

Селіверстов Р. Г.

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ



Лекція 5

КАНАЛЬНИЙ РІВЕНЬ: підрівень МАС

Адресація на каналному рівні (MAC-адреси)

MAC-адреса (фізична адреса обладнання):

- регламентована стандартом IEEE 802
- довжина - 6 байт
- форма запису - 6 шістнадцяткових чисел:
 - індивідуальна (unicast) - **F0:57:09:11:AD:E3**
 - групова (multicast) - **01:00:5E:11:AD:E3**
 - широкомовна (broadcast) - **FF:FF:FF:FF:FF:FF**

Присвоєння MAC-адрес

Централізоване:

- виробником за замовчуванням
- перші 3 байти - унікальний ідентифікатор організації-виробника
 - 00:02:B3 - Intel
 - 00:04:AC - IBM
- за унікальність останніх 3-х байтів несе відповідальність виробник

Локальне:

- адміністратором мережі
- адміністратор має забезпечити унікальність (в одному сегменті мережі не допускається однакових MAC-адрес)

MAC-адреса сетевого адаптера

Windows: `ipconfig /all`

Linux: `ip link`

MacOS: `ifconfig`

Протоколи розділення каналу

Для спрощення і здешевлення апаратних і програмних рішень розробники перших локальних мереж зупинились на сумісному використанні кабелю усіма комп'ютерами мережі в режимі розподілу часу

TDM (Time Division Multiplexing) - кожному хосту резервується інтервал часу на передавання даних (**таймслот**)

FDM (Frequent-Division Multiplexing) - кожному хосту резервується частотний діапазон

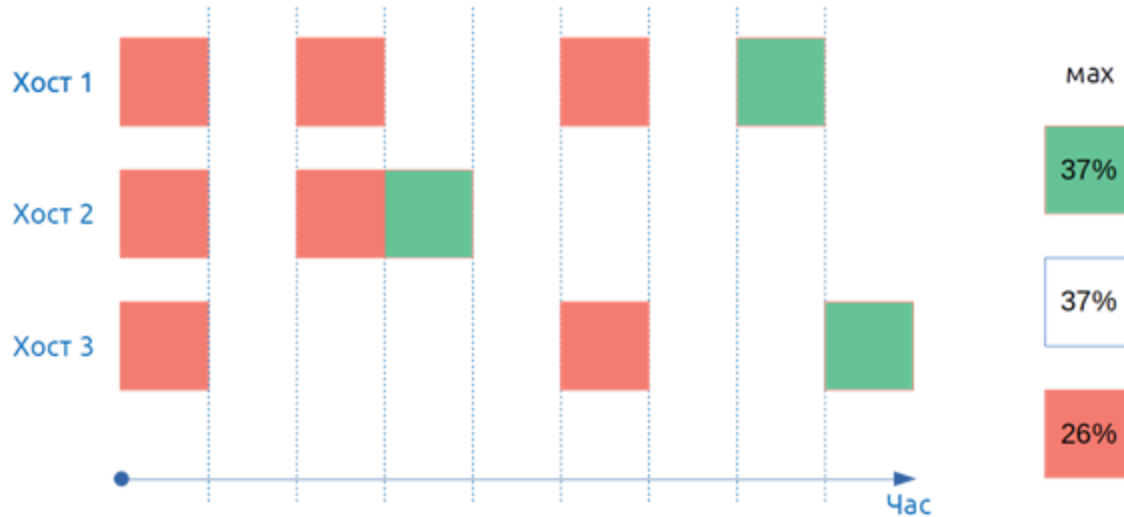
CDMA (Code Division Multiple Access) - кожному хосту дається унікальний код для кодування даних, які він передає

Протоколи випадкового (конкурентного) доступу

Основна ідея: хост передає дані в канал. У разі виникнення колізії кожен причетний до неї хост передає кадр повторно через випадковий інтервал часу.

Протоколи: ALOHA, CSMA/CD (Ethernet), CSMA/CA (Wi-Fi)

Протокол ALOHA



ALOHAnet: Context

- Norm Abramson, 1970 at the University of Hawaii
 - Seven campuses, on four islands
 - Wanted to **connect** campus terminals and mainframe
 - Telephone costs high, so built a **packet radio network**



- кадри мають однакову кількість біт;
- час розділено на кванти однакової тривалості, яка дорівнює часу передавання одного кадру;
- вузли можуть почати передавання кадру тільки в момент початку чергового кванту;
- у випадку колізії (виявляється впродовж того ж кванту) кожен причетний до неї вузол “підкидає монету” (чи передавати повторно у наступному кванті).

Протоколи почергового доступу (без колізій)

Протоколи опитування (Bluetooth)

Один хост призначається головним. Головний хост почергово опитує всі хости і надає їм право передавання (якщо вони підтвердили бажання передавати) фіксовану кількість кадрів.

Протоколи з передаванням маркера (FDDI, Token Ring)

Усі хости передають фіксованим зацикленим маршрутом спеціальний кадр (маркер, токен). Хост, який має що передавати, затримує його в себе на час передачі фіксованої кількості кадрів.

Технології каналного-фізичного рівнів

У вжитку:

- Ethernet
- Wi-Fi

Застарілі:

- Token Ring
- FDDI
- ATM (Sun Microsystems) -> Gigabit Ethernet
- 100VG-AnyLAN
- AppleTalk (Mac) -> Ethernet
- DSL (телефонні лінії)

ETHERNET: початкова версія

1973 - The **Ether Network** (Роберт Меткалф, Xerox)

Швидкість: 2,94 Мбіт/с

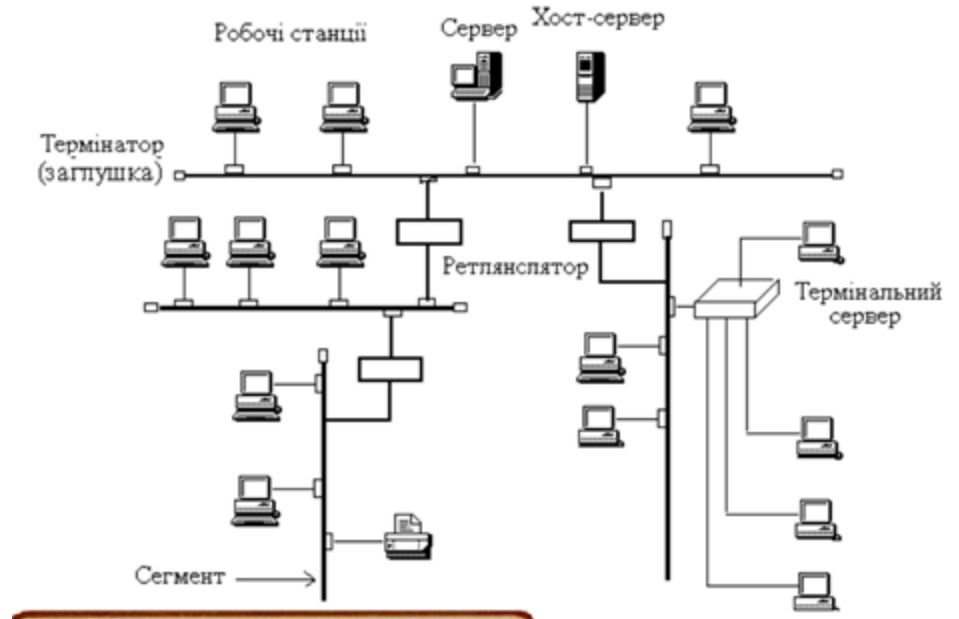
256 хостів

1 миля

Випадковий метод доступу

Без попереднього з'єднання

Манчестерський код



Класичний ETHERNET II

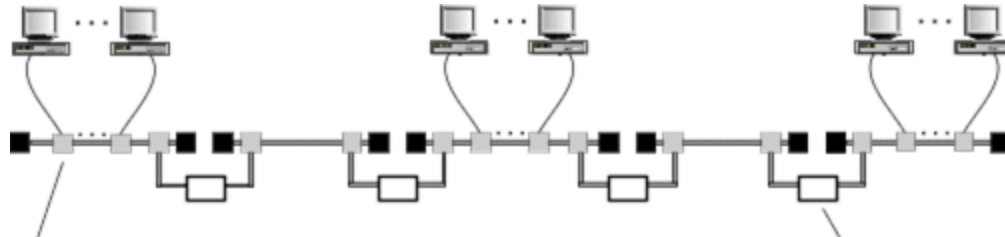
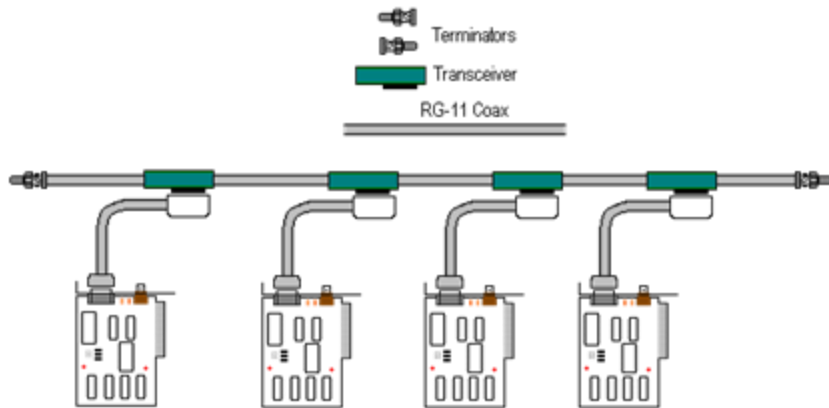
1979 - Xerox, DEC та Intel вирішують використовувати Ethernet як індустріальний стандарт (до цього кожна фірма користувалася своїм, несумісним з нішими)

1982 - опубліковано Ethernet II

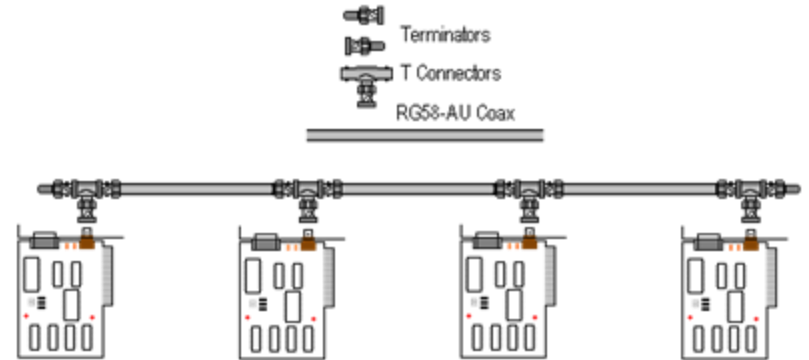
Швидкість: 10 Мбіт/с

1982 - **IEEE 802.3** (Ethernet)

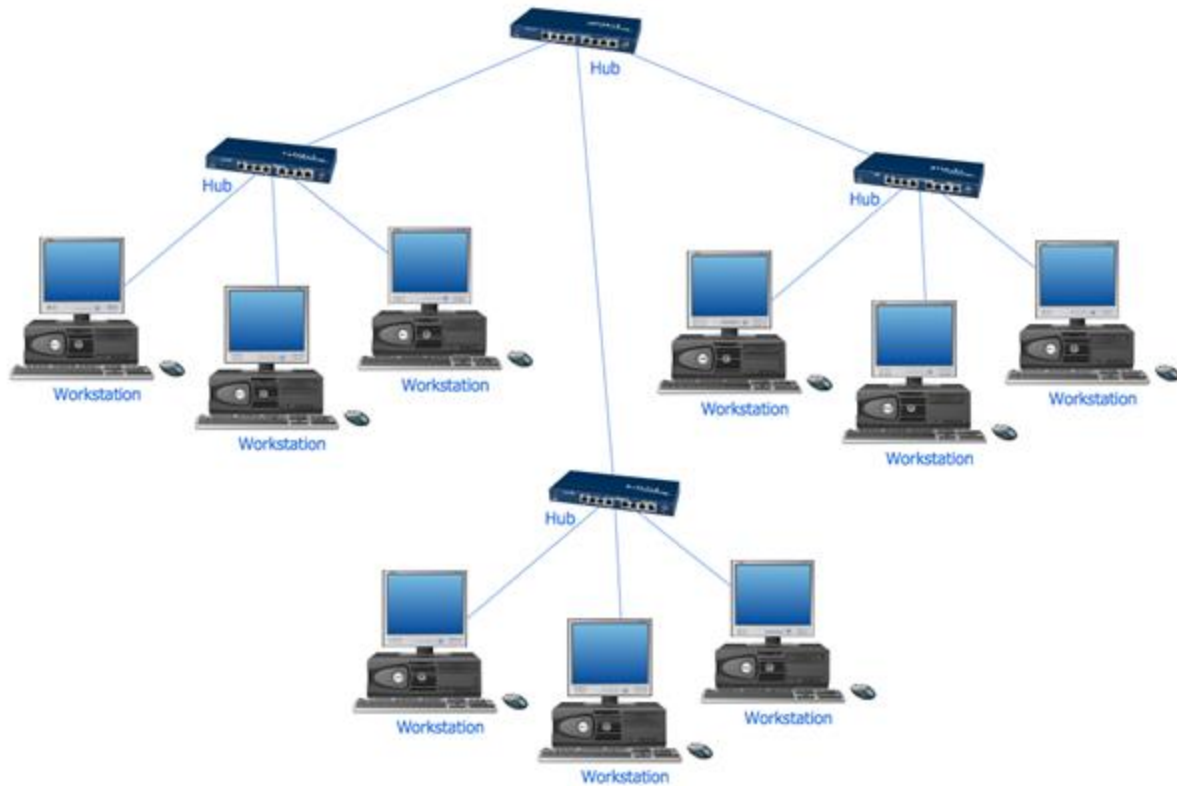
10Base-5



10Base-2



10Base-T

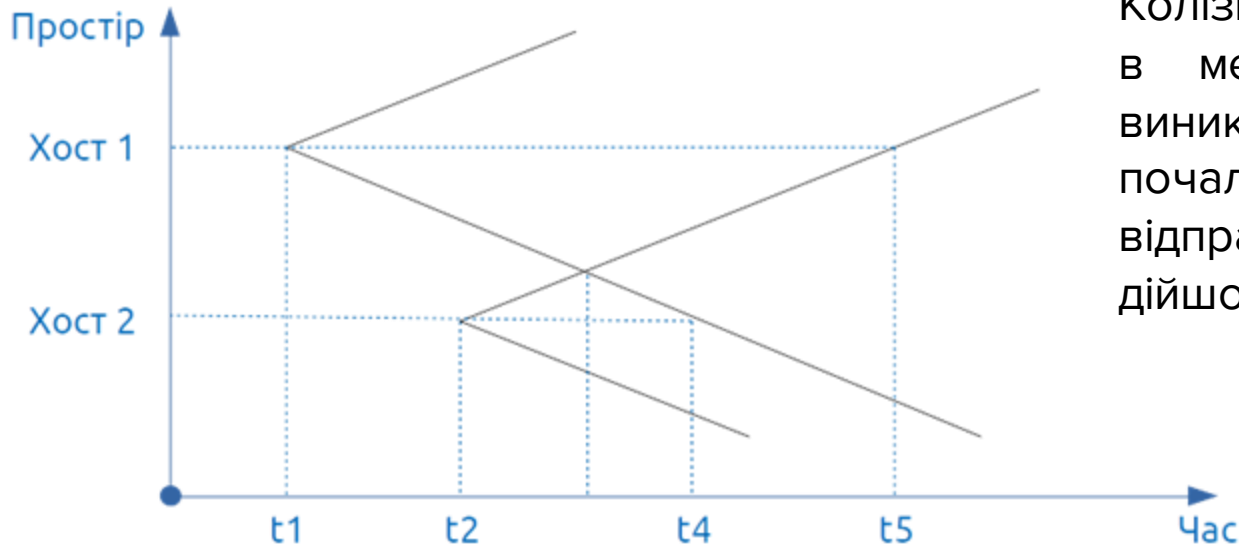


Фізична топологія -
зірка

Логічна топологія -
шина

Протокол CSMA/CD

CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) - протокол множинного доступу з контролем несучої та виявленням колізій



Колізія - нормальна ситуація в мережі Ethernet. Вона виникає, коли інша станція почала передавати, а вже відправлений кадр ще не дійшов до адресата.

CSMA/CD: Прослуховування

Пристрій, що хоче надіслати кадр, "прослуховує" мережу (контроль несучої частоти) - якщо жоден інший пристрій не передає, починає передавання.

Прослуховування полягає в перевірці вхідного сигналу.

CSMA/CD: Передавання

Пристрій передає кадр, вичікує стандартний інтервал (9,6 мкс) і починає прослуховування знову.

Всі приймачі синхронізуються за преамбулою, зчитують перші 6 байт кадру (MAC-адресу) в буфер, перевіряють зі своєю і очищують буфер або продовжують прийом кадру.

Адаптери можуть працювати в нерозбірливому режимі (promiscuous mode) - використовується для діагностики мережі.

CSMA/CD: Конкуренція

Якщо сталася колізія (прийнятий сигнал відрізняється від переданого, мережева карта одночасно працює на передавання і прийом), то:

- в середовище передається спеціальний сигнал (32-бітова jam-послідовність); довжина дротів вибирається так, щоб за час передачі кадра мінімальної довжини сигнал колізії встигав би поширитися до найдалшого вузла мережі.
- пристрої припиняють роботу на деякий час T , що визначається з певного інтервалу розподілу випадкових чисел, після чого прослуховування відновлюється. Алгоритм передбачає 16 таких спроб.

$T = \text{random}(0, 2^N - 1) * (512 \text{ мкс})$, N - номер спроби.

Після десятої спроби $T = \text{random}(0, 1023) * (512 \text{ мкс})$

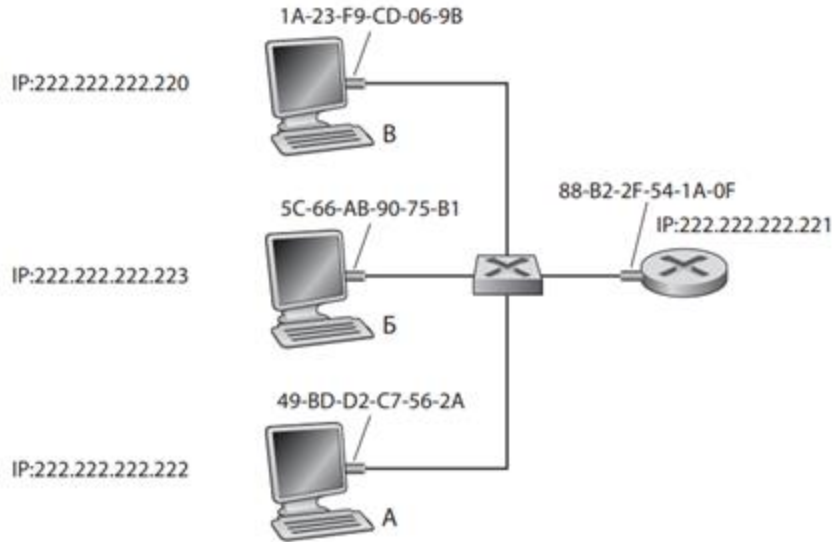
Після 16 спроби мережа вважається неієздатною.

Недоліки класичного Ethernet

- **погана масштабованість** (ефективний до 30 одночасно працюючих на 30% потужності станцій);
- **низький рівень безпеки** (дані отримують всі);
- **різний час доставки кадру через колізії** (погано для трафіку в режимі реального часу)

Вирішення проблеми: **комутований Ethernet**

Комутований Ethernet (без колізій)



Комутатор (switch)

ARP (Address Resolution Protocol) -
протокол визначення адрес

Колізії можливі тільки при збої, тому
притаманне класичному Ethernet
прослуховування несучої частоти
залишається

Fast Ethernet

IEEE 802.3u, 1995р.

Специфікація	Швидкість	Кодування	Кабель	Дуплексний режим
10Base-T	10 Мбіт/с	Manchester II	2 пари UTP 3	+
100Base-TX	125 Мбіт/с	4B/5B, MLT-3	2 пари UTP 5, STP 1	+
100Base-T4	33 Мбіт/с	8B/6T	4 пари UTP 3	-
100Base-T2	25 Мбіт/с	PAM-5	2 пари UTP 3	+
100Base-FX	125 Мбіт/с	4B/5B, NRZI	оптоволокно	+

10Base-T - для порівняння

Gigabit Ethernet

IEEE 802.3ab, 802.3z, 1999р.

Специфікація	Швидкість	Кабель
1000Base-T	1 Гбіт/с	4 пари UTP 6
1000Base-X	1 Гбіт/с	оптоволокну

10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae) 2002 р

100 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ba) 2010 р



- 1) широке поширення (адміністратори добре вивчили технологію і не хотіли переходити на інші);
- 2) на кожну швидшу технологію Ethernet відповідав новою версією, яка не поступалася конкурентам;
- 3) завдяки популярності адаптери і комутатори масово вироблялися та дешевіли.

Технології каналного-фізичного рівнів

У вжитку:

- Ethernet
- Wi-Fi

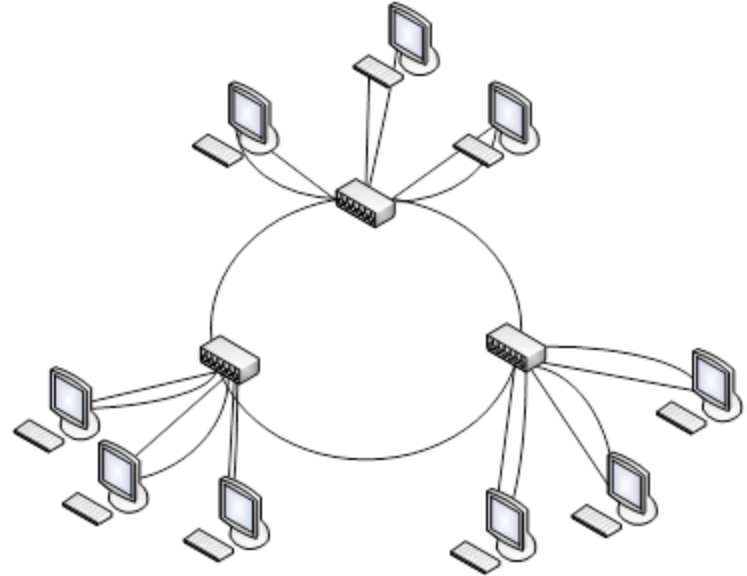
Застарілі:

- Token Ring
- FDDI
- ATM (Sun Microsystems) -> Gigabit Ethernet
- 100VG-AnyLAN
- AppleTalk (Mac) -> Ethernet
- DSL (телефонні лінії)

Token Ring

IEEE 802.5

1985 p.



Token Ring: загальна характеристика

Детермінований метод доступу - право доступу надається маркером (token)

Усі кадри проходять повне кільце - відправник отримає свій же кадр!

4 і 16 Мбіт/с (змішування швидкостей в одному кільці не допускається)

Основні переваги - контроль роботи мережі (активний монітор), гарантія отримання доступу за визначений час

Активний монітор вибирається під час ініціалізації кільця як станція з максимальним значенням MAC-адреси. Якщо він виходить з ладу, процедура ініціалізації кільця повторюється. Для виявлення відмови активний монітор кожні 3 секунди генерує спеціальний кадр своєї присутності. Якщо цей кадр не з'явився впродовж 7 секунд, то решту станцій розпочинають процедуру вибору нового активного монітора

Маркерний метод доступу

Кожна станція обмінюється даними безпосередньо лише з двома сусідніми станціями (попередньою та наступною)

Право доступу надається циклічно від станції до станції по логічному кільцю (циркулює спеціальний кадр - маркер)

Якщо станція “захопила” “порожній” маркер, вона “вилучає” його з кільця і побітно передає в кільце кадр даних спеціального формату

Усі станції ретранслюють кадр, як повторювачі

Якщо станція розпізнала свою адресу в кадрі, вона КОПІЮЄ кадр, а до оригіналу додає мітку підтвердження прийому

Станція-відправник, отримавши кадр з підтвердженням, “вилучає” його з кільця і передає туди “порожній” маркер

На швидкості 16 Мбіт/с застосовується технологія раннього звільнення маркера (після передавання останнього біту кадру, а не після отримання підтвердження)

Фізичний рівень Token Ring

Мережевий адаптер Token Ring

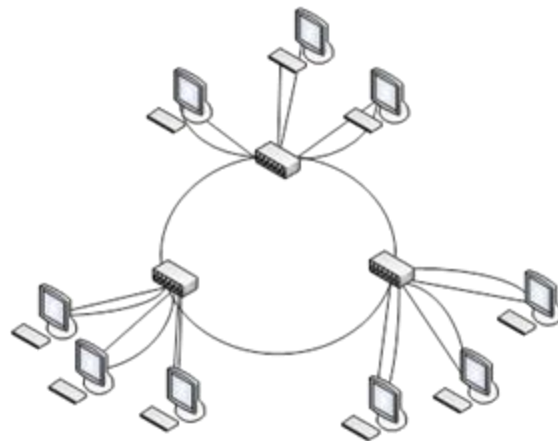
Пристрої мультистанційного доступу
(Multi-station Access Unit, MAU)

260 вузлів на STP (100 м)

72 вузлів на UTP (45 м)

довжина кільця 4000 м

можна на оптоволоконні



High-Speed Token Ring, HSTR

100 і 155 Мбіт/с

100VG-AnyLAN

Новий метод доступу - Demand Priority (відсутність колізій)

Підтримка кадрів двох форматів - Ethernet і Token Ring

Наявність центрального концентратора - арбітра мережі

Кадри передаються лише станціям призначення

Дані передаються одночасно по 4-х парах кабеля UTP категорії 3.

$4 \times 25 \text{ Мбіт/с} = 100 \text{ Мбіт/с}$

Є стандарти для оптоволокна

FDDI

Fibre Distributed Data Interface

Оптоволоконний розподільний інтерфейс

X3T9.5 (ANSI)

FDDI: загальна характеристика

Метод доступу з передаванням маркера (час утримання маркера змінний)

Кільцева топологія

100 Мбіт/с

100 км, < 2 км між вузлами, 500 вузлів

Вільна від електричних завад ->

мала кількість помилок ->

мало повторних передавань ->

низька завантаженість

Дороговизна

