

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій
(назва інституту (факультету))

Комп'ютерних наук
(назва кафедри)

ПЛАН КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Конвергентна мережна інфраструктура»

за спеціальністю 124 Системний аналіз
(шифр та повна назва напрямку (спеціальності))

Спеціалізації

Укладач(і): к.т.н. Сєрих С.О.
(науковий ступінь, вчене звання, П.І.Б. викладача)

Конспект лекцій розглянутий та схвалений на засіданні
кафедри Комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

Протокол № 8 від «11» лютого 2019 року
Завідувач кафедри Вишнівський В. В.

Модуль 2 Сучасні мережеві технології конвергентної мережної інфраструктури
Тема 4. Технології локальних комп'ютерних мереж. Мережа Ethernet

Лекція № 6

Тема лекції: Технології локальних комп'ютерних мереж. Мережа Ethernet.

План лекції

Вступ

1. Варіанти побудови мережі.
2. Протокол CSMA/CD.
3. Основні функціональні параметри Ethernet.

Виконати самостійне завдання № 6.

1. Вивчити питання лекції.
2. Виконати порівняльну оцінку технологій за показниками ефективності мереж доступу за завданням лабораторного заняття № 5.

Література:

1. Гніденко М.П., Вишнівський В.В., Сєрих С.О., Зінченко О.В., Прокопов С.В. Конвергентна мережна інфраструктура. – Навчальний посібник. – Київ: ДУТ, 2019. – 179 с.
2. Соколов В. Ю. Інформаційні системи і технології : Навч. посіб. К.: -ДУІКТ, 2010. - 138 с.
3. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник [для вищих навчальних закладів] / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.
4. Олифер Виктор, Олифер Наталия. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. (Учебник для вузов). — ISBN 978-5-496-01967-5. 5-е изд. — СПб.: Питер, 2016. — 992 с.
5. Сосновский О.А. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети. – Минск: БГЭУ, 2007.-176с.

Варіанти побудови мережі.

1.1. Протоколи й стандарти локальних мереж

1.1.1. Загальна характеристика протоколів локальних мереж

При організації взаємодії вузлів у локальних мережах основна роль приділяється протоколу каналного рівня. Однак для того, щоб каналний рівень міг упоратися із цим завданням, структура локальних мереж повинна бути цілком певної, так, наприклад, найбільш популярний протокол каналного рівня - Ethernet - розрахований на паралельне підключення всіх вузлів мережі до загального для них шини - відрізка коаксіального кабелю або ієрархічній деревоподібній структурі сегментів, утворених повторювачами. Протокол Token Ring також розрахований на цілком певну конфігурацію - з'єднання комп'ютерів у вигляді логічного кільця.

Подібний підхід, що полягає у використанні простих структур кабельних з'єднань між комп'ютерами локальної мережі, відповідав основній меті, що ставили перед собою розроблювачі перших локальних мереж у другій половині 70-х років. Ця мета полягала в знаходженні простого й дешевого рішення для об'єднання в обчислювальну мережу декількох десятків комп'ютерів, що перебувають у межах одного будинку. Рішення повинне було бути недорогим, оскільки в мережу поєднувалися недорогі комп'ютери - що з'явилися й швидко, що поширилися тоді міні-комп'ютери, вартістю в 10 000-20 000 доларів. Кількість їх в одній організації було невеликим, тому межу в кілька десятків (максимум - до сотні) комп'ютерів представлявся цілком достатнім для росту практично будь-якої локальної мережі.

Для спрощення й, відповідно, здешевлення апаратних і програмних рішень розроблювачі перших локальних мереж зупинилися на спільному використанні кабелів всіма комп'ютерами мережі в режимі поділу часу, тобто режимі TDM. Найбільш явним образом режим спільного використання кабелю проявляється в класичних мережах Ethernet, де коаксіальний кабель фізично являє собою неподільний відрізок кабелю, загальний для всіх вузлів мережі. Але й у мережах Token Ring і FDDI, де кожна сусідня пара комп'ютерів з'єднана, здавалося б, своїми індивідуальними відрізками кабелю з концентратором, ці відрізки не можуть використовуватися комп'ютерами, які безпосередньо до них підключені, у довільний момент часу. Ці відрізки утворюють логічне кільце, доступ до якого як до єдиного цілого може бути отриманий тільки по цілком певному алгоритмі, у якому беруть участь всі комп'ютери мережі. Використання кільця як загального поділюваного ресурсу спрощує алгоритми передачі по ньому кадрів, тому що в кожному конкретний момент часу кільце зайняте тільки одним комп'ютером.

Використання поділюваних середовищ (shared media) дозволяє спростити логіку роботи мережі. Наприклад, відпадає необхідність контролю переповнення вузлів мережі кадрами від багатьох станцій, що вирішили одночасно обмінятися інформацією. У глобальних мережах, де відрізки кабелів, що з'єднують окремі вузли, не розглядаються як загальний ресурс, така необхідність виникає, і для рішення цієї проблеми в протоколи обміну інформацією вводяться досить складні процедури керування потоком кадрів, що запобігають переповнення каналів зв'язку й вузлів мережі.

Використання в локальних мережах дуже простих конфігурацій (загальна шина й кільце) поряд з позитивними мало й негативні наслідки, з яких найбільш неприємними були обмеження по продуктивності й надійності. Наявність тільки одного шляху передачі інформації, поділюваного всіма вузлами мережі, у принципі

обмежувало пропускну здатність мережі пропускну здатністю цього шляху (яка ділилася в середньому на число комп'ютерів мережі), а надійність мережі - надійністю цього шляху. Тому в міру підвищення популярності локальних мереж і розширення їхніх сфер застосування усе більше стали застосовуватися спеціальні комунікаційні пристрої - мости й маршрутизатори, - які значною мірою знімали обмеження єдиного поділюваного середовища передачі даних. Базові конфігурації у формі загальної шини й кільця перетворилися в елементарні структури локальних мереж, які можна тепер з'єднувати один з одним більше складним образом, формуючи паралельні основні або резервні шляхи між вузлами.

Проте усередині базових структур як і раніше працюють всі ті ж протоколи поділюваних єдиних середовищ передачі даних, які були розроблені більше 15 років тому. Це пов'язане з тим, що гарні швидкісні й дієві характеристики кабелів локальних мереж задовольняли протягом всього цього років користувачів невеликих комп'ютерних мереж, які могли побудувати мережа без більших витрат тільки за допомогою мережних адаптерів і кабелю. До того ж колосальна інсталяційна база встаткування й програмного забезпечення для технологій Ethernet і Token Ring сприяла тому, що зложився наступний підхід: у межах невеликих сегментів використовуються старі протоколи в їхньому незмінному виді, а об'єднання таких сегментів у загальну мережу відбувається за допомогою додаткового й досить складного встаткування.

В останні кілька років намітився рух до відмови від поділюваних середовищ передачі даних у локальних мережах і переходу до застосування активних комутаторів, до яких кінцеві вузли приєднуються індивідуальними лініями зв'язку. У чистому виді такий підхід пропонується в технології ATM (Asynchronous Transfer Mode), а в технологіях, що носять традиційні назви із приставкою switched (що комутується): switched Ethernet, switched Token Ring, switched FDDI, звичайно використовується змішаний підхід, що сполучить поділювані й індивідуальні середовища передачі даних. Найчастіше кінцеві вузли з'єднуються в невеликі поділювані сегменти за допомогою повторювачів, а сегменти з'єднуються один з одним за допомогою індивідуальних зв'язків, що комутуються.

Існує й досить помітна тенденція до використання в традиційних технологіях так званої мікро сегментації, коли навіть кінцеві вузли відразу з'єднуються з комутатором індивідуальними каналами. Такі мережі виходять дорожче поділювана або змішаних, але продуктивність їх вище.

При використанні комутаторів у традиційних технологіях з'явився новий режим роботи — *повнодуплексний (full-duplex)*. У поділюваному сегменті станції завжди працюють у *напівдуплексному режимі (half-duplex)*, тому що в кожний момент часу мережний адаптер станції або передає свої дані, або приймає чужі, але ніколи не робить це одночасно. Це справедливо для всіх технологій локальних мереж, тому що поділювані середовища підтримуються не тільки класичними технологіями локальних мереж Ethernet, Token Ring, FDDI, але й всіма новими - Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, Gigabit Ethernet.

У повнодуплексном режимі мережний адаптер може одночасно передавати свої дані в мережу й приймати з мережі чужі дані. Такий режим нескладно забезпечується при прямому з'єднанні з мостом/комутатором або маршрутизатором, тому що вхід і вихід кожного порту такого пристрою працюють незалежно друг від друга, кожний зі своїм буфером кадрів.

Сьогодні кожна технологія локальних мереж пристосована для роботи як у напівдуплексному, так і повнодуплексном режимах. У цих режимах обмеження, що накладаються на загальну довжину мережі, істотно відрізняються, так що та сама технологія може дозволяти будувати досить різні мережі залежно від обраного режиму роботи (який залежить від того, які пристрої використовуються для з'єднання вузлів - повторювачі або комутатори). Наприклад, технологія Fast Ethernet дозволяє для напівдуплексного режиму будувати мережі діаметром не більше 200 метрів, а для повнодуплексного режиму обмежень на діаметр мережі не існує. Тому при порівнянні різних технологій необхідно обов'язково брати до уваги можливість їхньої роботи у двох режимах. У даній главі вивчається в основному напівдуплексний режим роботи протоколів, а повнодуплексний режим розглядається в наступній главі, разом з вивченням комутаторів.

Незважаючи на появу нових технологій, класичні протоколи локальних мереж Ethernet і Token Ring за прогнозами фахівців будуть повсюдно використовуватися ще принаймні років 5-10, у зв'язку із чим знання їхніх деталей необхідно для успішного застосування сучасної комунікаційної апаратури. Крім того, деякі сучасні високопродуктивні технології, такі як Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, у значній мірі зберігають наступність зі своїми попередниками. Це ще раз підтверджує важливість вивчення класичних протоколів локальних мереж, природно, поряд з вивченням нових технологій.

Відповідно до цих топологій телекомунікаційні мережі поділяють на такі основні класи:

- *зірка (зіркоподібна)*, коли всі вузли мережі підключаються до одного центрального вузла, що називається *хостом* (host) або *хабом* (hub);
- *кільцева*, коли всі вузли мережі підключаються до одного замкнутого кільцевого каналу;
- *шинна*, коли всі вузли мережі підключаються до одного незамкнутого каналу, який зазвичай називається *шиною*;
- *ієрархічна* топологія — топологія типу «дерево».

1.2. Структура стандартів IEEE 802.x

В 1980 році в інституті IEEE був організований комітет 802 по стандартизації локальних мереж, у результаті роботи якого було прийняте сімейство стандартів IEEE 802.x, які містять рекомендації із проектування нижніх рівнів локальних мереж. Пізніше результати роботи цього комітету лягли в основу комплексу міжнародних стандартів ISO 8802-1...5. Ці стандарти були створені на основі дуже розповсюджених фірмових стандартів мереж Ethernet, ArcNet і Token Ring.

Крім IEEE у роботі зі стандартизації протоколів локальних мереж брали участь і інші організації. Так, для мереж, що працюють на оптоволоконне, американським інститутом по стандартизації ANSI був розроблений стандарт FDDI, що забезпечує швидкість передачі даних 100 Мб/с. Роботи зі стандартизації протоколів ведуться також асоціацією ECMA, що прийняті стандарти ECMA-80, 81, 82 для локальної мережі типу Ethernet і згодом стандарти ECMA-89, 90 по методу передачі маркера.

Стандарти сімейства IEEE 802.x охоплюють тільки два нижніх рівні семі-рівневої моделі OSI - фізичний і каналний. Це пов'язане з тим, що саме ці рівні найбільшою мірою відбивають специфіку локальних мереж. Старші ж рівні,

починаючи з мережного, у значній мірі мають загальні риси як для локальних, так і для глобальних мереж.

Специфіка локальних мереж також знайшла своє відбиття в поділі канального рівня на два підрівня, які часто називають також рівнями. Канальний рівень (Data Link Layer) ділиться в локальних мережах на два підрівня:

- логічної передачі даних (Logical Link Control, LLC);
- керування доступом до середовища (Media Access Control, MAC).

Рівень MAC з'явився через існування в локальних мережах поділюваного середовища передачі даних. Саме цей рівень забезпечує коректне спільне використання загального середовища, надаючи їй відповідно до певного алгоритму в розпорядження тієї або іншої станції мережі. Після того як доступ до середовища отриманий, нею може користуватися більше високий рівень - рівень LLC, що організує передачу логічних одиниць даних, кадрів інформації, з різним рівнем якості транспортних послуг. У сучасних локальних мережах одержали поширення кілька протоколів рівня MAC, що реалізують різні алгоритми доступу до поділюваного середовища. Ці протоколи повністю визначають специфіку таких технологій, як Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN.

Рівень LLC відповідає за передачу кадрів даних між вузлами з різним ступенем надійності, а також реалізує функції інтерфейсу із прилягаючим до нього мережним рівнем. Саме через рівень LLC мережний протокол запитує в канального рівня потрібну йому транспортну операцію з потрібною якістю. На рівні LLC існує кілька режимів роботи, що відрізняються наявністю або відсутністю на цьому рівні процедур відновлення кадрів у випадку їхньої втрати або перекручування, тобто транспортних послуг, що відрізняються якістю, цього рівня.

Протоколи рівнів MAC і LLC взаємно незалежний - кожний протокол рівня MAC може застосовуватися з будь-яким протоколом рівня LLC, і навпаки.

Стандарти IEEE 802 мають досить чітку структуру, наведену на мал. 6.1:

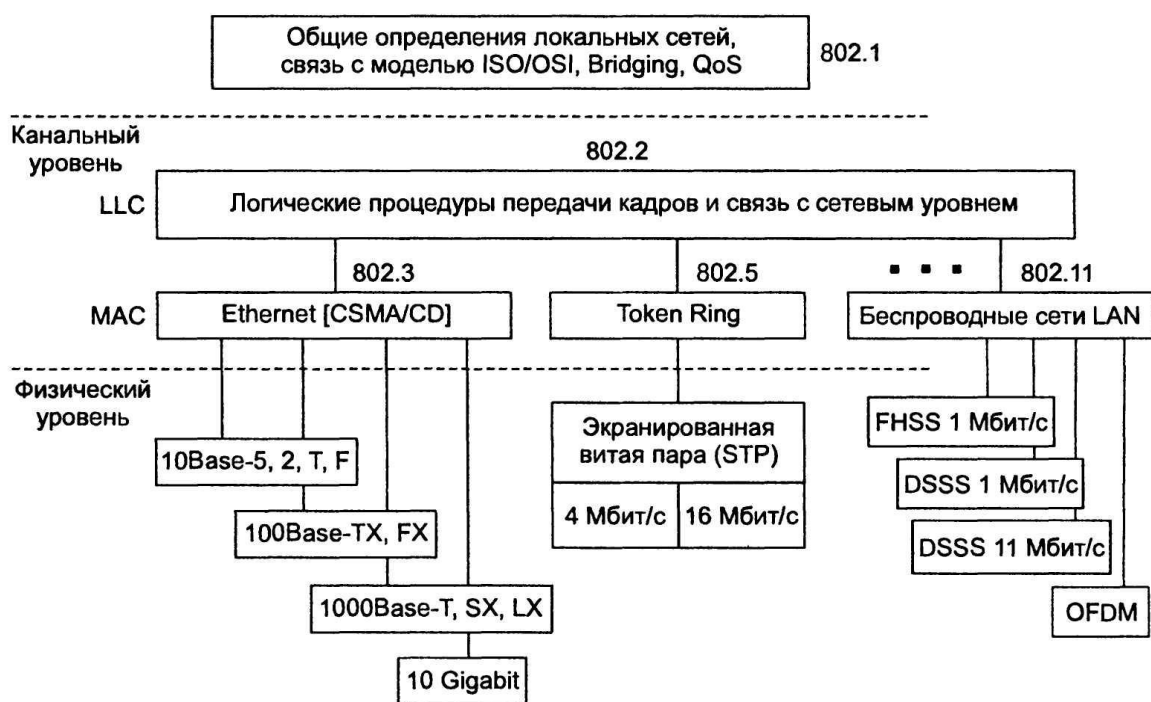


Рис. 6.1. Структура стандартів IEEE 802.x

Ця структура з'явилася в результаті великої роботи, проведеної комітетом 802 по виділенню в різних фірмових технологіях загальних підходів і загальних функцій, а

також узгодженню стилів їхнього опису. У результаті канальний рівень був розділений на два згаданих підрівня. Опис кожної технології розділено на дві частини: опис рівня MAC і опис фізичного рівня. Як видно з малюнка, практично в кожній технології єдиному протоколу рівня MAC відповідає кілька варіантів протоколів фізичного рівня (на малюнку з метою економії місця наведені тільки технології Ethernet і Token Ring, але все сказане справедливо також і для інших технологій, таких як ArcNet, FDDI, 100VG-AnyLAN).

Над канальним рівнем всіх технологій зображений загальний для них протокол LLC, що підтримує кілька режимів роботи, але незалежний від вибору конкретної технології. Стандарт LLC курирує підкомітет 802.2. Навіть технології, стандартизовані не в рамках комітету 802, орієнтуються на використання протоколу LLC, певного стандартом 802.2, наприклад протокол FDDI, стандартизований ANSI.

Особняком коштують стандарти, розроблювальні підкомітетом 802.1. Ці стандарти носять загальний для всіх технологій характер. У підкомітеті 802.1 минулого розроблені загальні визначення локальних мереж і їхніх властивостей, визначений зв'язок трьох рівнів моделі IEEE 802 з моделлю OSI. Але найбільше практично важливими є стандарти 802.1, які описують взаємодія між собою різних технологій, а також стандарти по побудові більш складних мереж на основі базових топологій. Ця група стандартів носить загальну назву стандартів межмережевої взаємодії (internetworking). Сюди входять такі важливі стандарти, як стандарт 802.1D, що описує логікові роботи моста/комутатора, стандарт 802.1H, що визначає роботу моста, що транслює, що може без маршрутизатора поєднувати мережі Ethernet і FDDI, Ethernet і Token Ring і т.п. Сьогодні набір стандартів, розроблених підкомітетом 802.1, продовжує рости. Наприклад, недавно він поповнився важливим стандартом 802.1Q, що визначає спосіб побудови віртуальних локальних мереж VLAN у мережах на основі комутаторів.

Стандарти 802.3, 802.4, 802.5 і 802.12 описують технології локальних мереж, які з'явилися в результаті поліпшення фірмових технологій, що лягли в їхню основу. Так, основу стандарту 802.3 склала технологія Ethernet, розроблена компаніями Digital, Intel і Xerox (або Ethernet DIX), стандарт 802.4 з'явився як узагальнення технології ArcNet компанії Datapoint Corporation, а стандарт 802.5 в основному відповідає технології Token Ring компанії IBM.

Вихідні фірмові технології і їхні модифіковані варіанти - стандарти 802.x у ряді випадків довгі роки існували паралельно. Наприклад, технологія ArcNet так до кінця не була наведена у відповідність зі стандартом 802.4 (тепер це робити пізно, тому що десь приблизно з 1993 року виробництво встаткування ArcNet було згорнуто). Розбіжності між технологією Token Ring і стандартом 802.5 теж періодично виникають, тому що компанія IBM регулярно вносить удосконалення у свою технологію й комітет 802.5 відбиває ці вдосконалення в стандарті з деяким запізненням. Виключення становить технологія Ethernet. Останній фірмовий стандарт Ethernet DIX був прийнятий в 1980 році, і з тих пор ніхто більше не вживав спроб фірмового розвитку Ethernet. Всі нововведення в сімействі технологій Ethernet вносяться тільки в результаті прийняття відкритих стандартів комітетом 802.3.

Більше пізні стандарти споконвічно розроблялися не одною компанією, а групою зацікавлених компаній, а потім передавалися у відповідний підкомітет IEEE 802 для твердження. Так відбулося з технологіями Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, Gigabit Ethernet. Група зацікавлених компаній утворювала спочатку невелике об'єднання, а

потім у міру розвитку робіт до нього приєднувалися інші компанії, так що процес прийняття стандарту носив відкритий характер.

Сьогодні комітет 802 включає наступний ряд підкомітетів, у який входять як уже згадані, так і деякі інші:

- 802.1 - Internetworking - об'єднання мереж;
- 802.2 - Logical Link Control, LLC - керування логічною передачею даних;
- 802.3 - Ethernet з методом доступу CSMA/CD;
- 802.4 - Token Bus LAN - локальні мережі з методом доступу Token Bus;
- 802.5 - Token Ring LAN - локальні мережі з методом доступу Token Ring;
- 802.6 - Metropolitan Area Network, MAN - мережі мегаполісів;
- 802.7 - Broadband Technical Advisory Group - технічна консультаційна група по широкосмуговій передачі;
- 802.8 - Fiber Optic Technical Advisory Group - технічна консультаційна група по волоконно-оптичних мережах;
- 802.9 - Integrated Voice and data Networks - інтегровані мережі передачі голосу й даних;
- 802.10 - Network Security - мережна безпека;
- 802.11 - Wireless Networks - бездротові мережі;
- 802.12 - Demand Priority Access LAN, 100VG-AnyLAN - локальні мережі з методом доступу на вимогу із пріоритетами.

При організації взаємодії вузлів у локальних мережах основна роль приділяється класичним технологіям Ethernet, Token Ring, FDDI, розробленим більше 15 років тому й заснованим на використанні поділюваних середовищ.

Поділювані середовища підтримуються не тільки класичними технологіями локальних мереж Ethernet, Token Ring, FDDI, але й новими - Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, Gigabit Ethernet.

Сучасною тенденцією є часткова або повна відмова від поділюваних середовищ: з'єднання вузлів індивідуальними зв'язками (наприклад, у технології ATM), широке використання зв'язків, що комутуються, і мікро сегментації. Ще одна важлива тенденція - поява повнодуплексного режиму роботи практично для всіх технологій локальних мереж.

Комітет IEEE 802.x розробляє стандарти, які містять рекомендації для проектування нижніх рівнів локальних мереж - фізичного й канального. Специфіка локальних мереж знайшла своє відбиття в поділі канального рівня на два підрівня - LLC і MAC.

Стандарти підкомітету 802.1 носять загальний для всіх технологій характер і постійно поповнюються. Поряд з визначенням локальних мереж і їхніх властивостей, стандартами межмережевої взаємодії, описом логіки роботи моста/комутатора до результатів роботи комітету ставиться й стандартизація порівняно нової технології віртуальних локальних мереж VLAN.

Підкомітет 802.2 розробив і підтримує стандарт LLC. Стандарти 802.3, 802.4, 802.5 описують технології локальних мереж, які з'явилися в результаті поліпшення фірмових технологій, що лягли в їхню основу, відповідно Ethernet, ArcNet, Token Ring.

Більше пізні стандарти споконвічно розроблялися не одною компанією, а групою зацікавлених компаній, а потім передавалися у відповідний підкомітет IEEE 802 для твердження.

1.3. Технологія Ethernet (802.3)

Ethernet - це найпоширеніший на сьогоднішній день стандарт локальних мереж. Загальна кількість мереж, що працюють по протоколі Ethernet у цей час, оцінюється в 5 мільйонів, а кількість комп'ютерів із установленими мережними адаптерами Ethernet - в 50 мільйонів.

Коли говорять Ethernet, те під цим звичайно розуміють кожної з варіантів цієї технології. У більш вузькому змісті Ethernet - це мережний стандарт, заснований на експериментальній мережі Ethernet Network, що фірма Xerox розробила й реалізувала в 1975 році. Метод доступу був випробуваний ще раніше: у другій половині 60-х років у радіомережі Гавайського університету використовувалися різні варіанти випадкового доступу до загального радіосередовища, що одержали загальну назву Aloha. В 1980 році фірми DEC, Intel і Xerox спільно розробили й опублікували стандарт Ethernet версії II для мережі, побудованої на основі коаксіального кабелю, що став останньою версією фірмового стандарту Ethernet. Тому фірмову версію стандарту Ethernet називають стандартом Ethernet DIX або Ethernet II.

На основі стандарту Ethernet DIX був розроблений стандарт IEEE 802.3, що багато в чому збігається зі своїм попередником, але деякі розходження все-таки є. У той час як у стандарті IEEE 802.3 різняться рівні MAC і LLC, в оригінальному Ethernet обоє ці рівні об'єднані в єдиний канальний рівень. В Ethernet DIX визначається протокол тестування конфігурації (Ethernet Configuration Test Protocol), що відсутній в IEEE 802.3. Трохи відрізняється й формат кадру, хоча мінімальні й максимальні розміри кадрів у цих стандартах збігаються. Часто для того, щоб відрізнити Ethernet, певний стандартом IEEE, і фірмовий Ethernet DIX, перший називають технологією 802.3, а за фірмовим залишають назву Ethernet без додаткових позначень.

Залежно від типу фізичного середовища стандарт IEEE 802.3 має різні модифікації - 10Base-5, 10Base-2, 10Base-T, 10Base-FL, 10Base-FB.

В 1995 році був прийнятий стандарт Fast Ethernet, що багато в чому не є самостійним стандартом, про що говорить і той факт, що його опис просто є додатковим розділом до основного стандарту 802.3 - розділом 802.3i. Аналогічно, прийнятий в 1998 році стандарт Gigabit Ethernet описаний у розділі 802.3z основні документи.

Для передачі двійкової інформації з кабелю для всіх варіантів фізичного рівня технології Ethernet, що забезпечують пропускну здатність 10 Мбит/с, використовується манчестерський код.

Всі види стандартів Ethernet (у тому числі Fast Ethernet і Gigabit Ethernet) використовують той самий метод поділу середовища передачі даних - метод CSMA/CD.

2. Протокол CSMA/CD.

2.1. Метод доступу CSMA/CD

У мережах Ethernet використовується метод доступу до середовища передачі даних, називаний методом колективного доступу із упізнанням несучої й виявленням колізій (carrier-sense-multiply-access with collision detection, CSMA/CD).

Цей метод застосовується винятково в мережах з логічною загальною шиною (до яких ставляться й радіомережі, що породили цей метод). Всі комп'ютери такої мережі

мають безпосередній доступ до загальної шини, тому вона може бути використана для передачі даних між будь-якими двома вузлами мережі. Одночасно всі комп'ютери мережі мають можливість негайно (з урахуванням затримки поширення сигналу по фізичному середовищу) одержати дані, які кожною з комп'ютерів почав передавати на загальну шину (рис.5.2). Простота схеми підключення - це один з факторів, що визначили успіх стандарту Ethernet. Говорять, що кабель, до якого підключені всі станції, працює в режимі колективного доступу (Multiply Access, MA).

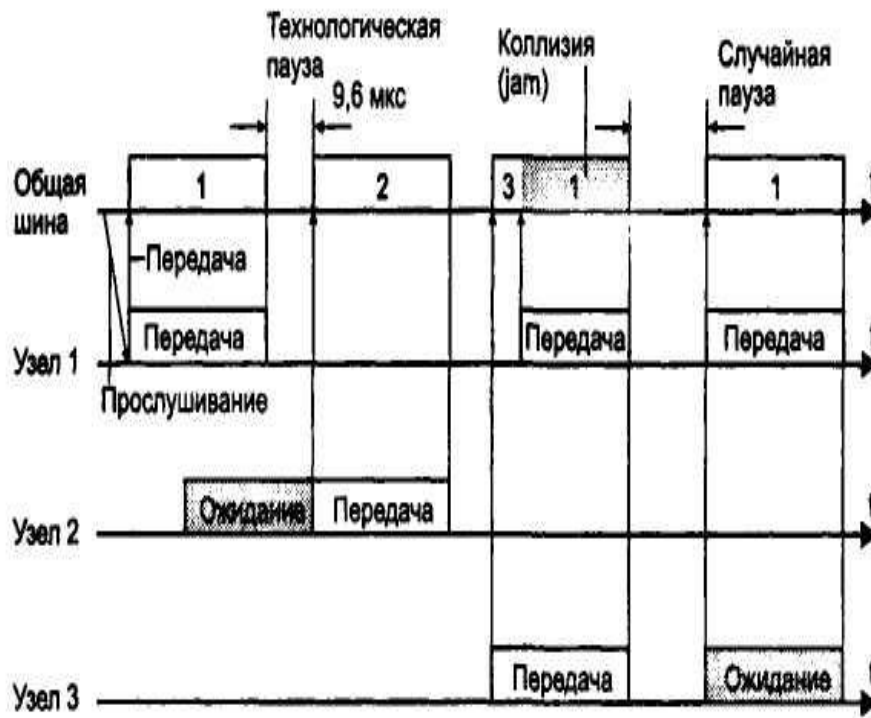


Рис. 5.2. Метод випадкового доступу CSMA/CD

2.2. Етапи доступу до середовища

Всі дані, передані по мережі, містяться в кадри певної структури й забезпечуються унікальною адресою станції призначення.

Щоб одержати можливість передавати кадр, станція повинна переконатися, що поділюване середовище вільне. Це досягається прослуховуванням основної гармоніки сигналу, що також називається несучою частотою (carrier-sense, CS). Ознакою незайнятості середовища є відсутність на ній несучої частоти, що при манчестерском способі кодування дорівнює 5-10 МГц, залежно від послідовності одиниць і нулів, переданих у цей момент.

Якщо середовище вільне, то вузол має право почати передачу кадру. Цей кадр зображений на мал. 3.3 першим. Вузол 1 виявив, що середовище вільне, і почав передавати свій кадр. У класичній мережі Ethernet на коаксіальному кабелі сигнали передавача вузла 1 поширюються в обидва боки, так що всі вузли мережі їх одержують. Кадр даних завжди супроводжується *преамбулою* (*preamble*), що складається з 7 байт, що складаються зі значень 10101010, і 8-го байта, рівного 10101011. Преамбула потрібна для входження приймача в побітовий і побайтовий синхронізм із передавачем.

Всі станції, підключені до кабелю, можуть розпізнати факт передачі кадру, і та станція, що довідається власну адресу в заголовках кадру, записує його вміст у свій внутрішній буфер, обробляє отримані дані, передає їх нагору по своєму стеку, а потім посилає по кабелі кадр-відповідь. Адреса станції джерела втримується у вихідному кадрі, тому станція-одержувач знає, кому потрібно послати відповідь.

Вузол 2 під час передачі кадру вузлом 1 також намагався почати передачу свого кадру, однак виявив, що середовище зайняте — на ній є присутнім несуча частота, — тому вузол 2 змушений чекати, поки вузол 1 не припинить передачу кадру.

Після закінчення передачі кадру всі вузли мережі зобов'язані витримати технологічну паузу (Inter Packet Gap) в 9,6 ікс. Ця пауза, називана також міжкадровим інтервалом, потрібна для приведення мережних адаптерів у вихідний стан, а також для запобігання монопольного захвата середовища одною станцією. Після закінчення технологічної паузи вузли мають право почати передачу свого кадру, тому що середовище вільне. Через затримки поширення сигналу по кабелі не всі вузли строго одночасно фіксують факт закінчення передачі кадру вузлом 1.

У наведеному прикладі вузол 2 дочекався закінчення передачі кадру вузлом 1, зробив паузу в 9,6 мкс і почав передачу свого кадру.

2.3. Виникнення колізії

При описаному підході можлива ситуація, коли дві станції одночасно намагаються передати кадр даних по загальному середовищу. Механізм прослуховування середовища й пауза між кадрами не гарантують від виникнення такої ситуації, коли дві або більше станції одночасно вирішують, що середовище вільне, і починають передавати свої кадри. Говорять, що при цьому відбувається *колізія (collision)*, тому що вміст обох кадрів зіштовхується на загальному кабелі й відбувається перекручування інформації — методи кодування, використовувані в Ethernet, не дозволяють виділяти сигнали кожної станції із загального сигналу.

Помітимо, що цей факт відбитий у тридцятимільйонній «Base(band)», що є присутнім у назвах всіх фізичних протоколів технології Ethernet (наприклад, 10Base-2, 10Base-T і т.п.). Baseband network означає мережа з немодульованою передачею, у якій повідомлення пересилаються в цифровій формі по єдиному каналі, без частотного поділу.

Колізія — це нормальна ситуація в роботі мереж Ethernet. У прикладі, зображеному на мал. 3.4, колізію породила одночасна передача даних вузлами 5 і 1. Для виникнення колізії не обов'язково, щоб кілька станцій почали передачу абсолютно одночасно, така ситуація малоймовірна. Набагато вірогідно, що колізія виникає через те, що один вузол починає передачу раніше іншого, але до другого вузла сигнали першого просто не встигають дійти на той час, коли другий вузол вирішує почати передачу свого кадру. Тобто колізії - це наслідок розподіленого характеру мережі.

Щоб коректно обробити колізію, всі станції одночасно спостерігають за виникаючими на кабелі сигналами. Якщо передані й спостережувані сигнали відрізняються, то фіксується виявлення колізії (*collision detection, CD*). Для збільшення ймовірності якнайшвидшого виявлення колізії всіма станціями мережі станція, що виявила колізію, перериває передачу свого кадру (у довільному місці, можливо, і не на границі байта) і підсилює ситуацію колізії посилкою в мережу спеціальної послідовності з 32 біт, називаною *jam-послідовністю*. Після цього передавальна станція, що виявила колізію, зобов'язана припинити передачу й зробити паузу протягом короткого випадкового інтервалу часу. Потім вона може знову почати спробу захвата середовища й передачі кадру. Випадкова пауза вибирається по наступному алгоритмі:

Пауза = L x (інтервал відстрочки),

де інтервал відстрочки дорівнює 512 бітовим інтервалам (у технології Ethernet прийнятої всі інтервали вимірювати в бітових інтервалах; бітовий інтервал позначається як bt і відповідає часу між появою двох послідовних біт даних на кабелі; для швидкості 10 Мбит/с величина бітового інтервалу дорівнює 0,1 мкс або 100 нс);

L являє собою ціле число, обране з рівною ймовірністю з діапазону $[0, 2^N]$, де N — номер повторної спроби передачі даного кадру: 1, 2, ..., 10.

Після 10-й спроби інтервал, з якого вибирається пауза, не збільшується. Таким чином, випадкова пауза може приймати значення від 0 до 52,4 мс.

Якщо 16 послідовних спроб передачі кадру викликають колізію, то передавач повинен припинити спроби й відкинути цей кадр.

З опису методу доступу видно, що він носить імовірнісний характер, і ймовірність успішного одержання у своє розпорядження загального середовища залежить від завантаженості мережі, тобто від інтенсивності виникнення в станціях потреби в передачі кадрів. При розробці цього методу наприкінці 70-х років передбачалося, що швидкість передачі даних в 10 Мбит/с дуже висока в порівнянні з потребами комп'ютерів у взаємному обміні даними, тому завантаження мережі буде завжди невеликою.

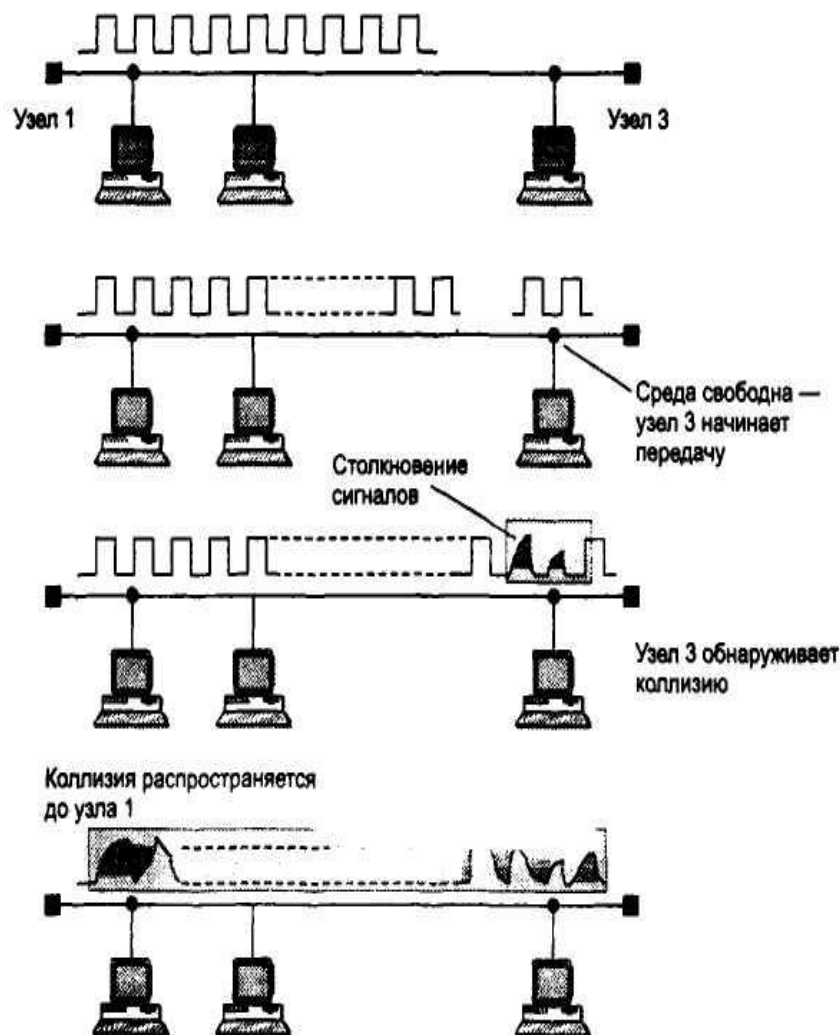


Рис. 3.4. Схема виникнення й розповсюдження колізії

Це припущення залишається іноді справедливим і донині, однак уже з'явилися додатки, що працюють у реальному масштабі часу з нацистською інформацією, які дуже завантажують сегменти Ethernet. При цьому колізії виникають набагато частіше. При значній інтенсивності колізій корисна пропускна здатність мережі Ethernet різко

падає, тому що мережа майже постійно зайнята повторними спробами передачі кадрів. Для зменшення інтенсивності виникнення колізій потрібно або зменшити трафік, скоротивши, наприклад, кількість вузлів у сегменті або замінивши додатка, або підвищити швидкість протоколу, наприклад перейти на Fast Ethernet.

Слід зазначити, що метод доступу CSMA/CD взагалі не гарантує станції, що вона коли-або зможе одержати доступ до середовища. Звичайно, при невеликому завантаженні мережі ймовірність такої події невелика, але при коефіцієнті використання мережі, що наближається до 1, така подія стає дуже ймовірною. Цей недолік методу випадкового доступу - плата за його надзвичайну простоту, що зробила технологію Ethernet самої недорогой. Інші методи доступу - маркерний доступ мереж Token Ring і FDDI, метод Demand Priority мереж 100VG-AnyLAN - вільні від цього недоліку.

2.4. Час подвійного оберту й розпізнавання колізій

Чітке розпізнавання колізій всіма станціями мережі є необхідною умовою коректної роботи мережі Ethernet. Якщо яка-небудь передавальна станція не розпізнає колізію й вирішить, що кадр даних нею переданий вірно, то цей кадр даних буде загублений. Через накладення сигналів при колізії інформація кадру спотвориться, і він буде відбракований приймаючою станцією (можливо, через розбіжність контрольної суми). Швидше за все, перекручена інформація буде повторно передана яким-небудь протоколом верхнього рівня, наприклад транспортним або прикладним, працюючим із установленням з'єднання. Але повторна передача повідомлення протоколами верхніх рівнів відбудеться через значно більше тривалий інтервал часу (іноді навіть через кілька секунд) у порівнянні з мікро секундними інтервалами, якими оперує протокол Ethernet. Тому якщо колізії не будуть надійно розпізнаватися вузлами мережі Ethernet, то це приведе до помітного зниження корисної пропускної здатності даної мережі.

Для надійного розпізнавання колізій повинне виконуватися наступне співвідношення:

$$T_{min} \geq PVD,$$

де T_{min} — час передачі кадру мінімальної довжини, а PDV — час, за яке сигнал колізії встигає поширитися до самого далекого вузла мережі. Тому що в найгіршому разі сигнал повинен пройти двічі між найбільш вилучений друг від друга станціями мережі (в одну сторону проходить неспотворений сигнал, а по дорозі назад поширюється вже перекручений колізією сигнал), то цей час називається *часом подвійного оберту (Path Delay Value, PDV)*.

При виконанні цієї умови передавальна станція повинна встигати виявити колізію, що викликав переданий їй кадр, ще до того, як вона закінчить передачу цього кадру.

Очевидно, що виконання цієї умови залежить, з одного боку, від довжини мінімального кадру й пропускної здатності мережі, а з іншого боку, від довжини кабельної системи мережі й швидкості поширення сигналу в кабелі (для різних типів кабелю ця швидкість трохи відрізняється).

3. Основні функціональні параметри Ethernet.

Всі параметри протоколу Ethernet підібрані таким чином, щоб при нормальній роботі вузлів мережі колізії завжди чітко розпізнавалися. При виборі параметрів, звичайно, ураховувалося й наведене вище співвідношення, що зв'язує між собою мінімальну довжину кадру й максимальна відстань між станціями в сегменті мережі.

У стандарті Ethernet прийнято, що мінімальна довжина поля даних кадру становить 46 байт (що разом зі службовими полями дає мінімальну довжину кадру 64 байт, а разом із преамбулою - 72 байт або 576 біт). Звідси може бути певне обмеження на відстань між станціями.

Отже, в 10-мегабітном Ethernet час передачі кадру мінімальної довжини дорівнює 575 бітових інтервалів, отже, час подвійного оберту повинне бути менше 57,5 мкс. Відстань, що сигналу може пройти за цей час, залежить від типу кабелю й для товстого коаксіального кабелю дорівнює приблизно 13 280 м. З огляду на, що за цей час сигнал повинен пройти по лінії зв'язку двічі, відстань між двома вузлами не повинне бути більше 6 635 м. У стандарті величина цієї відстані обрана істотно менше, з обліком інших, більше строгих обмежень.

Одне з таких обмежень пов'язане із гранично припустимим загасанням сигналу. Для забезпечення необхідної потужності сигналу при його проходженні між найбільш вилучений друг від друга станціями сегмента кабелю максимальна довжина безперервного сегмента товстого коаксіального кабелю з обліком внесеного їм загасання обрана в 500 м. Очевидно, що на кабелі в 500 м умови розпізнавання колізій будуть виконуватися з більшим запасом для кадрів будь-якої стандартної довжини, у тому числі й 72 байт (час подвійного оберту по кабелі 500 м становить усього 43,3 бітових інтервали). Тому мінімальна довжина кадру могла б бути встановлена ще менше. Однак розроблювачі технології не стали зменшувати мінімальну довжину кадру, маючи на увазі многосегментні мережі, які будуються з декількох сегментів, з'єднаних повторювачами.

Повторювачі збільшують потужність переданих із сегмента на сегмент сигналів, у результаті загасання сигналів зменшується й можна використовувати мережу набагато більшої довжини, що складає з декількох сегментів. У коаксіальних реалізаціях Ethernet розроблювачі обмежили максимальну кількість сегментів у мережі п'ятьма, що у свою чергу обмежує загальну довжину мережі 2500 метрами. Навіть у такий многосегментної мережі умова виявлення колізій як і раніше виконується з більшим запасом (зрівняємо отримане з умови припустимого загасання відстань в 2500 м з обчисленим вище максимально можливим за часом поширення сигналу відстанню 6635 м). Однак у дійсності часовий запас є істотно менше, оскільки в многосегментних мережах самі повторювачі вносять у поширення сигналу додаткову затримку в кілька десятків бітових інтервалів. Природно, невеликий запас був зроблений також для компенсації відхилень параметрів кабелю й повторювачів.

У результаті обліку всіх цих і деяких інших факторів було ретельно підібране співвідношення між мінімальною довжиною кадру й максимально можливою відстанню між станціями мережі, що забезпечує надійне розпізнавання колізій. Цю відстань називають також максимальним діаметром мережі.

Зі збільшенням швидкості передачі кадрів, що має місце в нових стандартах, що базуються на тім же методі доступу CSMA/CD, наприклад Fast Ethernet, максимальна відстань між станціями мережі зменшується пропорційно збільшенню швидкості передачі. У стандарті Fast Ethernet воно становить близько 210 м, а в стандарті Gigabit Ethernet воно було б обмежене 25 метрами, якби розроблювачі стандарту не почали деяких заходів щодо збільшення мінімального розміру пакета. У табл. 3.1 наведені значення основних параметрів процедури передачі кадру стандарту 802.3, які не залежать від реалізації фізичного середовища. Важливо відзначити, що кожний варіант фізичного середовища технології Ethernet додає до цих обмежень свої, часто

більше строгі обмеження, які також повинні виконуватися і які будуть розглянуті нижче.

Таблиця 3.1. Параметри рівня MAC Ethernet

Параметри	Значення
Бітова швидкість	10 Мбит/с
Інтервал відстрочки	512 бітових інтервалу
Міжкадровий інтервал (IPG)	9,6 мкс
Максимальне число спроб передачі	16
Максимальне число зростання діапазону паузи	10
Довжина jam-послідовності	32 біта
Максимальна довжина кадру (без преамбули)	1518 байт
Мінімальна довжина кадру (без преамбули)	64 байт (512 біт)
Довжина преамбули	64 біт
Мінімальна довжина випадкової паузи після колізії	0 бітових інтервалів
Максимальна довжина випадкової паузи після колізії	524000 бітових інтервалу
Максимальна відстань між станціями мережі	2500м
Максимальне число станцій у мережі	1024

Самостійне завдання № 6.

1. Вивчити питання лекції.
2. Виконати порівняльну оцінку технологій за показниками ефективності мереж доступу за завданням лабораторного заняття № 1.

Література:

1. Гніденко М.П., Вишнівський В.В., Сєрих С.О., Зінченко О.В., Прокопов С.В. Конвергентна мережна інфраструктура. – Навчальний посібник. – Київ: ДУТ, 2019. – 179 с.
2. Соколов В. Ю. Інформаційні системи і технології : Навч. посіб. К.: -ДУІКТ, 2010. - 138 с.
3. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник [для вищих навчальних закладів] / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.
4. Олифер Виктор, Олифер Наталия. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. (Учебник для вузов). — ISBN 978-5-496-01967-5. 5-е изд. — СПб.: Питер, 2016. — 992 с.
5. Сосновский О.А Телекоммуникационные системы и компьютерные сети. – Минск: БГЭУ, 2007.-176с.