

Тема 7. Мережева архітектура Ethernet

Ethernet – сімейство технологій пакетної передачі даних між пристроями для комп'ютерних і промислових мереж.

Стандарти Ethernet визначають провідні з'єднання і електричні сигнали на фізичному рівні, формат кадру та протоколи управління доступом до середовища – на канальному рівні моделі OSI. Ethernet в основному описується стандартами IEEE групи 802.3. Ethernet став найпоширенішою технологією локальних мереж в середині 1990-х років, витіснивши такі застарілі технології, як Token Ring, FDDI і ARCNET.

Назва Ethernet (буквально «ефірна мережа» або «середовище мережі») відображає первісний принцип роботи цієї технології: все, що передається одним вузлом, одночасно приймається всіма іншими (тобто є якась схожість з радіомовленням). В даний час практично завжди підключення відбувається через комутатори, так що кадри, що відправляються одним вузлом, доходять лише до адресата (виняток становлять передачі на широкомовна адресу) – це підвищує швидкість роботи і безпеку мережі.

Технологія Ethernet була розроблена разом з багатьма першими проектами корпорації Xerox PARC. Загальноприйнято вважати, що Ethernet був винайдений 22 травня 1973 року, коли Роберт Меткалф склав доповідну записку для глави PARC про потенціал технології Ethernet. Але законне право на технологію Меткалф отримав через кілька років.

Меткалф пішов з Xerox в 1979 році і заснував компанію 3Com для просування комп'ютерів і локальних обчислювальних мереж (ЛОМ). Йому вдалося переконати DEC, Intel і Xerox працювати спільно і розробити стандарт Ethernet (DIX). Вперше цей стандарт був опублікований 30 вересня 1980 року. Він почав суперництво з двома великими запатентованими технологіями: Token Ring і ARCNET. В процесі боротьби 3Com стала основною компанією в цій галузі.

7.1. Технологія

В стандарті перших версій (Ethernet v1.0 і Ethernet v2.0) вказано, що в якості середовища використовується коаксіальний кабель, надалі з'явилася можливість використовувати виту пару і оптичний кабель.

Переваги використання витої пари в порівнянні з коаксіальним кабелем:

- можливість роботи в дуплексному режимі;
- низька вартість кабелю витої пари;
- більш висока надійність мереж: при використанні витої пари мережа будується по топології зірка, тому обрив кабелю призводить лише до порушення зв'язку між двома об'єктами мережі, з'єднаними цим кабелем (при використанні коаксіального кабелю мережа будується по топології загальна шина, для якої потрібно наявність термінальних резисторів на кінцях кабелю, тому обрив кабелю призводить до несправності сегмента мережі);
- зменшений мінімально допустимий радіус вигину кабелю;
- велика стійкість перед перешкодами через використання диференціального сигналу;
- можливість живлення по кабелю малопотужних вузлів, наприклад, IP-телефонів (стандарт Power over Ethernet, PoE);
- гальванічна розв'язка трансформаторного типу. В умовах, де, як правило, відсутня заземлення комп'ютерів, застосування коаксіального кабелю часто призводило до виходу з ладу мережевих карт в результаті електричного пробоя.

Причиною переходу на оптичний кабель була необхідність збільшити довжину сегмента без повторювачів.

Метод керування доступом (для мережі на коаксіальному кабелі) – множинний доступ з контролем несучої частоти і виявленням колізій (CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), швидкість передачі даних 10 Мбіт/с, розмір кадру від 64 до 1518 байт, описані методи кодування даних. Режим роботи напівдуплексний, тобто вузол не може

одночасно передавати і приймати інформацію. Кількість вузлів в одному сегменті мережі обмежено граничним значенням в 1024 робочих станції (специфікації фізичного рівня можуть встановлювати жорсткіші обмеження, наприклад, до сегменту тонкого коаксіалу може підключатися не більше 30 робочих станцій, а до сегменту товстого коаксіалу – не більше 100). Проте мережа, побудована на одному сегменті, стає неефективною задовго до досягнення граничного значення кількості вузлів, в основному через напівдуплексний режим роботи.

У 1995 році прийнятий стандарт IEEE 802.3u Fast Ethernet зі швидкістю 100 Мбіт/с і з'явилася можливість роботи в режимі повний дуплекс. У 1997 році був прийнятий стандарт IEEE 802.3z Gigabit Ethernet зі швидкістю 1000 Мбіт/с для передачі по оптичному волокну і ще через два роки для передачі по витій парі.

7.2. Формат кадру

Існує декілька форматів Ethernet-кадру.

- Початковий Version I (більше не застосовується).
- Ethernet Version 2 або Ethernet-кадр II, також відомий як DIX (аббревіатура перших літер фірм-розробників DEC, Intel, Xerox) – найбільш поширена і використовується в наш час. Часто використовується безпосередньо протоколом Інтернет.
- Novell – внутрішня модифікація IEEE 802.3 без LLC (Logical Link Control).
- Кадр IEEE 802.3 LLC.
- Кадр IEEE 802.3 LLC/SNAP.

Деякі мережеві карти Ethernet, вироблені компанією Hewlett-Packard, використовували при роботі кадр формату IEEE 802.12, відповідний стандарту 100VG-AnyLAN.

Як доповнення Ethernet-кадр може містити тег IEEE 802.1Q для ідентифікації віртуальної мережі (VLAN), до якої він адресований, і IEEE 802.1p для вказівки пріоритетності.

Різні типи кадру мають різний формат і значення MTU (Maximum Transmission Unit – максимальне корисне навантаження, об’єм даних для передачі).

На рис. 7.1 показано формат найпоширенішого на даний час формату кадрів Ethernet II.

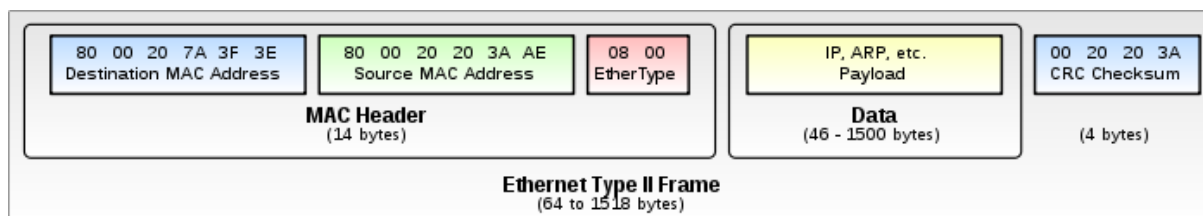


Рисунок 7.1 – Формат кадру Ethernet II

Кадр починається з преамбули, яка має розмір 8 байт (64 біт) і складається з послідовності «10», повтореної 31 раз, та «11» в кінці.

Далі йде адреса отримувача і адреса відправника які займають по 6 байт кожна. Якщо адреса отримувача починається з 1, то це групова передача (multicast). Якщо адреса отримувача складається з самих одиниць (FF:FF:FF:FF:FF:FF) – це ширококомвна передача (broadcast). Для групової передачі треба налаштовувати групи, тому вона використовується рідко.

Наступне поле – тип, або довжина, залежно від того, до якого стандарту належить кадр. З історичних причин, якщо значення в полі менше за 0x600 = 1536, то це довжина, а якщо більше – тип, який визначає, якому протоколу мережевого рівня передати кадр, якщо з Ethernet працює кілька мережевих протоколів. 0x800 – IPv4. Якщо тип не вказано, то що робити з кадром визначає протокол Logical link control, це ще 8 байт заголовків.

Далі йде поле даних, розміром не менше 1500 байт, але більше за 46 байт.

Якщо даних менше за 46 байт, після них додається наповнювач (pad) потрібного розміру. Це потрібно щоб кадр можна було відрізнити від сміття в каналі, яке з’являється коли передача припиняється при виявленні колізії, і щоб

кадр був достатньо довгим аби не передатись повністю до того як колізія виявиться.

Останнє поле – контрольна сума. Це 32-х бітний CRC (циклічний надлишковий код). При виявленні помилки кадр видаляється.

7.3. Різновиди Ethernet

Залежно від швидкості і середовища передачі даних існує декілька варіантів технології. Незалежно від способу передачі, стек мережевого протоколу і програми працюють однаково практично у всіх нижчеперелічених варіантах.

З різних причин, на додаток до основного стандарту багато виробників рекомендують користуватися іншими запатентованими носіями – наприклад, для збільшення відстані між точками мережі використовується волоконно-оптичний кабель.

Більшість Ethernet-карт і інших пристроїв мають підтримку декількох швидкостей передачі даних, використовуючи автовизначення (autonegotiation) швидкості і дуплексності для досягнення найкращого з'єднання між двома пристроями. Якщо автовизначення не спрацьовує, швидкість підстроюється під партнера і вмикається режим напівдуплексної передачі. Наприклад, наявність в пристрої порту Ethernet 10/100 говорить про те, що через нього можна працювати за технологіями 10BASE-T і 100BASE-TX, а порт Ethernet 10/100/1000 – підтримує стандарти 10BASE-T, 100BASE-TX і 1000BASE-T.

Ранні модифікації Ethernet:

- *Xerox Ethernet* – оригінальна технологія, швидкість 3 Мбіт/с, існувала в двох варіантах, формат кадру останньої версії досі має широке застосування.
- *IBROAD36* – широкого поширення не отримав. Один з перших стандартів, що дозволяє працювати на великих відстанях. Використовував технологію широкосмугового модуляції, схожої на ту,

що використовується в кабельних модемах. В якості середовища передачі даних використовувався коаксіальний кабель.

- **1BASE5** – також відомий, як StarLAN, став першою модифікацією Ethernet-технології, що використовує виту пару. Працював на швидкості 1 Мбіт/с, але не знайшов комерційного застосування.

10 Мбіт/с Ethernet:

- **10BASE5, IEEE 802.3** («Товстий Ethernet») – початкова розробка технології зі швидкістю передачі даних 10 Мбіт/с. Слідуючи ранньому стандарту, IEEE використовує коаксіальний кабель з хвильовим опором 50 Ом, з максимальною довжиною сегменту 500 метрів.
- **10BASE2, IEEE 802.3a** («Тонкий Ethernet») – використовується коаксіальний кабель RG-58, з максимальною довжиною сегмента 185 метрів, комп'ютери приєднувалися один до іншого, для підключення кабелю до мережевої карти потрібен T-коннектор, а на кабелі має бути BNC-коннектор. Потрібна наявність термінаторів на кожному кінці. Багато років цей стандарт був основою для технології Ethernet.
- **StarLAN 10** – перша розробка, що використовує виту пару для передачі даних на швидкості 10 Мбіт/с. Надалі еволюціонував у стандарт 10BASE-T.

Незважаючи на те, що теоретично можливе підключення до одного кабелю (сегменту) витой пари більш ніж двох пристроїв, що працюють в симплексному режимі, така схема ніколи не застосовується для Ethernet, на відміну від роботи з коаксіальним кабелем. Тому всі мережі на витій парі використовують топологію зірка, в той час як мережі на коаксіальному кабелі побудовані на топології шина. Термінатори для роботи по витій парі вбудовані в кожен пристрій, і застосовувати додаткові зовнішні термінатори в лінії не потрібно.

- **10BASE-T, IEEE 802.3i** – для передачі даних використовується 4 провідники кабелю витой пари (дві виті пари) категорії 3 або категорії 5. Максимальна довжина сегменту – 100 метрів.

- **FOIRL** – (акронім від Fiber-optic inter-repeater link). Базовий стандарт для технології Ethernet, що використовує для передачі даних оптичний кабель. Максимальна відстань передачі даних без повторювача – 1 км.
- **10BASE-F, IEEE 802.3j** – основний термін для позначення сімейства 10 Мбіт/с Ethernet-стандартів, які використовують оптичний кабель на відстані до 2 кілометрів: 10BASE-FL, 10BASE-FB і 10BASE-FP. З перерахованого тільки 10BASE-FL набув широкого поширення.
- **10BASE-FL** (Fiber Link) – покращена версія стандарту FOIRL. Поліпшення торкнулося збільшення довжини сегмента до 2 км.
- **10BASE-FB** (Fiber Backbone) – стандарт, що призначався для об'єднання повторювачів в магістраль. В даний час не використовується.
- **10BASE-FP** (Fiber Passive) – топологія «пасивна зірка», в якій не потрібні повторювачі – ніколи не застосовувався.

Швидкий Ethernet (Fast Ethernet, 100 Мбіт/с):

- **100BASE-T** – загальний термін для позначення стандартів, які використовують в якості середовища передачі даних виту пару. Довжина сегменту – до 100 метрів. Включає в себе стандарти 100BASE-TX, 100BASE-T4 і 100BASE-T2.
- **100BASE-TX, IEEE 802.3u** – розвиток стандарту 10BASE-T для використання в мережах топології зірка. Задіяна вита пара категорії 5, фактично використовуються тільки дві неекрановані пари провідників, підтримується дуплексна передача даних, відстань до 100 м.
- **100BASE-T4** – стандарт, який використовує виту пару категорії 3. Задіяні всі чотири пари провідників, передача даних йде в напівдуплексному режимі. Практично не використовується.
- **100BASE-T2** – стандарт, який використовує виту пару категорії 3. Задіяні тільки дві пари провідників. Підтримується повний дуплекс, коли сигнали поширюються в протилежних напрямках по кожній парі. Швидкість передачі в одному напрямку – 50 Мбіт/с. Практично не використовується.

- **100BASE-FX** – стандарт, який використовує багатомодове волокно. Максимальна довжина сегменту – 400 метрів в напівдуплексі (для гарантованого виявлення колізій) або 2 кілометри в повному дуплексі.
- **100BASE-SX** – стандарт, який використовує багатомодове волокно. Максимальна довжина обмежена тільки величиною затухання в оптичному кабелі і потужністю передавачів, за різними матеріалами, від 2 до 10 кілометрів.
- **100BASE-FX WDM** – стандарт, який використовує одномодове волокно. Максимальна довжина обмежена тільки величиною затухання в волоконно-оптичному кабелі і потужністю передавачів. Інтерфейси бувають двох видів, відрізняються довжиною хвилі передавача і маркуються або цифрами (довжина хвилі), або однією латинською літерою А (1310) або В (1550). В парі можуть працювати тільки парні інтерфейси: з одного боку передавач на 1310 нм, а з іншого – на 1550 нм.

Гігабітний Ethernet (Gigabit Ethernet, 1 Гбіт/с):

- **1000BASE-T, IEEE 802.3ab** – основний гігабітний стандарт, опублікований в 1999 році, використовує виту пару категорії 5е. В передачі даних беруть участь 4 пари, кожна пара використовується одночасно для передачі по обох напрямках зі швидкістю – 250 Мбіт/с. Відстань – до 100 метрів.
- **1000BASE-TX** був створений Асоціацією Телекомунікаційної Промисловості (Telecommunications Industry Association, TIA) і опублікований в березні 2001 року як «Специфікація фізичного рівня дуплексного Ethernet 1000 Мб/с (1000BASE-TX) симетричних кабельних систем категорії 6 (ANSI/TIA/EIA-854-2001). Поширення не отримав через високу вартість кабелів, фактично застарів. Стандарт розділяє прийняті і відправлені сигнали по парах (дві пари передають дані, кожна на 500 Мбіт/с і дві пари приймають), що спрощувало б конструкцію прийомопередаючих пристроїв. Для роботи технології

потрібна кабельна система 6-ї категорії. На основі даного стандарту створено велику кількість продуктів для промислових мереж.

- **1000BASE-X** – загальний термін для позначення стандартів зі змінними приймачами в форм-факторах GBIC або SFP.
- **1000BASE-SX, IEEE 802.3z** – стандарт, який використовує багатомодове волокно в першому вікні прозорості з довжиною хвилі, що дорівнює 850 нм. Дальність проходження сигналу становить до 550 метрів.
- **1000BASE-LX, IEEE 802.3z** – стандарт, який використовує одномодове або багатомодове оптичне волокно в другому вікні прозорості з довжиною хвилі, що дорівнює 1310 нм. Дальність проходження сигналу залежить тільки від типу використовуваних приймачів і, як правило, становить для одномодового оптичного волокна до 5 км і для багатомодового оптичного волокна до 550 метрів.
- **1000BASE-CX** – стандарт для коротких відстаней (до 25 метрів), що використовує 2-парний екранований кабель. Застосовується кодування 8B/10B, сигнал передається по одній парі, приймається по іншій парі проводів; роз'єми – 9-контактний DE-9. Замінений стандартом 1000BASE-T і зараз не використовується.
- **1000BASE-LH (Long Haul)** – стандарт, який використовує одномодове волокно. Дальність проходження сигналу без повторювача – до 100 кілометрів.

У 2014 з'явилися приватні ініціативи NBASE-T (Cisco) і MGBASE-T (Broadcom) по створенню стандартів Ethernet зі швидкістю, проміжною між 1 і 10 Гбіт/с. Новий стандарт повинен використовувати існуючу кабельну інфраструктуру категорії 5e на відстанях до 100 метрів, надаючи швидкості в 2,5 або, менш імовірно, 5 Гбіт/с. Серед причин появи ініціатив – поширення Wi-Fi-маршрутизаторів, що підтримують швидкості більше 1 Гбіт/с (802.11ac Wave 2, 802.11ad, 802.11ax, LiFi), і неможливість використання 10 Гбіт/с стандартів Ethernet по довгих кабелях 5e і 6-й категорій. Раніше група IEEE 802 відзначала, що гіпотетичний стандарт 2500BASE-T міг би бути близький за вартістю до

1000BASE-T рішення. Стандарт на 2,5 і 5 Гбіт/с Ethernet по кабелях Cat 5e і Cat 6 був прийнятий восени 2016 року як IEEE 802.3bz.

Стандарт 10-гігабітного Ethernet включає в себе сім стандартів фізичного середовища для LAN, MAN і WAN. В даний час він описується поправкою IEEE 802.3ae і повинен увійти в наступну ревізію стандарту IEEE 802.3:

- **10GBASE-CX4** – технологія 10-гігабітного Ethernet для коротких відстаней (до 15 метрів), використовується мідний кабель CX4 і конектори InfiniBand.
- **10GBASE-SR** – технологія 10-гігабітного Ethernet для коротких відстаней (до 26 або 82 метрів, в залежності від типу кабелю), використовується багатомодове волокно. Він також підтримує відстані до 300 метрів з використанням нового багатомодового волокна.
- **10GBASE-LX4** – використовує ущільнення по довжині хвилі для підтримки відстаней від 240 до 300 метрів по багатомодовому волокну. Також підтримує відстані до 10 кілометрів при використанні одномодового волокна.
- **10GBASE-LR і 10GBASE-ER** – ці стандарти підтримують відстані до 10 і 40 кілометрів, відповідно.
- **10GBASE-SW, 10GBASE-LW і 10GBASE-EW** – ці стандарти використовують фізичний інтерфейс, сумісний за швидкістю і форматом даних з інтерфейсом OC-192/STM-64 SONET/SDH. Вони подібні до стандартів 10GBASE-SR, 10GBASE-LR і 10GBASE-ER відповідно, оскільки використовують ті ж самі типи кабелів і відстані передачі.
- **10GBASE-T, IEEE 802.3an-2006** – прийнятий в червні 2006 року після 4 років розробки. Використовує виту пару категорії 6 (максимальна відстань 55 метрів) і 6a (максимальна відстань 100 метрів).
- **10GBASE-KR** – технологія 10-гігабітного Ethernet для крос-плат (backplane/midplane) модульних комутаторів/маршрутизаторів і серверів (Modular/Blade).

25 Gigabit Ethernet і 50 Gigabit Ethernet – це стандарти для з'єднання Ethernet у середовищі центру обробки даних, розроблені робочими групами IEEE 802.3 802.3by і 802.3cd:

- **25GBASE-T** – технологія 25-гігабітного Ethernet. Використовує виту пару категорії 8.
- **25GBASE-SR** – використовує оптоволокно (850 nm).
- **25GBASE-LR** – використовує оптоволокно (1295 – 1325 nm).
- **25GBASE-ER** – використовує оптоволокно (1295 – 1310 nm).

50 Gigabit Ethernet фактично являє собою реалізацію двоканального 25 Gigabit Ethernet на базі оптичного волокна.

40 Gigabit Ethernet, а також 100 Gigabit Ethernet – стандарти Ethernet, що розроблялися IEEE P802.3ba Ethernet Task Force з початку листопада 2007 року та були остаточно прийняті в червні 2010. Ці стандарти підтримують передачу Ethernet пакетів на швидкості 40 та 100 Гбіт/с крізь декілька окремих 10 Гбіт/с або 25 Гбіт/с ліній.