку. Останній спосіб спрощує задачу розробника програми, так як в цьому випадку вибір максимальних значень затримки доставки комірок і варіації затримок перекладається на плечі адміністратора мережі.

Самостійно забезпечити необхідні параметри трафіку і QoS протоколи AAL не можуть. Для виконання угод трафік - контракту потрібно злагоджена робота комутаторів мережі вздовж усього віртуального з'єднання. Ця робота виконується протоколом ATM, що забезпечує передачу комірок різних віртуальних з'єднань із заданим рівнем якості обслуговування.

Протокол ATM

Протокол ATM займає в стеку протоколів ATM приблизно те ж місце, що протокол IP в стеці TCP/IP або протокол LAP-F в стеку протоколів технології frame relay. Протокол ATM займається передачею комірок через комутатори при встановленому і налаштованому віртуальному з'єднанні, тобто на підставі

готових таблиць комутації портів. Протокол АТМ виконує комутацію за номером віртуального з'єднання, який в технології АТМ розбитий на дві частини - ідентифікатор віртуального шляху (*Virtual Path Identifier, VPI*) і ідентифікатор віртуального каналу (*Virtual Channel Identifier, VCI*). Крім цієї основної задачі протокол АТМ виконує ряд функцій по контролю за дотриманням трафік - контракту з боку користувача мережі, маркуванню осередків-порушників, відкидання осередків-порушників при перевантаженні мережі, а також управлінню потоком осередків для підвищення продуктивності мережі (природно, при дотриманні умов трафік - контракту для всіх віртуальних з'єднань).

Протокол АТМ працює з комірками наступного формату, представленого на рис. 3.4.

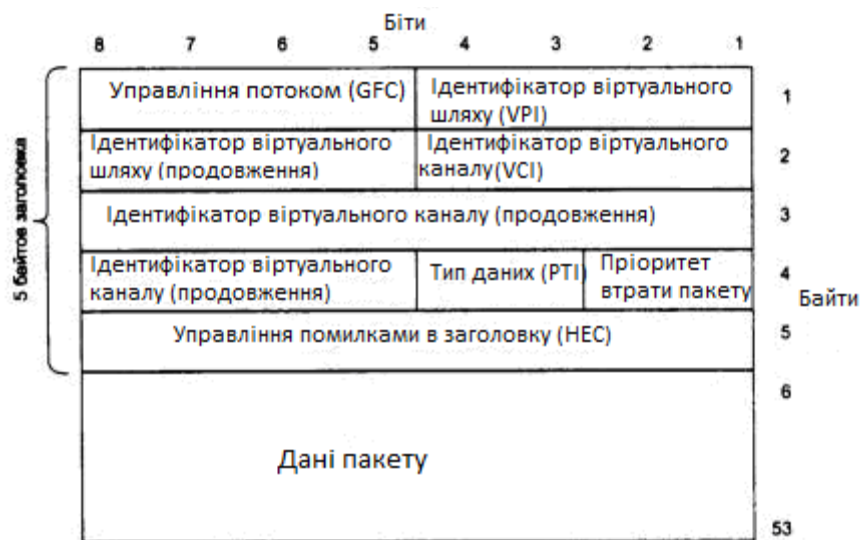


Рис. 3.4. Формат комірки АТМ

Поле *Керування потоком (Generic Flow Control)* використовується тільки при взаємодії кінцевого вузла і першого комутатора мережі. В даний час його точні функції не визначені.

Поля *Ідентифікатор віртуального шляху (Virtual Path Identifier, VPI)* і *Ідентифікатор віртуального каналу (Virtual Channel Identifier, VCI)* займають

відповідно 1 і 2 байти. Ці поля задають номер віртуального з'єднання, розділений на старшу (VPI) і молодшу (VCI) частини.

Поле *Ідентифікатор типу даних (Payload Type Identifier, PTI)* складається з 3-х біт і задає тип даних, які переносяться коміркою, - призначені для користувача або керуючі (наприклад, керуючі встановленням віртуального з'єднання). Крім того, один біт цього поля використовується для вказівки перевантаження в мережі - він називається *Explicit Congestion Forward Identifier, EFCI* - і грає ту ж роль, що біт FECN в технології frame relay, тобто передає інформацію про перевантаження у напрямку потоку даних.

Поле *Пріоритет втрати кадру (Cell Loss Priority, CLP)* грає в даній технології ту ж роль, що і поле DE в технології frame relay - у ньому комутатори АТМ відзначають осередки, які порушують угоди про параметри якості обслуговування, щоб видалити їх при перевантаженнях мережі. Таким чином, осередку з $CLP = 0$ є для мережі високопріоритетних, а комірки з $CLP = 1$ - низькопріоритетним.

Поле *Управління помилками в заголовку (Header Error Control, HEC)* містить контрольну суму, обчислену для заголовка комірки. Контрольна сума обчислюється за допомогою техніки коригувальних кодів Хеммінга, тому вона дозволяє не тільки виявляти помилки, але й виправляти всі одиночні помилки, а також деякі подвійні. Поле HEC забезпечує не тільки виявлення і виправлення помилок у заголовку, але і знаходження кордону початку кадру в потоці байтів кадрів SDH, які є кращим фізичним рівнем технології АТМ, або ж у потоці біт фізичного рівня, заснованого на комірках. Показчиків, що дозволяють в поле даних кадру STS-n (STM-n) технології SONET / SDH виявляти кордону осередків АТМ (подібних тим вказівникам, які використовуються для визначення, наприклад, меж віртуальних контейнерів підканалов T1/E1), не існує. Тому комутатор АТМ обчислює контрольну суму для послідовності з 5 байт, що знаходяться в поле даних кадру STM-n, і, якщо обчислена контрольна

сума говорить про коректність заголовка комірки АТМ, перший байт стає границею комірки. Якщо ж це не так, то відбувається зрушення на один байт і операція продовжується. Таким чином, технологія АТМ виділяє асинхронний потік комірок АТМ в синхронних кадрах SDH або потоці біт фізичного рівня, заснованого на комірках.

Розглянемо методи комутації комірок АТМ на основі пари чисел VPI/VCI. Комутатори АТМ можуть працювати в двох режимах - комутації віртуального шляху і комутації віртуального каналу. В першому режимі комутатор виконує просування комірки тільки на підставі значення поля VPI, а значення поля VCI він ігнорує. Зазвичай так працюють магістральні комутатори територіальних мереж. Вони доставляють комірки з однієї мережі користувача в іншу на підставі тільки старшої частини номера віртуального каналу, що відповідає ідеї агрегування адресів. В результаті один віртуальний шлях відповідає цілому набору віртуальних каналів, комутованих як єдине ціле.

Після доставки комірки в локальну мережу АТМ її комутатори починають комутувати комірки із врахуванням як VPI, так і VCI, але при цьому їм вистачає для комутації тільки молодшої частини номера віртуального з'єднання, так що фактично вони працюють з VCI, залишаючи VPI без зміни. Останній режим називається режимом комутації віртуального каналу.

Для створення комутованого віртуального каналу в технології АТМ використовуються протоколи, не показані на рис. 6.30. Підхід тут аналогічний підходу в мережі ISDN - для встановлення з'єднання розроблений окремий протокол Q.2931, який вельми умовно можна віднести до мережевого рівня. Цей протокол багато в чому схожий на протоколи Q.931 та Q.933 (навіть номером), але в нього внесені, природно, зміни, пов'язані з наявністю декількох класів трафіку і додаткових параметрів якості обслуговування. Протокол Q.2931 спирається на досить складний протокол канального рівня SSCOP, який забезпечує надійну передачу пакетів Q.2931 в своїх кадрах. У свою чергу,

протокол SSCOP працює поверх протоколу AAL5, який необхідний для розбиття кадрів SSCOP на осередки ATM і складання цих осередків у кадри при доставці кадру SSCOP в комутатор призначення.

Віртуальні з'єднання, утворені за допомогою протоколу Q.2931, бувають симплексними (односпрямованим) і дуплексним.

Протокол Q.2931 дозволяє також встановлювати віртуальні з'єднання типу «один-до-одного» (point-to-point) і «один-до-багатьох» (point-to-multipoint). Перший випадок підтримується у всіх технологіях, заснованих на віртуальних каналах, а другий характерний для технології ATM і є аналогом мультівещання, але з одним провідним віщають вузлом. При встановленні з'єднання «один-до-багатьох» провідним вважається вузол, який є ініціатором цього з'єднання. Спочатку цей вузол встановлює віртуальне з'єднання всього з одним вузлом, а потім додає до з'єднання за допомогою спеціального виклику по одному новому члену. Ведучий вузол стає вершиною дерева з'єднання, а інші вузли - листям цього дерева. Повідомлення, які посилає ведучий вузол, беруть все листя з'єднання, але повідомлення, які посилає небудь лист (якщо з'єднання дуплексне), приймає тільки ведучий вузол.

Пакети протоколу Q.2931, призначені для встановлення комутованого віртуального каналу, мають ті ж назви і призначення, що і пакети протоколу Q.933, розглянуті вище при вивченні технології frame relay, але структура їх полів, природно, інша.

Адресою кінцевого вузла в комутаторах ATM є 20-байтний адрес. Ця адреса може мати різний формат, описуваний стандартом ISO 7498. При роботі в публічних мережах використовується адреса стандарту E.164, при цьому 1 байт становить AFI, 8 байт займає IDI - основна частина адреси E.164 (15 цифр телефонного номера), а інші 11 байт частини DSP (Domain Specific Part) розподіляються наступним чином.

- 4 байта займає поле старшої частини DSP - High-Order Domain Specific Part (HO-DSP), що має гнучкий формат і, по суті, представляє собою номер мережі ATM, який може ділитися на частини для агрегованої маршрутизації за протоколом PNNI, подібною тій, яка використовується в техніці CIDR для мереж IP.

- 6 байт займає поле ідентифікатора кінцевої системи - End System Identifier (ESI), яке має сенс MAC - адреси вузла ATM, причому формат його також відповідає формату MAC - адрес IEEE.

- 1 байт становить поле селектора, яке не використовується при встановленні віртуального каналу, а має для вузла локальне призначення.

При роботі в приватних мережах ATM зазвичай застосовується формат адреси, відповідний домену міжнародних організацій, причому в якості міжнародної організації виступає ATM Forum. В цьому випадку поле IDI займає 2 байта, які містять код ATM Forum, даний ISO, а структура решти DSP відповідає описаній вище за винятком того, що поле HO-DSP займає не 4, а 10 байт.

Адреса ESI присвоюється кінцевому вузлу на підприємстві-виробнику відповідно до правил IEEE, тобто 3 перших байта містять код підприємства, а інші три байти - порядковий номер, за унікальність якого відповідає дане підприємство.

Кінцевий вузол при підключенні до комутатора ATM виконує так звану процедуру реєстрації. При цьому кінцевий вузол повідомляє комутатора свій ESI - адреса, а комутатор повідомляє кінцевому вузлу старшу частину адреси, тобто номер мережі, в якій працює вузол.

Крім адресної частини пакет CALL SETUP протоколу Q.2931, за допомогою якого кінцевий вузол запитує встановлення віртуального з'єднання, включає також частини, що описують параметри трафіку і вимоги QoS. При надходженні такого пакета комутатор повинен проаналізувати ці параметри і

вирішити, чи достатньо у нього вільних ресурсів продуктивності для обслуговування нового віртуального з'єднання. Якщо так, то нове віртуальне з'єднання приймається і комутатор передає пакет CALL SETUP далі відповідно з адресою призначення і таблицею маршрутизації, а якщо ні, то запит відкидається.

Категорії послуг протоколу АТМ і керування трафіком

Для підтримання необхідної якості обслуговування різних віртуальних з'єднань і раціонального використання ресурсів в мережі на рівні протоколу АТМ реалізовано декілька служб, що надають послуги різних категорій (service categories) по обслуговуванню користувальницького трафіку. Ці служби є внутрішніми службами мережі АТМ, вони призначені для підтримки користувальницького трафіка різних класів спільно з протоколами ААL. Але на відміну від протоколів ААL, які працюють в кінцевих вузлах мережі, дані служби розподілені по всіх комутаторах мережі. Послуги цих служб розбиті на категорії, які в загальному відповідають класам трафіку, що надходить на вхід рівня ААL кінцевого вузла. Послуги рівня АТМ замовляються кінцевим вузлом через інтерфейс UNI за допомогою протоколу Q.2931 при встановленні віртуального з'єднання. Як і при зверненні до рівня ААL, при замовленні послуги необхідно вказати категорію послуги, а також параметри трафіку і параметри QoS. Ці параметри беруться з аналогічних параметрів рівня ААL або ж визначаються за умовчанням в залежності від категорії послуги.

Всього на рівні протоколу АТМ визначено п'ять категорій послуг, які підтримуються однойменними службами:

- CBR - послуги для трафіку з постійною бітовою швидкістю;
- rtVBR - послуги для трафіку зі змінною бітовою швидкістю, що вимагає дотримання середньої швидкості передачі даних і синхронізації джерела і приймача;

- nrtVBR - послуги для трафіку зі змінною бітовою швидкістю, що вимагає дотримання середньої швидкості передачі даних і не вимагає синхронізації джерела і приймача;
- ABR - послуги для трафіку зі змінною бітовою швидкістю, що вимагає дотримання певної мінімальної швидкості передачі даних і не вимагає синхронізації джерела і приймача;
- UBR - послуги для трафіку, не пред'являє вимог до швидкості передачі даних і синхронізації джерела і приймача.

Назви більшості категорій послуг збігаються з назвою типів користувальницького трафіку, для обслуговування якого вони розроблені, але необхідно розуміти, що самі служби рівня АТМ та їх послуги - це внутрішні механізми мережі АТМ, які екрануються від програми рівнем AAL.

Послуги категорії CBR призначені для підтримки трафіку синхронних додатків - голосового, емуляції цифрових виділених каналів і т. п. Коли додаток встановлює з'єднання категорії CBR, воно замовляє пікову швидкість трафіку осередків PCR, що є максимальною швидкістю, яку може підтримувати з'єднання без ризику втратити осередок, а також параметри QoS: величини максимальної затримки осередків CTD, варіації затримки осередків CDV і максимальної частки втрачених осередків CLR.

Потім дані передаються по цьому з'єднанню з запитаною швидкістю - не з більшою і, в більшості випадків, не меншою, хоча зменшення швидкості додатком можливо, наприклад, при передачі компресированного голосу за допомогою послуги категорії CBR. Будь-які комірки, передані станцією з більшою швидкістю, контролюються першим комутатором мережі і позначаються ознакою $CLP = 1$. При перевантаженнях мережі вони можуть просто відкидатися мережею. Комірки, які запізнюються і не вкладаються в інтервал, обумовлений параметром варіації затримки CDV, також вважаються

мало значущими для програми та відзначаються ознакою низького пріоритету $CLP = 1$.

Для сполук CBR немає обмежень на деяку дискретність замовлення швидкості PCR, як, наприклад, в каналах T1/E1, де швидкість повинна бути кратна 64 Кбіт/с.

У порівнянні зі службою CBR, служби VBR вимагають більш складної процедури замовлення з'єднання між мережею та програмою. На додаток до пікової швидкості PCR додаток VBR замовляє ще й два інших параметри: довгостроково підтримувану швидкість - SCR, яка представляє собою середню швидкість передачі даних, дозволена додатком, а також максимальний розмір пульсації - MBS, Максимальний розмір пульсації вимірюється в кількості комірок АТМ. Користувач може перевищувати швидкість аж до величини PCR, але тільки на короткі періоди часу, протягом яких передається обсяг даних, що не перевищує MBS. Цей період часу називається Burst Tolerance, BT - терпимість до пульсації. Мережа обчислює цей період як похідний від трьох заданих значень PCR, SCR і MBS.

Якщо швидкість PCR спостерігається протягом періоду часу, більшого ніж BT, то комірки позначаються як порушники - встановлюється ознака $CLP = 1$.

Для послуг категорії rtVBR задаються і контролюються ті ж параметри QoS, що і для послуг категорії CBR, а послуги категорії nrtVBR обмежуються підтриманням параметрів трафіку. Мережа також підтримує для обох категорій послуг VBR певний максимальний рівень частки втрачених комірок CLR, який або задається явно при встановленні з'єднання, або призначається за умовчанням в залежності від класу трафіку.

Для контролю параметрів трафіку і QoS в технології АТМ застосовується так званий узагальнений алгоритм контролю швидкості комірок - Generic Cell Rate Algorithm, який може перевіряти дотримання користувачем і мережею таких параметрів, як PCR, CDV, SCR, BT, CTD і CDV. Він працює за

модифікованим алгоритмом «дiрявого вiдра», що застосовується в технологiї frame relay.

Для багатьох програм, якi можуть бути надзвичайно «вибуховими» щодо iнтенсивностi трафiку, неможливо точно передбачити параметри трафiку, обумовлюються при встановленнi з'єднання. Наприклад, обробка транзакцiй або трафiк двох взаємодiючих локальних мереж непередбачуванi за своєю природою - змiни iнтенсивностi трафiку занадто великi, щоб укласти з мережею якесь розумне угоду.

На вiдмiну вiд CBR i обох служб VBR, служба UBR не пiдтримує нi параметри трафiку, нi параметри якостi обслуговування. Служба UBR пропонує тiльки доставку «по можливостi» без будь-яких гарантiй. Розроблена спецiально для забезпечення можливостi перевищення смуги пропускання, служба UBR являє собою часткове рiшення для тих непередбачуваних «вибухових» додаткiв, якi не готовi погодитися з фiксацiєю параметрiв трафiку.

Головними недолiками послуг UBR є вiдсутнiсть управлiння потоком даних i нездатнiсть брати до уваги iншi типи трафiку. Незважаючи на перевантаження мережi, з'єднання UBR будуть продовжувати передачу даних. Комутатори мережi можуть буферизують деякi осередки що надходить трафiку, але в певний момент буфери переповнюються, i осередки губляться. А так як для сполук UBR не обмовляється нiяких параметрiв трафiку i QoS, то iх осередки вiдкидаються в першу чергу.

Служба ABR подiбно службi UBR надає можливiсть перевищення смуги пропускання, але завдяки технiцi управлiння трафiком при перевантаженнi мережi вона дає деякi гарантiї збереження комiрок. ABR - це перший тип служб рiвня ATM, який дiйсно забезпечує надiйний транспорт для пульсуючого трафiка за рахунок того, що може знаходити невикористовуванi iнтервали в загальному трафiку мережi та заповнювати iх своїми комiрками, якщо iншим категорiям служб цi iнтервали не потрiбнi.

Як і в службах CBR і VBR, при встановленні з'єднання категорії ABR обмовляється значення пікової швидкості PCR. Однак угода про межі зміни затримки передачі осередків або про параметри пульсації не укладається.

Замість цього мережа і кінцевий вузол укладають угоду про необхідні мінімальні швидкості передачі MCR. Це гарантує додатком, що працює в кінцевому вузлі, невелику пропускну здатність, зазвичай мінімально необхідну для того, щоб додаток працювало. Кінцевий вузол погоджується не передавати дані зі швидкістю, вище пікової, тобто PCR, а мережу погоджується завжди забезпечувати мінімальну швидкість передачі осередків MCR.

Якщо при встановленні з'єднання ABR не задаються значення максимальної та мінімальної швидкості, то за замовчуванням вважається, що PCR збігається зі швидкістю лінії доступу станції до мережі, а MCR вважається рівною нулю.

Трафік сполуки категорії ABR отримує гарантовану якість послуг щодо частки втрачених комірок та пропускну здатності. Що стосується затримок передачі комірок, то хоча мережа й намагається звести їх до мінімуму, але гарантій по цьому параметру не дає. Отже, служба ABR не призначена для додатків реального часу, а призначена для додатків, в яких потік даних не дуже чутливий до затримок у передачі.

При передачі трафіку CBR, VBR та UBR явне управління перевантаженнями в мережі відсутня. Замість цього використовується механізм відкидання комірок-порушників, а вузли, що користуються послугами CBR і VBR, намагаються не порушувати умови контракту під загрозою втрати комірок, тому вони зазвичай не користуються додатковою пропускну здатністю, навіть якщо вона в даний момент доступна в мережі.

Служба ABR дозволяє скористатися резервами пропускну здатності мережі, так як повідомляє кінцевому вузлу про наявність в даний момент надлишкової пропускну здатності за допомогою механізму зворотного зв'язку.

Цей же механізм може допомогти службі ABR знизити швидкість передачі даних кінцевим вузлом в мережу (аж до мінімального значення MCR), якщо мережа відчуває перевантаження.

Вузол, що користується послугами ABR, повинен періодично посилати в мережу поряд з комірками даних спеціальні службові комірочки управління ресурсами - Resource Management, RM. Осередки RM, які вузол відправляє вздовж потоку даних, називаються прямими комірками RM - Forward Resource Management (FRM), а комірочки, які йдуть у зворотному по відношенню до потоку даних напрямку, називаються зворотними комірками RM - Backward Resource Management (BRM).

Існує кілька петель зворотного зв'язку. Найпростіша петля зворотного зв'язку - між кінцевими станціями. При її наявності комутатор мережі сповіщає кінцеву станцію про перевантаження за допомогою спеціального прапора в полі прямого управління перевантаженнями (прапор EFCI) комірочки даних, переноситься протоколом ATM. Потім кінцева станція посилає через мережу повідомлення, що міститься в спеціальній комірці управління BRM вихідної станції, кажучи їй про необхідність зменшити швидкість посилки осередків в мережу.

У цьому способі кінцева станція несе основну відповідальність за управління потоком, а комутатори грають пасивну роль в петлі зворотного зв'язку, тільки повідомляючи станцію - відправник про перевантаження.

Такий простий спосіб має кілька очевидних недоліків. Кінцева станція не дізнається з повідомлення BRM, на яку величину треба зменшити швидкість передачі даних в мережу. Тому вона просто знизить швидкість до мінімальної величини MCR, хоча, можливо, це й не обов'язково. Крім того, при великій протяжності мережі комутатори повинні продовжувати буферизувати дані весь час, поки повідомлення про перевантаження буде подорожувати по мережі, а

для глобальних мереж цей час може бути досить великим, і буфери можуть переповнитися, так що потрібний ефект досягнутий не буде.

Розроблено і складніші схеми управління потоком, в яких комутатори грають більш активну роль, а вузол-відправник дізнається точніше про можливу в даний момент швидкості відправки даних в мережу.

У першій схемі вузол-джерело посилає в комірку FRM явне значення швидкості передачі даних в мережу, яку він хотів би підтримувати в даний час. Кожен комутатор, через який проходить по віртуальному шляху це повідомлення, може зменшити запитувану швидкість до деякої величини, яку він може підтримувати відповідно до наявних у нього вільними ресурсами (або залишити запитувану швидкість без зміни). Вузол призначення, отримавши комірку FRM, перетворює її в комірку BRM і відправляє в зворотному напрямку, причому він теж може зменшити запитувану швидкість. Отримавши відповідь у комірці BRM, вузол-джерело точно дізнається, яка швидкість відправки комірок в мережу для нього в даний момент доступна.

У другій схемі кожен комутатор мережі може працювати як вузол-джерело і вузол призначення. Як вузол-джерело він може сам генерувати комірки FRM і відправляти їх за наявними віртуальним каналам. Як вузол призначення він може відправляти на основі одержуваних комірок FRM комірку BRM в зворотному напрямку. Така схема є більш швидкодіючої і корисною в протяжних територіальних мережах.

Як видно з опису, служба ABR призначена не тільки для прямого підтримки вимог до обслуговування конкретного віртуального з'єднання, а й для більш раціонального розподілу ресурсів мережі між її абонентами, що в кінцевому підсумку також призводить до підвищення якості обслуговування усіх абонентів мережі.

Комутатори мережі ATM використовують різні механізми для підтримки необхідної якості послуг. Крім описаних в стандартах ITU-T і ATM Forum

механізмів укладання угоди на основі параметрів трафіку і параметрів QoS, а потім відкидання комірок, не задовольняють умовам угоди, практично всі виробники обладнання АТМ реалізують у своїх комутаторах кілька черг комірок, що обслуговуються з різними пріоритетами.

Стратегія пріоритетного обслуговування трафіку заснована на категоріях послуг кожного віртуального з'єднання. До прийняття специфікації АBR в більшості комутаторів АТМ була реалізована проста однорівнева схема обслуговування, яка давала трафіку СBR перший пріоритет, трафіку VBR другий, а трафіку UBR - третій. При такій схемі комбінація СBR і VBR може потенційно заморозити трафік, який обслуговується іншим класом служб. Така схема не буде правильно працювати з трафіком АBR, так як не забезпечить його вимоги до мінімальної швидкості передачі комірок. Для забезпечення цієї вимоги повинна бути виділена деяка гарантована смуга пропускання.

Щоб підтримувати службу АBR, комутатори АТМ повинні реалізувати дворівневу схему обслуговування, яка б задовольняла вимогам СBR, VBR та АBR. За цією схемою комутатор надає деяку частину своєї пропускну здатності кожному класу служб. Трафік СBR отримує частину пропускну здатності, необхідну для підтримання пікової швидкості PCR, трафік VBR отримує частину пропускну здатності, необхідну для підтримання середньої швидкості SCR, а трафік АBR отримує частину пропускну здатності, достатню для забезпечення вимоги мінімальної швидкості комірок MCR. Це гарантує, що кожне з'єднання може працювати без втрат комірок і не буде доставляти комірки АBR за рахунок трафіку СBR або VBR. На другому рівні цього алгоритму трафік СBR і VBR може забрати все пропускну здатність мережі, якщо це необхідно, оскільки з'єднання АBR вже отримали свою мінімальну пропускну здатність, яка їм гарантувалася.

Комп'ютерний практикум №4

ШИРОКОСМУГОВИЙ АБОНЕНТСЬКИЙ ДОСТУП З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ XDSL.

Мета роботи: ознайомитися з загальними принципами та стандартами технологій цифрового зв'язку DSL; з основними апаратними засобами DSL, отримати навички вибору обладнання для організації абонентського доступу з використанням DSL.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Технології DSL

Сучасний світ характеризується наявністю глобальних зв'язків, і тому об'єднання комп'ютерних мереж між собою, а також з мережею Інтернет, є одним з пріоритетних напрямків розвитку інформаційних технологій. Традиційні технології, які до теперішнього часу розроблені для високошвидкісної передачі даних або доступу в мережу Інтернет, досить дорогі, причому не тільки на етапі впровадження, але й при експлуатації, в той час як ефективні з економічної точки зору технології не забезпечують необхідної користувачам швидкості передачі даних. Збільшення потоків інформації, переданих по мережі Інтернет компаніями та приватними користувачами, а також потреба в організації віддаленого доступу до корпоративних мереж, породили потребу в створенні недорогих технологій цифрової високошвидкісної передачі даних по самому "вузькому" місцю цифрової мережі - абонентської телефонної лінії.

Мідна абонентська телефонна лінія, що складається з пар кручених дротів, яка спочатку призначалася тільки для забезпечення телефонного зв'язку між

різними абонентами, поступово перетворюється в цифрову мережу широкосмугових каналів, здатних забезпечити передачу голосу, високошвидкісну передачу даних і підтримувати інші широкосмугові телекомунікаційні служби. Підтримка роботи такої мережі вимагає не тільки наявності відповідного обладнання, а й зовсім нового підходу до управління роботою абонентської телефонної мережі. Новий щабель розвитку вдалося подолати завдяки використанню технологій DSL.

Для кінцевих користувачів технології DSL забезпечують високошвидкісне і надійне з'єднання між мережами або з мережею Інтернет, а телефонні компанії отримують можливість виключити потоки даних зі свого комутативного обладнання, залишаючи його виключно для традиційного телефонного зв'язку.

Скорочення DSL розшифровується як *Digital Subscriber Line* (цифрова абонентська лінія). DSL є досить новою технологією, що дозволяє значно розширити смугу пропускання старих мідних телефонних ліній, що з'єднують телефонні станції з індивідуальними абонентами. Будь-який абонент, що користується зараз звичайним телефонним зв'язком, має можливість за допомогою технології DSL значно збільшити швидкість свого з'єднання, наприклад, з мережею Інтернет. Слід пам'ятати, що для організації лінії DSL використовуються саме існуючі телефонні лінії; дана технологія тим і хороша, що не вимагає прокладання додаткових телефонних кабелів. В результаті виходить цілодобовий доступ в мережу Інтернет із збереженням нормальної роботи звичайного телефонного зв'язку. Завдяки різноманіттю технологій DSL користувач може вибрати відповідну саме йому швидкість передачі даних - від 32 Кбіт / с до більш ніж 50 Мбіт / с. Дані технології дозволяють також використовувати звичайну телефонну лінію для таких широкосмугових систем, як відео за запитом або дистанційне навчання. Сучасні технології DSL приносять можливість організації високошвидкісного доступу в Інтернет в кожен будинок або на кожне підприємство середнього та малого бізнесу,

перетворюючи звичайні телефонні кабелі в високошвидкісні цифрові канали. Причому швидкість передачі даних залежить тільки від якості і протяжності лінії, що з'єднують користувача і провайдера. При цьому провайдери звичайно дають можливість користувачеві самому вибрати швидкість передачі, найбільш відповідну його індивідуальним потребам.

Як працює DSL

Телефонний апарат з'єднується з обладнанням телефонної станції за допомогою витої пари мідних проводів. Традиційний телефонний зв'язок призначений для звичайних телефонних розмов з іншими абонентами. При цьому по мережі передаються аналогові сигнали. Телефонний апарат сприймає акустичні коливання (які є природним аналоговим сигналом) і перетворює їх в електричний сигнал, амплітуда і частота якого постійно змінюється. Так як вся робота телефонної мережі побудована на передачі аналогових сигналів, простіше за все, звичайно ж, використовувати для передачі інформації між абонентами або абонентом і провайдером саме такий метод. Саме тому в додаток до комп'ютера необхідний модем, який дозволяє демодулювати аналоговий сигнал і перетворити його в послідовність нулів і одиниць цифрової інформації, яка сприймається комп'ютером.

При передачі аналогових сигналів використовується тільки невелика частина смуги пропускання крученої пари мідних телефонних проводів; при цьому максимальна швидкість передачі, яка може бути досягнута за допомогою звичайного модему, становить близько 56 Кбіт/с. DSL являє собою технологію, яка виключає необхідність перетворення сигналу з аналогової форми в цифрову форму і навпаки. Цифрові дані передаються на комп'ютер саме як цифрові дані, що дозволяє використовувати набагато більш широкую смугу частот телефонної лінії. При цьому існує можливість одночасно використовувати і аналоговий телефонний зв'язок, і цифрову високошвидкісну передачу даних по одній і тій же лінії, розділяючи спектри цих сигналів.

Різні типи технологій DSL та коротке описання їх роботи

DSL являє собою набір різних технологій, що дозволяють організувати цифрову абонентську лінію. Для того, щоб зрозуміти дані технології і визначити області їх практичного застосування, слід зрозуміти, чим ці технології різняться. Перш за все, завжди слід тримати в пам'яті співвідношення між відстанню, на яке передається сигнал, і швидкістю передачі даних, а також різницю в швидкостях передачі «низхідного» (від мережі до користувача) і «висхідного» (від користувача в мережу) потоку даних. DSL об'єднує під своїм дахом наступні технології.

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line - асиметрична цифрова абонентська лінія).

Дана технологія є асиметричною, тобто швидкість передачі даних від мережі до користувача значно вище, ніж швидкість передачі даних від користувача в мережу. Така асиметрія, у поєднанні зі станом «постійно встановленого з'єднання» (коли виключається необхідність кожного разу набирати телефонний номер і чекати встановлення з'єднання), робить технологію ADSL ідеальною для організації доступу в мережу Інтернет, доступу до локальних мереж (ЛВС) і т.п. При організації таких сполук користувачі зазвичай отримують набагато більший обсяг інформації, ніж передають.

Дана технологія отримала найбільше поширення, тому що саме вона дозволяє організувати високошвидкісну передачу даних на основі вже існуючої телефонної лінії. Це завдання було першочерговим при розробці даного стандарту.

Технологія використовує метод поділу смуги пропускання мідної телефонної лінії на кілька частотних полос (також званих несучими).

При цьому організуються три інформаційних канали - «спадний» потік передачі даних, «висхідний» потік передачі даних і канал звичайного телефонного зв'язку (POTS - Plain Old Telephone Service) (рисунок 4.1). Канал телефонного зв'язку виділяється за допомогою фільтрів, що гарантує роботу телефону навіть при аварії з'єднання ADSL.

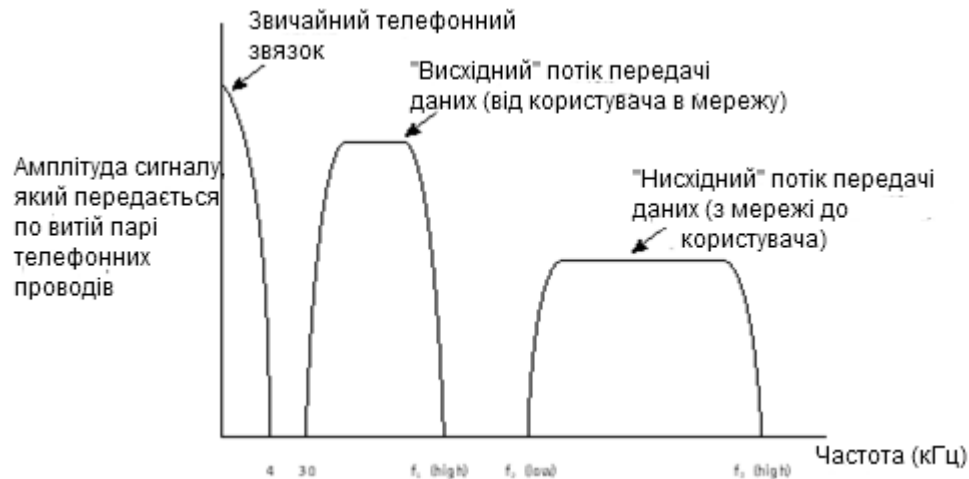


Рисунок 4.1 - інформаційні канали

Це дозволяє одночасно передавати кілька сигналів по одній лінії. Цей процес відомий як частотне ущільнення лінії зв'язку (Frequency Division Multiplexing - FDM) (рисунок 4.2-1). При FDM один діапазон виділяється для передачі «висхідного» потоку даних, а інший діапазон для «низхідного» потоку даних. Діапазон «низхідного» потоку в свою чергу ділиться на один або декілька високошвидкісних каналів і один або кілька низькошвидкісних каналів передачі даних. Діапазон «висхідного» потоку також ділиться на один або декілька низькошвидкісних каналів передачі даних. Крім цього може застосовуватися технологія ехокомпенсації (Echo Cancellation), при використанні якої діапазони «висхідного» і «низхідного» потоків перекриваються (рисунок 4.2-2) і розділяються засобами місцевої ехокомпенсації.

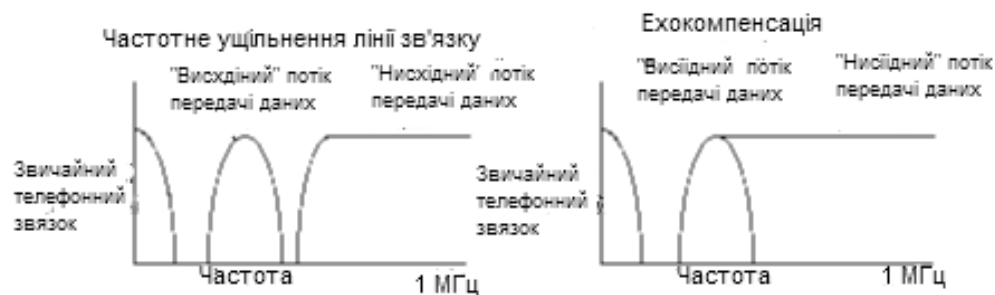


Рисунок 4.2-1,4.2-2

Приклад реалізації технології представлений на рисунку 4.3.

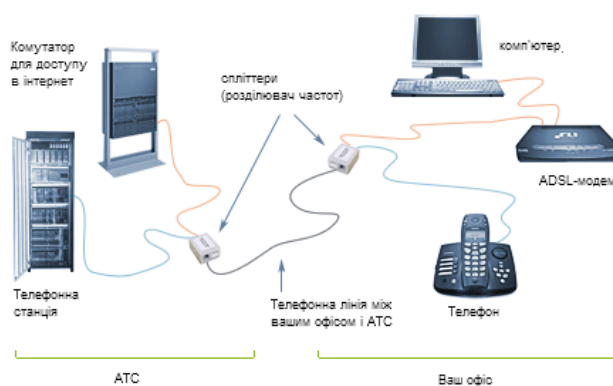


Рисунок 4.3

Одним з основних переваг ADSL над іншими технологіями високошвидкісної передачі даних є використання звичайних кручених пар мідних проводів телефонних кабелів. Цілком очевидно, що таких пар проводів налічується набагато більше, ніж, наприклад, кабелів, прокладених спеціально для кабельних модемів. ADSL утворює, якщо можна так сказати, «накладену мережу». При цьому не потрібно модернізації комутаційного обладнання (як це необхідно для ISDN), яка є дорогою і забирає багато часу.

Факторами, що впливають на швидкість передачі даних, є стан абонентської лінії (тобто діаметр проводів, наявність кабельних відводів і т.п.) і її протяжність. Згасання сигналу в лінії збільшується при збільшенні довжини лінії і зростанні частоти сигналу, і зменшується зі збільшенням діаметру

проводу. Фактично функціональною межею для ADSL є абонентська лінія довжиною 3,5 - 5,5 км при товщині проводів 0,5 мм. В даний час технологія ADSL забезпечує швидкість «низхідного» потоку даних в межах від 1,5 Мбіт/с до 8 Мбіт/с і швидкість «висхідного» потоку даних від 128 Кбіт/с до 1 Мбіт/с. А технологія ADSL2 (або ADSL2 +) забезпечує швидкість «низхідного» потоку даних в межах від 1,5 Мбіт/с до 16 (24) Мбіт/с і швидкість «висхідного» потоку даних від 128 Кбіт/с до 1,5 Мбіт/с.

Смуга пропускання лінії належить користувачеві цілком. На відміну від кабельних модемів, які допускають поділ смуги пропускання між усіма користувачами (що значною мірою впливає на швидкість передачі даних), технологія ADSL передбачає використання лінії тільки одним користувачем.

Технологія ADSL дозволяє повністю використовувати ресурси лінії. При звичайному телефонному зв'язку використовується близько однієї соті пропускної здатності телефонної лінії. Технологія ADSL усуває цей «недолік» і використовує що залишилися 99% для високошвидкісної передачі даних. При цьому для різних функцій використовуються різні смуги частот. Для телефонного (голосового) зв'язку використовується область найнижчих частот всієї смуги пропускання лінії (приблизно до 4 кГц), а вся інша смуга використовується для високошвидкісної передачі даних.

ADSL відкриває абсолютно нові можливості в тих областях, в яких в режимі реального часу необхідно передавати якісний відеосигнал. До них відноситься, наприклад, організація відеоконференцій, навчання на відстані і відео за запитом. Технологія ADSL дозволяє провайдерам надавати своїм користувачам послуги, швидкість передачі даних яких більш ніж в 100 разів перевищує швидкість найшвидшого на даний момент аналогового модема (56 Кбіт / с) і більш ніж в 70 разів перевищує швидкість передачі даних в ISDN (128 Кбіт / с).

Технологія ADSL дозволяє телекомунікаційним компаніям надавати приватний захищений канал для забезпечення обміну інформацією між користувачем і провайдером.

Не слід забувати і про витрати. Технологія ADSL ефективна з економічної точки зору хоча б тому, що не вимагає прокладки спеціальних кабелів, а використовує вже існуючі двохпровідні мідні телефонні лінії.

R-ADSL (Rate-Adaptive Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія з адаптацією швидкості з'єднання).

Технологія R-ADSL забезпечує таку ж швидкість передачі даних, що і технологія ADSL, але при цьому дозволяє адаптувати швидкість передачі до протяжності й стану використовуваної виті пари проводів. При використанні технології R-ADSL з'єднання на різних телефонних лініях буде мати різну швидкість передачі даних. Швидкість передачі даних може обиратися за синхронізації лінії, під час з'єднання або по сигналу, що надходить від станції.

G.Lite (ADSL.Lite) являє собою більш дешевий і простий в установці варіант технології ADSL, що забезпечує швидкість «низхідного» потоку даних до 1,5 Мбіт/с і швидкість «висхідного» потоку даних до 512 Кбіт/с або по 256 Кбіт/с в обох напрямках.

IDSL (ISDN Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія IDSN).

Технологія IDSL забезпечує повністю дуплексну передачу даних на швидкості до 144 Кбіт/с. На відміну від ADSL можливості IDSL обмежуються лише передачею даних. Незважаючи на те, що IDSL, також як і ISDN, використовує модуляцію 2B1Q, між ними є ряд відмінностей. На відміну від ISDN лінія IDSL є некомутованою лінією, не приводить до збільшення навантаження на комутаційне обладнання провайдера. Також лінія IDSL є «постійно включеною» (як і будь-яка лінія, організована з використанням технології DSL), в той час як ISDN вимагає установки з'єднання.

HDSL (High Bit-Rate Digital Subscriber Line - високошвидкісна цифрова абонентська лінія).

Технологія HDSL передбачає організацію симетричної лінії передачі даних, тобто швидкості передачі даних від користувача в мережу і з мережі до користувача рівні. Завдяки швидкості передачі (1,544 Мбіт/с по двом парам проводів і 2,048 Мбіт/с за трьома парам проводів) телекомунікаційні компанії використовують технологію HDSL в якості альтернативи лініях T1/E1. (Лінії T1 використовуються в Північній Америці і забезпечують швидкість передачі даних 1,544 Мбіт/с, а лінії E1 використовуються в Європі і забезпечують швидкість передачі даних 2,048 Мбіт/с.) Хоча відстань, на яку система HDSL передає дані (а це близько 3,5 - 4,5 км), менше, ніж при використанні технології ADSL, для недорогого, але ефективного, збільшення довжини лінії HDSL телефонні компанії можуть встановити спеціальні повторювачі. Використання для організації лінії HDSL двох чи трьох кручених пар телефонних проводів робить цю систему ідеальним рішенням для з'єднання АТС, серверів Інтернет, локальних мереж і т.п. Технологія HDSL2 є логічним результатом розвитку технології HDSL. Дана технологія забезпечує характеристики, аналогічні технології HDSL, але при цьому використовує тільки одну пару проводів.

SDSL (Single Line Digital Subscriber Line - однолінійна цифрова абонентська лінія).

Також як і технологія HDSL, технологія SDSL забезпечує симетричну передачу даних зі швидкостями, відповідних швидкостям лінії T1/E1, але при цьому технологія SDSL має дві важливі відмінності. По-перше, використовується тільки одна кручена пара проводів, а по-друге, максимальна відстань передачі обмежена 3 км. В межах цієї відстані технологія SDSL забезпечує, наприклад, роботу системи організації відеоконференцій, коли

потрібно підтримувати однакові потоки передачі даних в обидва напрямки. У певному сенсі технологія SDSL є попередником технології HDSL2.

SHDSL (Symmetric High Speed Digital Subscriber Line - симетрична високошвидкісна цифрова абонентська лінія).

Найбільш сучасний тип технології DSL, націлений насамперед на забезпечення гарантованої якості обслуговування, тобто при заданій швидкості і дальності передачі даних забезпечити рівень помилок не гірше 10^{-7} навіть у самих несприятливих шумових умовах. Цей стандарт є розвитком HDSL, оскільки він дозволяє передавати цифровий потік по одній парі.

Технологія SHDSL має кілька важливих переваг у порівнянні з HDSL. Перш за все, це кращі характеристики (відносно граничної довжини лінії і запасу по шумах) за рахунок застосування більш ефективного коду, механізму попереднього кодування, більш досконалих методів корекції і поліпшених параметрів інтерфейсу. Ця технологія спектрально сумісна і з іншими технологіями DSL. Оскільки нова система використовує більш ефективний лінійний код у порівнянні з HDSL, то при будь-якій швидкості сигнал SHDSL займає більш вузьку смугу частот, ніж відповідний тієї ж швидкості сигнал HDSL. Тому, створювані системою SHDSL, перешкоди для інших систем DSL мають меншу потужність порівняно з перешкодами від HDSL. Спектральна щільність сигналу SHDSL має таку форму, що він виявляється спектрально сумісний із сигналами ADSL. В результаті цього, в порівнянні з однопарним варіантом HDSL, SHDSL дозволяє підвищити на 35-45% швидкість передачі при тій же дальності або збільшити дальність на 15-20% при тій же швидкості.

VDSL (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line - супершвидкісна цифрова абонентська лінія).

Технологія VDSL є найбільш «швидкою» технологією xDSL. Вона забезпечує швидкість передачі даних «низхідного» потоку в межах від 13 до 52

Мбіт/с, а швидкість передачі даних «висхідного» потоку в межах від 1,5 до 2,3 Мбіт/с, причому по одній витій парі телефонних проводів. У симетричному режимі підтримуються швидкості до 26 Мбіт/с. Технологія VDSL може розглядатися як економічно ефективна альтернатива прокладання волоконно-оптичного кабелю до кінцевого користувача. Однак, максимальна відстань передачі даних для цієї технології складає від 300 метрів до 1300 метрів. Тобто, або довжина абонентської лінії не повинна перевищувати даного значення, або оптико-волоконний кабель повинен бути підведений ближче до користувача (наприклад, заведено в будівлю, в якій знаходиться багато потенційних користувачів). Технологія VDSL може використовуватися з тими ж цілями, що й ADSL, крім того, вона може використовуватися для передачі сигналів телебачення високої чіткості (HDTV), відео за запитом та т.п.

Технології DSL, що дозволяють передавати голос, дані і відеосигнал по існуючій кабельній мережі, що складається з кручених пар телефонних проводів, найкращим чином відображають потребу користувачів у високошвидкісних системах передачі.

По-перше, технології DSL забезпечують високу швидкість передачі даних. Різні варіанти технологій DSL забезпечують різну швидкість передачі даних, але в будь-якому випадку ця швидкість набагато вище швидкості найшвидшого аналогового модему. По-друге, технології DSL залишають можливість користуватися звичайним телефонним зв'язком, незважаючи на те, що використовують для своєї роботи абонентську телефонну лінію.

В таблиці 1 представлені основні характеристики технології DSL.

Технологія	Швидкість передачі	Кодування	Дальність
IDSL	64 Kbps - 128 Kbps	2B1Q	~ 12 км
HDSL	1,544 Mbps; 2,048 Mbps	2B1Q або CAP	~ 6,5км
SDSL	144 Kbps - 2 Mbps	2B1Q або CAP	до 3 км
SHDSL (G.shdsl)	192 Kbps - 2,32 Mbps	TC-PAM	~ 6 км

ADSL (2, 2+)	128 Kbps - 1,5 Mbps висхідний 1,5 Mbps - 24 Mbps нисхідний	DMT	~ 5,5 км
VDSL	128 Kbps - 2,32 Mbps висхідний 13 Mbps - 52 Mbps нисхідний	QAM або DMT	до 1,3 км

ЗАВДАННЯ НА ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ

1. Використовуючи пакет NetCracker, вивчити склад і функціональні характеристики стандартного набору обладнання DSL.
2. У відповідності з варіантом завдання побудувати мережу підприємства з використанням технологій DSL, виходячи з розрахунку мінімізації вартості проєктованої мережі.
3. Для отриманої моделі мережі задати необхідні типи потоків даних між робочими станціями та серверами і провести імітаційне моделювання роботи мережі.
4. Проаналізувати середнє завантаження мережного обладнання та середовища передачі даних і час відповіді для потоку даних. Вказати ділянки мережі, вразливі до перевантажень, і визначити засоби підвищення надійності функціонування мережі.

Таблиця 2. Варіанти завдань.

№ варіанта	Тип інфраструктури	Тип трафіку
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	1
5	1	3
6	2	4
7	3	1
8	4	2
9	1	4
10	2	1
11	3	2
12	4	3
13	1	1
14	2	2

15	3	3
----	---	---

Таблиця 3. Тип інфраструктури.

№ варіанта	Кількість будівель	Відстань між будівлями, м	Кількість поверхів	Кількість кімнат на поверсі
1	2	1300	4	3
2	2	4000	3	3
3	3	3500	3	3
4	3	2000	2	3

Таблиця 4. Тип модельованого трафіку.

№ варіанта	Кількість файлових серверів	Кількість HTTP-серверів	Кількість FTP-серверів	Кількість серверів баз даних
1	3	1	2	2
2	3	2	1	2
3	2	1	2	3
4	2	2	1	3

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кулаков Ю.А., Омелянский С. В. Компьютерные сети. Выбор, установка, использование и администрирование – К.: Юниор, 1999.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 2-е издание – СПб.: Питер, 2003.
3. <http://www.xdsl.ru>