

Лекція 3. Технологія локальної мережі Ethernet

Навчальні питання

1. Характеристика технології Ethernet
2. Стандарти Ethernet фізичного рівня

Вступ

1973 рік – Роберт Меткалф запропонував технологію передачі даних у локальної комп'ютерної мережі, яка отримала назву Ethernet.

1975 рік фірма Xerox розробила і реалізувала експериментальну мережу **Ethernet Network**.

У цієї мережі використовувався випадковий метод доступу до середовища передачі, який був випробуваний у +60-х роках XX-го століття у радіомережі Гавайського університету (для організації доступу до загального радіосередовища використовувались різні випадкові методи доступу, що одержали загальну назву **Aloha**).

1980 рік - фірми **DEC**, **Intel** і **Xerox** спільно розробили й опублікували стандарт **Ethernet** 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**.

1980 рік в інституті IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers - Інститут інженерів електротехніки і радіоелектроніки) був організований "Комітет 802 по стандартизації локальних мереж".

1985 рік було прийняте сімейство стандартів IEEE 802.x, що містять рекомендації для проектування нижніх рівнів локальних мереж. Стандарти сімейства IEEE 802.x охоплюють тільки два нижніх рівні моделі OSI - фізичний і канальний. Саме ці рівні найбільшою мірою відбивають специфіку локальних мереж (рис. 1).

LLC – *Logical Link Control* - підрівень управління логічним зв'язком управління передачею даних, забезпечує перевірку правильності передачі інформації.

MAC – *Media Access Control* – підрівень управління доступом до середовища передачі.

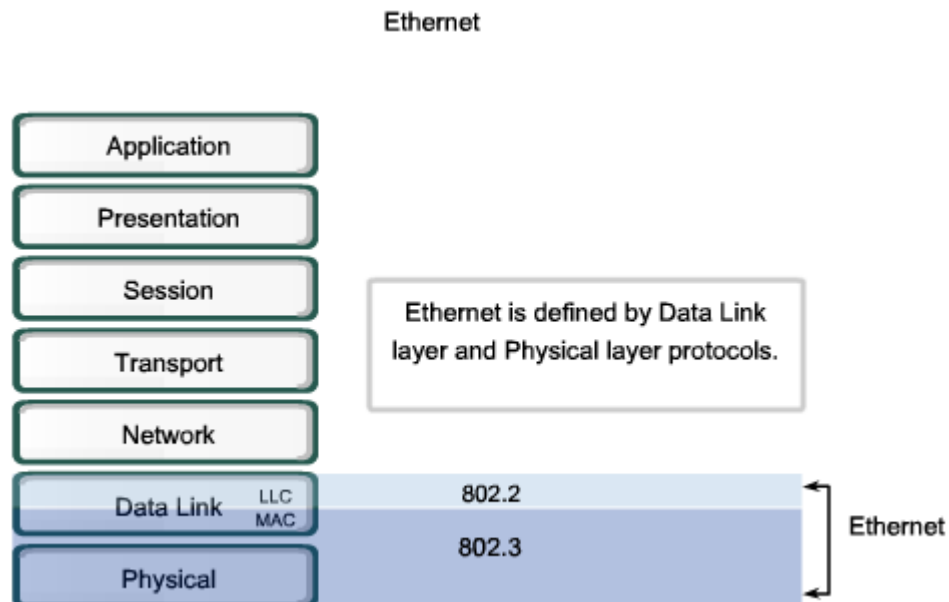


Рис . 1. Структура стандартів IEEE 802.x

В теперішній час Ethernet є сімейством, що включає власно Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10G Ethernet, 40G Ethernet, 100G Ethernet.

Успіх Ethernet обумовлений такими факторами:

- простота і легкість в обслуговуванні;
- можливість впровадження нових технологій;
- надійність;
- низька вартість встановлення та оновлення.

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

У 1995 році був прийнятий стандарт Fast Ethernet, що багато в чому не є самостійним стандартом, про що говорить і той факт, що його опис є простим додатковим розділом до основного стандарту 802.3 — розділом 802.3u. Аналогічно, прийнятий у 1998 році стандарт Gigabit Ethernet описаний у розділі 802.3z основного документу. Для передачі двійкової інформації з кабелю для усіх варіантів фізичного рівня технології Ethernet, що забезпечують пропускну здатність 10 Мбіт/с, використовується манчестерський код. Усі види стандартів Ethernet (у тому числі Fast Ethernet і Gigabit Ethernet) використовують один метод розподілу середовища передачі даних — метод CSMA/CD. Розглянемо сутність даного методу.

1. Характеристика технології Ethernet

1.1. Метод доступу CSMA/CD

У мережах Ethernet використовується метод доступу до середовища передачі даних, який має назву **метод колективного доступу з розпізнанням несучої і виявленням колізій** (carrier-sense-multiply-access with collision detection, CSMA/CD).

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 одержати дані (рис. 2).

Щоб одержати можливість передавати кадр, станція повинна переконатися, що середовище передачі вільне.

Якщо середовище вільне, то вузол має право почати передачу кадру. Цей кадр зображений на рис. 2 першим. Вузол 1 визначив, що середовище вільне, і почав передавати свій кадр.

Усі станції, підключені до кабелю, можуть розпізнати факт передачі кадру, і та станція, яка впізнає власну адресу в заголовках кадру, записує його вміст у свій внутрішній буфер та обробляє отримані дані.

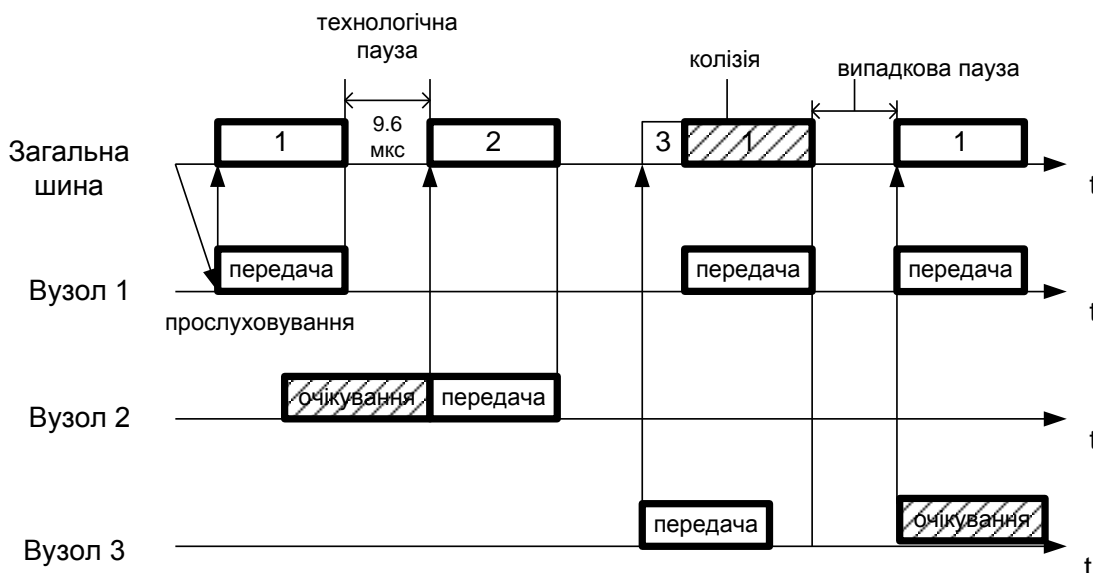


Рис. 2. Ілюстрація методу випадкового доступу

Після закінчення передачі кадру усі вузли мережі зобов'язані витримати технологічну паузу у 9,6 мкс. Ця пауза, яка також має назву міжкадрового інтервалу, потрібна для приведення мережних адаптерів у вихідний стан, а також для запобігання монопольного захоплення середовища однією станцією. Після закінчення технологічної паузи, вузли мають право почати передачу свого кадру, тому що середовище вільне. Через затримки поширення сигналу по кабелю не усі вузли одночасно фіксують факт закінчення передачі кадру вузлом 1. У приведеному прикладі вузол 2 дочекався закінчення передачі кадру вузлом 1, зробив паузу в 9,6 мкс і почав передачу свого кадру.

Виникнення колізії

Механізм прослуховування середовища і пауза між кадрами не гарантують уникнення такої ситуації, коли дві або більше станцій, одночасно вирішують, що середовище вільне та починають передавати свої кадри. Говорять, що при цьому відбувається **колiзія** (collision), тому що зміст обох кадрів зіштовхується на загальному кабелі і відбувається перекручування інформації.

Колізія – це нормальна ситуація в роботі мереж Ethernet. У прикладі, зображеному на рис. 2, колізію породила одночасна передача даних вузлами 3 і 1. Для виникнення колізії не обов'язково, щоб кілька станцій почали передачу абсолютно одночасно, така ситуація малоймовірна. Набагато імовірніше, 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, усі станції одночасно спостерігають за виникаючими на кабелі сигналами. Якщо передані сигнали і сигнали, що спостерігаються, відрізняються, то фіксується виявлення колізії (collision detection, CD). Для збільшення імовірності найшвидшого виявлення колізії всіма станціями мережі, станція, що знайшла колізію підсилює ситуацію колізії посилкою в мережу спеціальної послідовності з 32 біт, яка має назву jam-послідовності.

Після цього передавальна станція, що знайшла колізію, зобов'язана припинити передачу і зробити паузу протягом короткого випадкового інтервалу часу. Потім вона

може знову почати спробу захоплення середовища і передачу кадру. Випадкова пауза вибирається по наступному алгоритму:

$$\text{Пауза} = L * (\text{інтервал відстрочки}),$$

де інтервал відстрочки дорівнює 512 бітовим інтервалам (у технології Ethernet прийнято 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 Мбіт/с величина бітового інтервалу дорівнює 0,1 мкс чи 100 нс);

L - ціле число, яке визначається з рівною імовірністю з діапазону $0..2^N$, де N – номер повторної спроби передачі даного кадру: 1,2,..., 10. Значення основних параметрів процедури передачі кадру стандарту 802.3 наведено в табл. 1.

Таблиця 1.

| | |
|---|------------------------|
| Бітова швидкість | 10 Мбіт/с |
| Інтервал відстрочки | 512 бітових інтервалів |
| Міжкадровий інтервал | 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 байтів |
| Мінімальна довжина кадру (без преамбули) | 64 байта (512 біт) |
| Довжина преамбули | 64 біта |

Після 10-ої 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 повинний припинити спроби і відкинути цей кадр.

З опису методу доступу видно, що він носить імовірнісний характер. Імовірність успішного доступу до 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 у 10 Мбіт/с дуже висока в порівнянні з потребами комп'ютерів у взаємному обміні даними, тому завантаження мережі буде завжди невеликим.

Слід зазначити, що метод доступу CSMA/CD взагалі не гарантує станції, що вона зможе одержати доступ до середовища передачі. Цей недолік методу випадкового доступу – плата за його надзвичайну простоту, що зробила технологію Ethernet самою дешевою.

Максимальна продуктивність мережі Ethernet

Кількість оброблюваних кадрів Ethernet у секунду часто вказується виробниками комутаторів і маршрутизаторів як основна характеристика продуктивності цих пристроїв. У свою чергу, цікаво знати чисту максимальну пропускну здатність сегмента Ethernet в кадрах за секунду в ідеальному випадку, коли в мережі немає колізій і немає додаткових затримок, внесених мостами і маршрутизаторами. Такий показник допомагає оцінити вимоги щодо продуктивності комунікаційних пристроїв, тому що в кожен порт пристрою не може надходити більше кадрів в одиницю часу, ніж дозволяє це зробити відповідний протокол.

Для комунікаційного устаткування найбільш важким режимом є обробка кадрів мінімальної довжини. Це пояснюється тим, що на обробку кожного кадру комутатор або концентратор витрачає приблизно такий самий час, який пов'язаний з переглядом таблиці просування пакета, як і під час обробки пакетів максимальної довжини. Кількість кадрів мінімальної довжини, що надходять на пристрій в одиницю часу, природно більше, ніж кадрів будь-якої іншої довжини. Ще одна характеристика продуктивності комунікаційного устаткування – біт за секунду – використовується рідше, тому що вона не говорить про те, якого розміру кадри при цьому були оброблені пристроєм, а на кадрах максимального розміру досягти високої продуктивності, вимірюваної в бітах за секунду набагато легше.

Використовуючи параметри, приведені в табл. 1, розрахуємо максимальну продуктивність сегмента Ethernet у таких одиницях, як число переданих кадрів (пакетів) мінімальної довжини за секунду.

Для розрахунку максимальної кількості кадрів мінімальної довжини, що проходять по сегменту Ethernet, помітимо, що розмір кадру мінімальної довжини разом із преамбулою складає 72 байти або 576 біт (рис. 3.), тому на його передачу витрачається 57,6 мкс. Додавши міжкадровий інтервал у 9,6 мкс, одержуємо, що період проходження кадрів мінімальної довжини складає 67,2 мкс. Звідси максимально можлива пропускну здатність сегмента Ethernet складає 14 880 кадр/с.



Рис. 3. Розрахунок пропускну здатності протоколу Ethernet

Природно, наявність у сегменті декількох вузлів, знижує цю величину за рахунок очікування доступу до середовища, а також за рахунок колізій, що приводять до необхідності повторної передачі кадрів.

Кадри максимальної довжини технології Ethernet мають поле довжиною 1500 байт, що разом із службовою інформацією дає 1518 байт, а з преамбулою складає 1526 байт або 12208 біт. Максимально можлива пропускну здатність сегмента Ethernet, для кадрів максимальної довжини, складає 813 кадр/с. Очевидно, що при роботі з великими кадрами навантаження на мости, комутатори і маршрутизатори суттєво знижується.

Тепер розрахуємо, якою максимальною корисною пропускну здатністю в біт за секунду володіють сегменти Ethernet при використанні кадрів різного розміру.

Під корисною пропускну здатністю протоколу розуміється швидкість передачі даних користувача, що переносяться полем даних кадру. Ця пропускна здатність завжди менше номінальної бітової швидкості протоколу Ethernet за рахунок декількох факторів:

- службової інформації кадру;
- міжкадрових інтервалів;
- очікування доступу до середовища.

Для кадрів мінімальної довжини корисна пропускна здатність дорівнює:

$$C_n = 14880 \times 46 \times 8 = 5,48 \text{ Мбіт/с.}$$

Це набагато менше 10 Мбіт/с, але варто врахувати, що кадри мінімальної довжини використовуються в основному для передачі квитанцій, так що до передачі власне даних файлів ця швидкість відношення не має.

Для кадрів максимальної довжини корисна пропускна здатність дорівнює:

$$C_n = 813 \times 1500 \times 8 = 9,76 \text{ Мбіт/с,}$$

що дуже близько до номінальної швидкості протоколу.

Підкреслимо, що такої швидкості можна досягти тільки в тому випадку, коли двом взаємодіючим вузлам у мережі Ethernet інші вузли не заважають, що буває вкрай рідко.

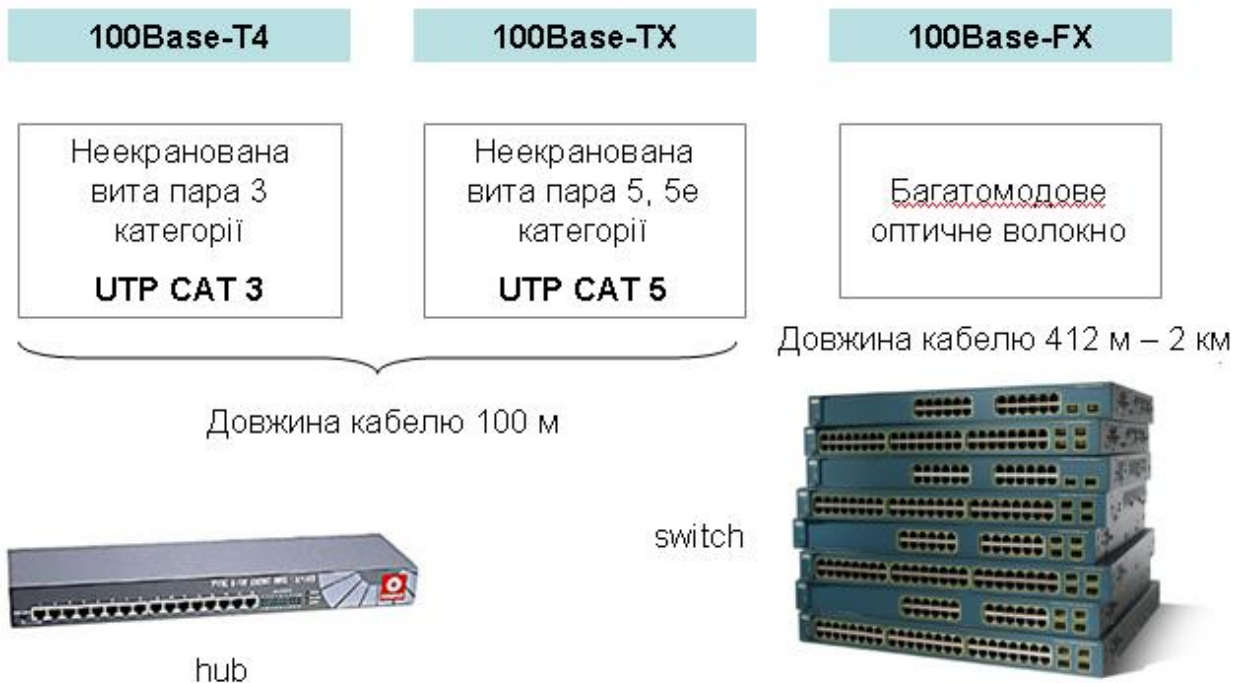
При використанні кадрів середнього розміру з полем даних у 512 байт пропускна здатність мережі складе 9,29 Мбіт/с, що теж досить близько до граничної пропускної здатності в 10 Мбіт/с.

Визначення. Відношення поточної пропускної здатності мережі до її максимальної пропускної здатності називається коефіцієнтом використання мережі (network utilization).

При цьому при визначенні поточної пропускної здатності приймається до уваги передача по мережі будь-якої інформації, як користувача, так і службової. Коефіцієнт є важливим показником для технологій середовищ, що розподіляються, тому що при випадковому характері методу доступу високе значення коефіцієнта використання часто говорить про низьку корисну пропускну здатність мережі (тобто швидкості передачі даних користувача) – занадто багато часу вузли витрачають на процедуру одержання доступу і повторні передачі кадрів після колізій. При відсутності колізій і очікування доступу коефіцієнт використання мережі залежить від розміру поля даних кадру і має максимальне значення 0,976 при передачі кадрів максимальної довжини. Очевидно, що в реальній мережі Ethernet середнє значення коефіцієнта використання мережі може значно відрізнятись від цієї величини.

2. Стандарти Ethernet фізичного рівня

2.1. Fast Ethernet



2.2. Gigabit Ethernet



2.3. 10 Gigabit Ethernet

10GBASE-CX4

Мідний
кабель

CX4

Довжина кабелю 15 м

10GBASE-SR

Багатомодове оптичне волокно

Довжина кабелю
26 і 82 м

10GBASE-LX4

Довжина кабелю
240 і 300 м

10GBASE-LR и 10GBASE-ER

Довжина кабелю 10 і 40 км

10GBASE-T

Екранована вита
пара 7 категорії

STP CAT 7

Довжина кабелю 100 м



2.4. 40 і 100 Gigabit Ethernet

Варианты физического уровня для 40 Gigabit Ethernet и 100 Gigabit Ethernet

| Среда передачи данных и расстояние | 40 Gigabit Ethernet | 100 Gigabit Ethernet |
|--|---------------------|----------------------|
| 1 м по внутри-и межплатным соединениям | 40GBASE-KR4 | — |
| 7 м по медному экранированному кабелю | 40GBASE-CR4 | 100GBASE-CR10 |
| 100 м по много-модовому волоконно-оптическому кабелю | 40GBASE-SR4 | 100GBASE-SR10 |
| 10 км по одно-модовому волоконно-оптическому кабелю | 40GBASE-LR4 | 100GBASE-LR4 |
| 40 км по одно-модовому волоконно-оптическому кабелю | — | 100GBASE-ER4 |

Загальна таблиця параметрів стандартів Ethernet

| | 10BASE-T | 100BASE-TX | 100BASE-FX | 1000BASE-CX | 1000BASE-T | 1000BASE-SX | 1000BASE-LX | 1000BASE-ZX | 10GBASE-ZR |
|------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------|------------------|--|--|--|----------------------|----------------------|
| Media | EIA/TIA Category 3, 4, 5 UTP - four pair | EIA/TIA Category 5 UTP - two pair | 50/62.5 multimode fiber | STP | EIA/TIA Category 5 (or greater) UTP, four pair | 50/62.5 micron multimode fiber | 50/62.5 micron multimode fiber or 9 micron single mode fiber | 9m single mode fiber | 9m single mode fiber |
| Maximum Segment Length | 100m (328 feet) | 100m (328 feet) | 2 km (6562 ft) | 25 m (82 feet) | 100 m (328 feet) | Up to 550 m (1,804 ft) depending on fiber used | 550 m (MMF) 10 km (SMF) | Approx. 70 km | Up to 80 km |
| Topology | Star | Star | Star | Star | Star | Star | Star | Star | Star |
| Connector | ISO 8877 (RJ-45) | ISO 8877 (RJ-45) | | ISO 8877 (RJ-45) | ISO 8877 (RJ-45) | | | | |

Висновки

Таким чином, стандарт Ethernet — це найпоширеніший на сьогоднішній день стандарт локальних мереж. Загальна кількість мереж, що працюють з використанням протоколів сімейства Ethernet у даний час, оцінюється в декілька мільйонів, а кількість комп'ютерів із установленими мережними адаптерами Ethernet — у сотні мільйонів. На даний час розробляється новий стандарт, що буде здатним забезпечити потреби у високій швидкості — 1 Тбіт/с у найближчому майбутньому користувачів комп'ютерних мереж.

Контрольні запитання

1. Який метод використовує технологія Ethernet, в чому полягає його сутність?
2. Що таке „коефіцієнт використання мережі”?
3. Що таке колізія, яким чином вона обробляється мережею Ethernet?
4. Для чого потрібен міжкадровий інтервал і яке він має значення для технології Ethernet?
5. Чому дорівнює (у бітах) довжина мінімального пакету мережі Ethernet і максимального пакету?
6. Чому дорівнює пропускна здатність мережі Ethernet для пакетів максимальної і мінімальної довжини?