

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*М.С.Бабій*

## **ЛОКАЛЬНІ МЕРЕЖІ ЕОМ**

*Рекомендований вченою радою  
Сумського державного університету  
як навчальний посібник для студентів  
спеціальності “Прикладна математика”*

СУМИ  
ВИДАВНИЦТВО СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ  
2003

# ***1 ОСНОВИ РОБОТИ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ***

## **1.1 Розвиток локальних мереж**

Для організації передачі інформації між вузлами локальної мережі основна роль відводиться протоколу каналного рівня. Для того щоб каналний рівень міг упоратися з цим завданням, структура локальних мереж повинна бути заздалегідь визначеною. Наприклад, найбільш популярний протокол каналного рівня - Ethernet - розрахований на підключення усіх вузлів мережі до загальної для них шини - відрізка коаксіального кабелю. Протокол Token Ring також розрахований на цілком визначену конфігурацію - з'єднання комп'ютерів у кільце.

Подібний підхід, що полягає у використанні простих структур кабельних з'єднань між комп'ютерами локальної мережі, був характерний для другої половини 70-х років. Розроблювачі локальних мереж прагнули знайти простий і дешевий розв'язок для об'єднання декількох десятків комп'ютерів, що розміщені в межах одного будинку, в обчислювальну мережу.

Вибір був зроблений на користь спільного використання кабелів усіма комп'ютерами мережі в режимі поділу часу. Найбільш явно режим спільного використання кабелю виявляється в мережах Ethernet, де коаксіальний кабель фізично являє собою неподільний відрізок кабелю, загальний для усіх вузлів мережі. Але й у мережах Token Ring і FDDI, де кожна сусідня пара комп'ютерів з'єднана своїми індивідуальними відрізками кабелю, ці відрізки не можуть використовуватися комп'ютерами, що безпосередньо до них підключені, у довільний момент часу. Ці відрізки утворюють кільце, доступ до якого як до єдиного цілого може бути отриманий тільки за цілком визначеним алгоритмом, у якому беруть участь усі комп'ютери мережі. Використання кільця як загального ресурсу, що розділяється, спрощує алгоритми передачі по ньому кадрів, тому

що в кожному конкретний момент часу кільце використовується тільки одним комп'ютером.

Такий підхід спрощує логіку роботи локальної мережі. Однак у глобальних мережах, де відрізки кабелів, що з'єднують окремі вузли, не розглядаються як загальний ресурс, доводиться використовувати більш складні вирішення, що запобігають переповненню каналів зв'язку.

Використання в локальних мережах дуже простих конфігурацій поряд із позитивними мало й негативні боки, з яких найбільш серйозними були обмеження щодо продуктивності й надійності. Наявність тільки одного шляху передачі інформації, що розділяється усіма вузлами мережі, у принципі обмежувало пропускну здатність мережі пропускну здатністю цього шляху, а надійність мережі - надійністю цього шляху. Тому у зв'язку з підвищенням популярності локальних мереж і розширенням їх сфер застосування все більше почали застосовуватися спеціальні комунікаційні пристрої - мости і маршрутизатори, - які значною мірою знімали обмеження єдиного середовища передачі даних. Базові конфігурації у формі загальної шини і кільця перетворилися в елементарні структури локальних мереж, які можуть тепер з'єднуватися одна з одною більш складним способом, створюючи основні або резервні шляхи між вузлами.

Звичайно в межах невеликих сегментів використовуються старі протоколи в їх незмінному вигляді, а об'єднання таких сегментів у загальну мережу відбувається за допомогою додаткового устаткування.

За останні декілька років намітився рух до відмови від використання в локальних мережах середовищ передачі даних, що сумісно використовуються, і переходу до обов'язкового використання між станціями активних комутаторів. Кінцеві вузли приєднуються до них індивідуальними лініями зв'язку. У чистому вигляді такий підхід пропонується в технології АТМ (Asynchronous Transfer Mode), а змішаний підхід використовується в технологіях, що мають назви з приставкою

switching ( комутуючий): switching Ethernet, switching Token Ring, switching FDDI.

Але, незважаючи на появу нових технологій, класичні протоколи локальних мереж Ethernet і Token Ring будуть використовувати принаймні ще декілька років. У зв'язку з цим необхідні знання деталей цих протоколів для успішного застосування комунікаційної апаратури.

## **1.2 Структура стандартів IEEE 802**

Термінологія, архітектура і протоколи локальних комп'ютерних мереж описуються стандартами серії IEEE 802. Стандарти IEEE 802 охоплюють тільки два нижніх рівні семи-рівневої моделі OSI - фізичний і канальний. Це пов'язано з тим, що саме ці рівні найбільшою мірою відбивають специфіку локальних мереж. Старші ж рівні, починаючи з мережного рівня, значною мірою мають загальні риси як для локальних, так і для глобальних мереж.

Специфіка локальних мереж знайшла також свій відбиток у поділі канального рівня на два підрівні:

- підрівень керування доступом до середовища (Media Access Control, MAC);
- підрівень керування логічним каналом (Logical Link Control, LLC).

MAC-підрівень появився через існування в локальних мережах середовища передачі даних, що спільно використовується. Саме цей підрівень забезпечує коректне спільне використання загального середовища, надаючи його у відповідності до визначеного алгоритму у розпорядження тієї або іншої станції мережі. Після того як доступ до середовища отриманий, ним може користуватися наступний підрівень, що організує надійну передачу логічних одиниць даних - кадрів інформації. У сучасних локальних мережах одержали поширення

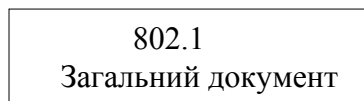
декілька протоколів MAC-підрівня, що реалізують різні алгоритми доступу до середовища, яке сумісно використовується. Ці протоколи цілком визначають специфіку таких технологій, як Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN.

Підрівень LLC відповідає за достовірну передачу кадрів даних між вузлами, а також реалізує функції інтерфейсу з прилягаючим до нього мережним рівнем. Для підрівня LLC також існує декілька варіантів протоколів, що відрізняються наявністю або відсутністю на цьому рівні процедур відновлення кадрів у випадку їх втрати або перекручування, тобто транспортних послуг цього рівня.

Протоколи підрівнів MAC і LLC взаємно незалежні - кожний протокол MAC-підрівня може застосовуватися з будь-яким типом протоколу LLC-підрівня і навпаки.

Стандарт IEEE 802 містить декілька розділів (рис.1.1).

У розділі 802.1 наводяться основні поняття й визначення, загальні характеристики і вимоги до локальних мереж. Розділ 802.2 визначає підрівень керування логічним каналом LLC. Розділи 802.3 - 802.5 регламентують специфікації різних протоколів підрівня доступу до середовища MAC і їх зв'язок із підрівнем LLC. Стандарт 802.3 описує колективний доступ із розпізнанням несучої і виявленням конфліктів (Carrier sense multiple access with collision detection - CSMA/CD), прототипом якого є метод доступу стандарту Ethernet. Стандарт 802.4 визначає метод доступу до шини з передачею маркера (Token bus network), прототип - ArcNet. Стандарт 802.5 описує метод доступу до кільця з передачею маркера (Token ring network), прототип - Token Ring.



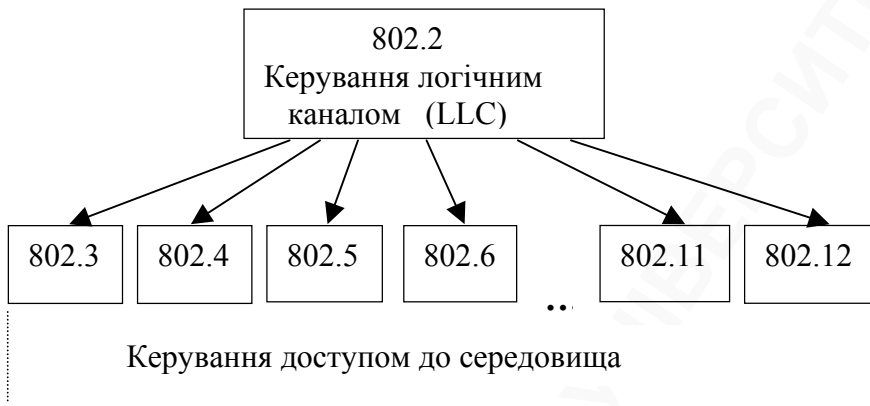


Рисунок 1.1 - Структура стандартів IEEE802

Для кожного з цих стандартів визначені специфікації фізичного рівня, що визначають середовище передачі даних (коаксіальний кабель, вита пара або оптоволоконний кабель), її параметри, а також методи кодування інформації для передачі по даному середовищу.

Усі методи доступу використовують протоколи підрівня керування логічним каналом LLC, що описаний у стандарті 802.2.

### 1.3 Протокол LLC канального рівня

У відповідності до стандарту 802.2 підрівень керування логічним каналом LLC надає верхнім рівням три типи процедур: LLC1 - сервіс без установлення з'єднання і без підтвердження; LLC2 - сервіс із установленням з'єднання і підтвердженням; LLC3 - сервіс без установлення з'єднання, але з підтвердженням.

*Сервіс без установлення з'єднання і без підтвердження LLC1* дає користувачу засоби для передачі даних із мінімумом

витрат. Звичайно, цей вид сервісу використовують тоді, коли такі функції, як відновлення даних після помилок і упорядкування даних виконуються протоколами рівнів, що містяться вище, тому немає потреби дублювати їх на підрівні LLC.

*Сервіс із установленням з'єднання і з підтвердженням LLC2* дає користувачу можливість установити логічне з'єднання перед початком передачі будь-якого блока даних і, якщо це потрібно, виконати процедури відновлення після помилок і упорядкування потоку цих блоків у рамках установленого з'єднання.

При використанні мереж у системах реального часу, що керують промисловими об'єктами, коли витрати часу на встановлення логічного з'єднання перед відправленням даних неприйнятні, а підтвердження коректності прийому переданих даних необхідне, базовий сервіс без установлення з'єднання і без підтвердження не підходить. Для таких випадків передбачений додатковий сервіс, який має назву *сервіс без установлення з'єднання, але з підтвердженням LLC3*.

Частіше усього в локальних мережах використовуються протоколи LLC1. Це пояснюється тим, що кабельні канали локальних мереж забезпечують низьку імовірність перекручування біт і втрати кадрів. Тому використання протоколу LLC2, що підвищує надійність обміну, тільки уповільнює загальну пропускну здатність стека комунікаційних протоколів.

## **1.4 Структура кадрів LLC**

За своїм призначенням всі кадри підрівня LLC, що називаються в стандарті 802.2 блоками даних (Protocol Data Unit, PDU), підрозділяються на три типи: інформаційні, керуючі і нунумеровані.

Інформаційні кадри призначені для передачі інформації в процедурах із установленням логічного з'єднання і повинні обов'язково містити поле інформації. У процесі передачі інформаційних блоків здійснюється їх нумерація в режимі ковзного вікна.

Керуючі кадри призначені для передачі команд і відповідей у процедурах із установленням логічного з'єднання, у тому числі запитів на повторну передачу перекручених інформаційних блоків.

Ненумеровані кадри призначені для передачі ненумерованих команд і відповідей, що виконують у процедурах без установлення логічного з'єднання передачу інформації, ідентифікацію й тестування LLC-підрівня, а в процедурах із установленням логічного з'єднання встановлення й роз'єднання логічного з'єднання, а також інформування про помилки.

Усі типи кадрів підрівня LLC мають єдиний формат. Вони містять чотири поля: адресу входу сервісу одержувача (Destination Service Access Point, DSAP); адресу входу сервісу відправника (Source Service Access Point, SSAP); поле керування (Control); поле даних (Data).

Кадр LLC обрамлюється двома однобайтовими полями "Прапор", що мають значення 01111110. Прапори використовуються на MAC-рівні для визначення границь блока.

Поле даних кадру LLC призначене для передачі мережею пакетів протоколів верхніх рівнів - IP, IPX, AppleTalk, DECnet, у рідкісних випадках - прикладних протоколів, коли ті не користуються мережними протоколами, а вкладають свої повідомлення безпосередньо в кадри каналного рівня. Поле даних може бути відсутнім в керуючих кадрах і деяких ненумерованих кадрах.

Поле керування (один байт) використовується для позначення типу кадру даних - інформаційний, керуючий або ненумерований. Крім того, у цьому полі зазначаються порядкові



номери відправлених і успішно прийнятих кадрів, якщо підрівень LLC працює за процедурою LLC2 із установленням з'єднання.

Поля DSAP і SSAP дозволяють зазначити, який сервіс верхнього рівня пересилає дані за допомогою цього кадру. Програмному забезпеченню вузлів мережі при одержанні кадрів канального рівня необхідно розпізнати, який протокол уклав свій пакет у поле даних кадру, що надійшов, для того щоб передати взятий із кадру пакет потрібному протоколу для подальшої обробки. Наприклад, значенням DSAP і SSAP може бути код протоколу IPX або ж код протоколу покривного дерева Spanning Tree.

## **2 КЛАСИЧНІ МЕРЕЖІ ETHERNET**

### **2.1 Метод доступу CSMA/CD**

У залежності від типу фізичного середовища стандарт IEEE 802.3 має різні модифікації - 10Base-5, 10Base-2, 10Base-T, 10Base-F [1].

Для передачі двійкової інформації по кабелю для усіх варіантів фізичного рівня технології Ethernet використовується манчестерський код.

Усі різновиди стандартів Ethernet використовують один і той самий метод доступу до середовища передачі даних, що називається методом колективного доступу з розпізнаванням **несучої** і виявленням колізій (carrier sense multiply access with collision detection, CSMA/CD).

Цей метод використовується винятково в мережах із загальною шиною. Усі комп'ютери такої мережі мають безпосередній доступ до загальної шини, тому вона може бути використана для передачі даних між будь-якими двома вузлами мережі. Простота схеми підключення - це один із факторів, що визначили успіх стандарту Ethernet. Говорять, що кабель, до якого підключені всі станції, працює в режимі колективного доступу (multiply access, MA).

Усі дані, передані по мережі, розміщуються в кадри визначеної структури і постачаються унікальною адресою станції призначення. Потім кадр передається по кабелю. Усі станції, підключені до кабелю, можуть розпізнати факт передачі кадру і та станція, що упізнає власну адресу в заголовках кадру, записує його вміст у свій внутрішній буфер, обробляє отримані дані і посилає по кабелю кадр-відповідь. Адреса станції-джерела також включена у вихідний кадр, тому станція-одержувач знає, кому потрібно послати відповідь.

При описаному підході можлива ситуація, коли дві станції одночасно намагаються передати кадр даних по загальному

кабелю. Для зменшення імовірності цієї ситуації безпосередньо перед відправленням кадру станція, що передає дані, прослуховує кабель (тобто приймає й аналізує виникаючі на ньому електричні сигнали), щоб виявити, чи не передається вже по кабелю кадр даних від іншої станції. Якщо розпізнається несуча (carrier sense, CS), то станція відкладає передачу свого кадру до закінчення чужої передачі, і тільки потім намагається знову його передати. Але навіть при такому алгоритмі дві станції одночасно можуть вирішити, що по шині в даний момент часу немає передачі, і почати одночасно передавати свої кадри.

Говорять, що при цьому відбувається колізія, тому що вміст обох кадрів стикається на загальному кабелі, що призводить до перекручування інформації (рис. 2.1).

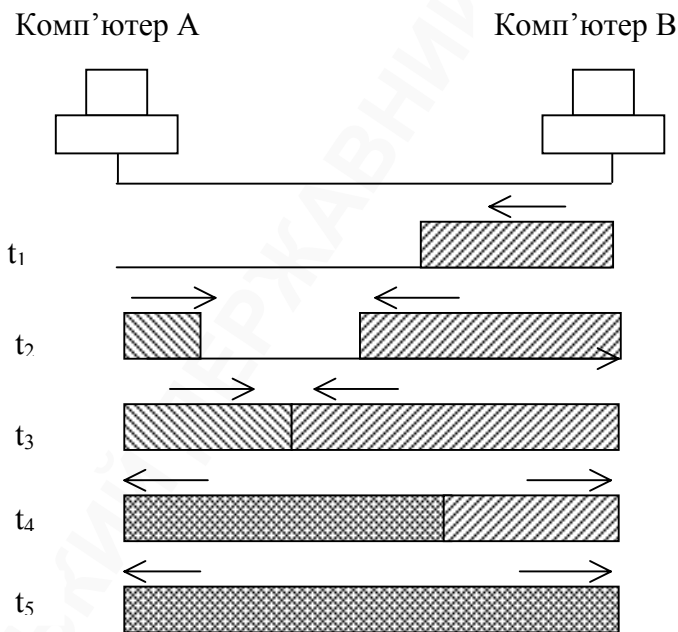


Рисунок.2.1- Схема виникнення колізії

Щоб коректно обробити колізію, усі станції одночасно спостерігають за сигналами, що виникають на кабелі. Якщо передані і одержані сигнали відрізняються, то фіксується виявлення колізії (collision detection, CD).

Після виявлення колізії станція, що передає, зобов'язана припинити передачу й очікувати протягом короткого випадкового інтервалу часу, а потім може знову зробити спробу передачі кадру.

З опису методу доступу бачимо, що він має імовірнісний характер, а імовірність успішного одержання в своє розпорядження загального середовища залежить від завантаженості мережі, тобто від інтенсивності виникнення в станціях потреби передачі кадрів. При розробленні цього методу передбачалося, що швидкість передачі даних у 10 Мб/с дуже висока в порівнянні з потребами комп'ютерів у взаємному обміні даними, тому завантаження мережі буде завжди невеликим. Це припущення залишається часто справедливим і зараз, однак тепер існують програми, що працюють у реальному масштабі часу з мультимедійною інформацією, для яких вимагаються набагато вищі швидкості передачі даних. Тому поряд із класичним Ethernet зростає потреба й у нових високошвидкісних технологіях.

Метод CSMA/CD визначає основні часові і логічні співвідношення, що гарантують коректну роботу всіх станцій у мережі.

Між двома послідовно переданими по загальній шині кадрами інформації повинна витримуватися пауза 9.6 мкс. Ця пауза потрібна для приведення у вихідний стан мережних адаптерів вузлів, а також для запобігання монопольного захоплення середовища передачі даних однією станцією.

При виявленні колізії станція видає в середовище спеціальну 32-бітну jam-послідовність, що підсилює явище

колізії для більш надійного розпізнавання її усіма вузлами мережі.

Після виявлення колізії кожний вузол, що передавав кадр і зіштовхнувся з колізією, після деякої затримки намагається повторно передати свій кадр. Вузол робить максимально 16 спроб передачі цього кадру інформації, після чого відмовляється від його передачі. Розмір затримки вибирається як рівномірно розподілене випадкове число з інтервалу, довжина якого експоненціально збільшується з кожною спробою. Такий алгоритм вибору розміру затримки знижує імовірність колізій і зменшує інтенсивність видачі кадрів у мережу при її високому завантаженні.

Чітке розпізнавання колізій усіма станціями мережі є необхідною умовою коректної роботи мережі Ethernet. Якщо станція, яка передає, не розпізнає колізію і вирішить, що кадр даних нею переданий правильно, тоді цей кадр даних буде загублений, тому що інформація кадру спотвориться через накладення сигналів при колізії, і кадр буде забракований станцією, що його приймає (швидше за все через розбіжність контрольної суми). Звичайно, швидше за все, переключена інформація буде повторно передана яким-небудь протоколом верхнього рівня, наприклад, транспортним або прикладним, працюючим із установленням з'єднання і нумерацією своїх повідомлень. Але повторна передача повідомлення протоколами верхніх рівнів відбудеться через набагато триваліший інтервал часу (десятки секунд) у порівнянні з мікросекундними інтервалами, якими оперує протокол Ethernet. Тому якщо колізії не будуть надійно розпізнаватися вузлами мережі Ethernet, то це призведе до помітного зниження корисної пропускну здатності даної мережі.

Усі параметри протоколу Ethernet підібрані таким чином, щоб при нормальній роботі вузлів мережі колізії завжди чітко розпізнавалися. Саме для цього мінімальна довжина поля даних кадру повинна бути не менше ніж 46 байт, що разом із

службовими полями дає мінімальну довжину кадру в 72 байти. Довжина кабельної системи вибирається таким чином, щоб за час передачі кадру мінімальної довжини сигнал колізії **встиг** би поширитися до самого далекого вузла мережі. Тому для швидкості передачі даних 10 Мб/с, використаної в стандартах Ethernet, максимальна відстань між двома будь-якими вузлами мережі не повинна перевищувати 2500 метрів.

Зі збільшенням швидкості передачі кадрів, що має місце в нових стандартах, котрі базуються на тому ж методі доступу CSMA/CD, наприклад, Fast Ethernet, максимальна довжина мережі зменшується пропорційно збільшенню швидкості передачі. У стандарті Fast Ethernet вона складає 210 м, а в гігабайтовому Ethernet обмежена 25 метрами.

Незалежно від реалізації фізичного середовища, усі мережі Ethernet повинні задовольняти двом обмеженням, пов'язаним із методом доступу: максимальна відстань між двома будь-якими вузлами не повинна перевищувати 2500 м; у мережі не повинно бути більше ніж 1024 вузлів.

Крім того, кожний варіант фізичного середовища додає до цих обмежень свої обмеження, що також повинні виконуватися.

## **2.2 Різновиди фізичного середовища Ethernet**

Перші мережі технології Ethernet були створені на коаксіальному кабелі діаметром 0.5 дюйма. Надалі були визначені й інші специфікації фізичного рівня для стандарту Ethernet, що дозволяють використовувати різні середовища передачі даних як загальну шину. Метод доступу CSMA/CD і всі тимчасові параметри Ethernet залишаються тими самими для будь-якої специфікації фізичного середовища.

Фізичні специфікації технології Ethernet на сьогоднішній день використовують такі середовища передачі даних:

- 10Base-5 - коаксіальний кабель діаметром 0.5 дюйма, який називають "товстим" коаксіалом. Має хвильовий опір 50 Ом. Максимальна довжина сегмента - 500 метрів (без повторювачів).
- 10Base-2 - коаксіальний кабель діаметром 0.25 дюйма, який називають "тонким" коаксіалом. Має хвильовий опір 50 Ом. Максимальна довжина сегмента - 185 метрів (без повторювачів).
- 10Base-T - кабель на основі неекранованої витієї пари (Unshielded TwistedPair, UTP). Утворює зіркоподібну топологію з концентратором. Відстань між концентратором і кінцевим вузлом - не більше ніж 100 м.
- 10Base-F - оптоволокнистий кабель. Топологія аналогічна до стандарту на витій парі. Є декілька варіантів цієї специфікації - FOIRL, 10Base-FL, 10Base-FB.

Число 10 позначає бітову швидкість передачі даних цих стандартів – 10 Мб/с, а слово Base - метод передачі на одній базовій частоті 10 Мгц (на відміну від стандартів, що використовують декілька несучих частот і називаються broadband - широкосмуговими).

### 2.3 Стандарт 10Base-5

Стандарт 10Base-5 вважається класичним Ethernet. Він використовує як середовище передачі даних коаксіальний кабель із діаметром центрального мідного проводу 2,17 мм і зовнішнім діаметром близько 10 мм ("товстий" Ethernet).

Кабель використовується як моноканал для всіх станцій. Сегмент кабеля має максимальну довжину 500 м (без повторювачів) і повинен мати на кінцях термінатори опором

50 Ом, що поглинають сигнали, які поширюються по кабелю, і перешкоджають виникненню відбитих сигналів.

Різні компоненти мережі, виконаної на "товстому" коаксіалі, показані на рис. 2.2.

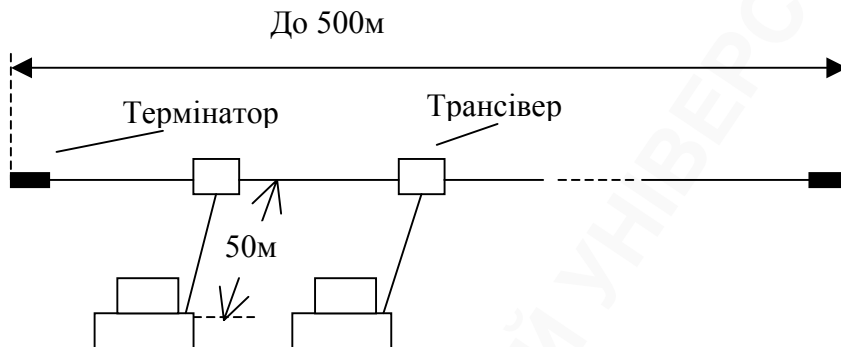


Рисунок 2.2 - Сегмент мережі Ethernet 10Base-5

Станція повинна підключатися до кабелю за допомогою приймача-передавача - трансівера. Трансівер установлюється безпосередньо на кабелі.

Трансівер може під'єднуватися до кабелю як методом проколювання, що забезпечує безпосередній фізичний контакт, так і безконтактним методом. Трансівер з'єднується з мережним адаптером інтерфейсним кабелем AUI (Attachment Unit Interface) довжиною до 50 м, що складається з 4 витих пар. Допускається підключення до одного сегмента не більше ніж 100 трансіверів, причому відстань між підключеннями трансіверів не повинна бути меншою ніж 2,5 м.

Трансівер - це частина мережного адаптера, що виконує такі функції: приймання і передача даних із кабелю на кабель; визначення колізій на кабелі; електрична розв'язка між кабелем та іншою частиною адаптера; захист кабелю від некоректної роботи адаптера.



До переваг стандарту 10Base-5 належать: добра захищеність кабелю від зовнішніх впливів; порівняно велика відстань між вузлами; можливість простого переміщення робочої станції в межах довжини кабелю AUI.

До недоліків варто віднести: високу вартість кабелю; складність його прокладки через велику жорсткість; необхідність спеціального інструмента для закладення кабелю; при ушкодженні кабелю або поганому з'єднанні відбувається зупинка роботи всієї мережі; необхідно заздалегідь передбачити підведення кабелю до всіх можливих місць установлення комп'ютерів.

## 2.4 Стандарт 10Base-2

Стандарт 10Base-2 використовує як середовище для передачі даних коаксіальний кабель із діаметром центрального мідного проводу 0,89 мм і зовнішнім діаметром близько 5 мм ("тонкий" Ethernet), хвильовий опір кабелю 50 Ом.

Максимальна довжина сегмента без повторювачів складає 185 м, сегмент повинен мати на кінцях термінатори опором 50 Ом.

Станції підключаються до кабелю за допомогою T-конектора, що являє собою трійник, один відвід якого з'єднується з мережним адаптером, а два інших - із двома кінцями розриву кабелю. Максимальна кількість станцій, що підключаються до одного сегмента, 30. Мінімальна відстань між станціями - 1 м.

Цей стандарт дуже близький до стандарту 10Base-5. Але трансівери в ньому об'єднані з мережними адаптерами за рахунок того, що більш гнучкий тонкий коаксіальний кабель може бути підведений безпосередньо до вихідного рознімання плати мережного адаптера, встановленої в шасі комп'ютера. Кабель у даному випадку висить на мережному адаптері, що утруднює фізичне переміщення комп'ютерів.

Топологія сегмента мережі стандарту 10Base-2 показана на рисунку 2.3.

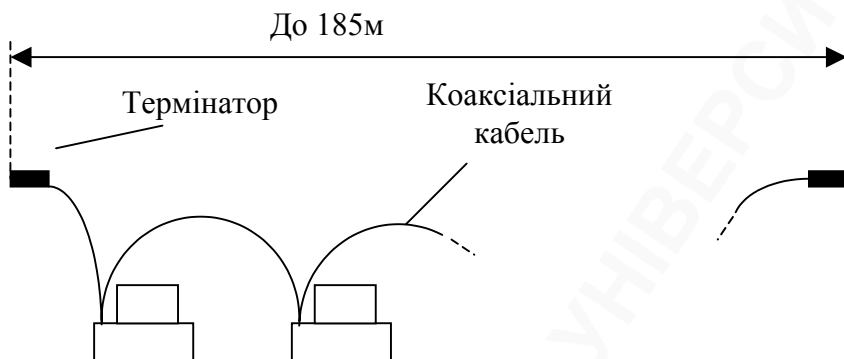


Рисунок 2.3 - Сегмент мережі Ethernet 10Base-2

Реалізація цього стандарту на практиці приводить до найбільш простого розв'язку для кабельної мережі, тому що для з'єднання комп'ютерів потрібні тільки мережні адаптери і Т-конектори. Однак цей вид кабельних з'єднань найбільш схильний до аварій, тому що кабель має багато механічних з'єднань. Крім того, користувачі мають доступ до рознімів і можуть порушити цілісність каналу, а від кожної станції через Т-конектор відходять два проводи, що часто утворюють моток кабелю - запас, необхідний на випадок переміщення робочого місця.

Загальним недоліком стандартів 10Base-5 і 10Base-2 є відсутність оперативної інформації про стан моноканалу. Ушкодження кабелю виявляється відразу ж, тому що мережа припиняє працювати, але для пошуку відрізка кабелю, що відмовив, необхідний спеціальний прилад - кабельний тестер.

## 2.5 Стандарт 10Base-T

Стандарт прийнятий як доповнення до існуючого набору стандартів Ethernet і має позначення 802.3і.

Використовує як середовище подвійну неекрановану виту пару (Unshielded Twisted Pair, UTP). З'єднання станцій здійснюються за топологією "точка - точка" із спеціальним пристроєм - багатопортовим повторювачем за допомогою двох витих пар. Одна вита пара використовується для передачі даних від станції до повторювача (вихід Tx мережного адаптера), а інша - для передачі даних від повторювача станції (вхід Rx мережного адаптера).

Багатопортові повторювачі в даному випадку звичайно називаються концентраторами. (рис.2.4). Використовується також англomовний термін - hub.

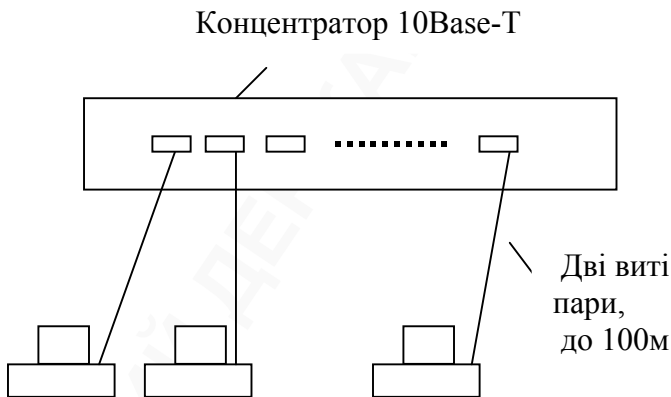


Рисунок 2.4 - Сегмент мережі 10Base-T

Концентратор здійснює функції повторювача сигналів на усіх відрізках витих пар, підключених до його портів, так що утвориться єдине середовище передачі даних - моноканал.

Повторювач виявляє колізію в сегменті у випадку одночасної передачі сигналів по декількох своїх Rx входах і посилає jam-послідовність на усі свої Tx-виходи. Стандарт визначає бітову швидкість передачі даних 10 Мб/с і максимальну відстань відрізка витої пари між двома безпосередньо зв'язаними вузлами (станціями і концентраторами) не більше ніж 100 м при використанні **витої** пари не нижче ніж категорії 3.

Можливо ієрархічне з'єднання концентраторів у дерево. Для забезпечення синхронізації станцій при реалізації процедур доступу CSMA/CD і надійного розпізнавання станціями колізій у стандарті визначене максимальне число концентраторів між будь-якими двома станціями мережі.

Загальна кількість станцій у мережі 10Base-T не повинна перевищувати 1024.

Мережі, побудовані на основі стандарту 10Base-T, мають у порівнянні з коаксіальними варіантами Ethernet'a багато переваг. Ці переваги пов'язані з поділом загального фізичного кабелю на окремі кабельні відрізки, підключені до центрального комунікаційного пристрою. І хоча логічно ці відрізки як і раніше утворюють загальний домен колізій, їх фізичний поділ дозволяє контролювати їх стан і відключати у випадку обриву, короткого замикання або несправності мережного адаптера на індивідуальній основі. Ця обставина істотно полегшує експлуатацію великих мереж Ethernet, тому що концентратор, звичайно, автоматично виконує такі функції, повідомляючи при цьому адміністратора мережі про виниклу проблему.

## **2.6 Стандарт 10Base-F**

Стандарт 10Base-F використовує як середовище передачі даних оптоволокну. Функціонально мережа стандарту 10Base-F складається з тих же елементів, що і мережа стандарту 10Base-T -

мережних адаптерів, багатопортового повторювача і відрізків кабелю, що з'єднують адаптер із портом повторювача. Як і при використанні витої пари, для з'єднання адаптера з повторювачем використовується два оптоволокна - одне з'єднує вихід Tx адаптера з входом Rx повторювача, а інше - вхід Rx адаптера з виходом Tx повторювача.

Стандарт FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link) - це перший стандарт комітету 802.3 для використання оптоволокни в мережах Ethernet. Він гарантує довжину оптоволокнистого зв'язку між повторювачами до 1 км при загальній довжині мережі не більше ніж 2500 м. Максимальне число повторювачів - 4.

Стандарт 10Base-FL призначений для з'єднання кінцевих вузлів із концентратором і працює із сегментами оптоволокнистою довжиною не більше ніж 2000 м при загальній довжині мережі не більше ніж 2500 м. Максимальне число повторювачів - 4.

Стандарт 10Base-FB призначений для магістрального з'єднання повторювачів. Він дозволяє мати в мережі до 5 повторювачів при максимальній довжині одного сегмента 2000 м і максимальній довжині мережі 2740 м. Повторювачі, з'єднані за стандартом 10Base-FB, постійно обмінюються спеціальними послідовностями сигналів, що відрізняються від сигналів кадрів даних, для виявлення відмов своїх портів. Тому концентратори стандарту 10Base-FB можуть підтримувати резервні зв'язки, переходячи на резервний порт при виявленні відмови основного за допомогою тестових спеціальних сигналів. Концентратори цього стандарту передають як дані, так і сигнали простою лінією синхронно, тому біти синхронізації кадру не потрібні і не передаються. Стандарт 10Base-FB називають також синхронний Ethernet.

## 3 МЕРЕЖА TOKEN RING

### 3.1 Основні характеристики стандарту

Мережі стандарту Token Ring так як і мережі Ethernet використовують розподілене середовище передачі даних, що складається з відрізків кабелю, що з'єднують усі станції мережі в кільце (рис.3.1).

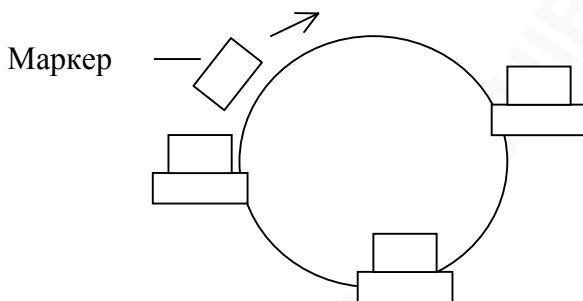


Рисунок 3.1 - Кільцева

Кільце розглядається як загальний ресурс, що розділяється, і для доступу до нього використовується не випадковий алгоритм, як у мережах Ethernet, а детермінований, заснований на передачі станціями права на використання кільця у визначеному порядку. Право на використання кільця передається за допомогою кадру спеціального формату, названого маркером або токеном.

Мережі Token Ring працюють із двома бітовими швидкостями - 4 Мб/с і 16 Мб/с. Перша швидкість визначена у стандарті 802.5, а друга є новим стандартом, що з'явився в результаті розвитку технології Token Ring. Змішування станцій, що працюють на різних швидкостях, в одному кільці не допускається.

Мережі Token Ring, що працюють зі швидкістю 16 Мб/с, мають і деякі удосконалення в алгоритмі доступу в порівнянні зі стандартом 4 Мб/с.

### **3.2 Маркерний метод доступу**

У мережах із маркерним методом доступу право на доступ до середовища передається циклічно від станції до станції по логічному кільцю. Кільце утворюється відрізками кабелю, що з'єднують сусідні станції. Таким чином, кожна станція зв'язана зі своєю попередньою і наступною станціями і може безпосередньо обмінюватися даними тільки з ними. Для забезпечення доступу станцій до фізичного середовища по кільцю циркулює кадр спеціального формату і призначення - маркер або токен (рис. 3.1).

Отримавши маркер, станція аналізує його, за необхідності модифікує і за відсутності в ній даних для передачі забезпечує його просування до наступної станції. Станція, що має дані для передачі, при одержанні маркера вилучає його з кільця, що дає їй право доступу до фізичного середовища і передачі своїх даних. Потім ця станція видає в кільце кадр даних установленого формату послідовно по бітах. Передані дані проходять по кільцю завжди в одному напрямку від однієї станції до іншої.

При надходженні кадру даних до однієї або декількох станцій ці станції копіюють для себе цей кадр і вставляють у нього підтвердження прийому. Станція, що видала кадр даних у кільце, при зворотному його одержанні з підтвердженням прийому вилучає цей кадр із кільця і видає новий маркер для забезпечення можливості іншим станціям мережі передавати дані.

У мережах Token Ring 16 Мб використовується трохи інший алгоритм доступу до кільця, названий алгоритмом раннього звільнення маркера (Early Token Release). Відповідно до нього станція передає маркер доступу наступній станції відразу ж після

закінчення передачі останнього біта кадру, не чекаючи повернення по кільцю цього кадру з бітом підтвердження прийому. У цьому випадку пропускна здатність кільця використовується більш ефективно.

Для різних видів повідомлень переданим даним можуть призначатися різні пріоритети.

Кожна станція має механізми виявлення й усунення несправностей мережі, що виникають у результаті помилок передачі або перехідних явищ (наприклад, при підключенні і відключенні станції).

Не всі станції в кільці однакові. Одна зі станцій позначається як активний монітор, що означає додаткову відповідальність щодо керування кільцем. Активний монітор здійснює керування тайм-аутом у кільці, за необхідності породжує нові маркери, щоб зберегти робочий стан, генерує діагностичні кадри. Активний монітор вибирається, коли кільце ініціалізується, і для цього може бути використана будь-яка станція мережі. Якщо монітор відмовив з якоїсь причини, існує механізм, за допомогою якого інші станції можуть домовитися, яка з них буде новим активним монітором.

### **3.3 Формати кадрів Token Ring**

У Token Ring існує три різних формати кадрів: маркер, кадр даних і перериваюча послідовність.

*Кадр маркера* складається з трьох полів: поле початкового обмежувача, поле контролю доступу і поле кінцевого обмежувача. Кожне поле має довжину в один байт.

Поле початкового обмежувача з'являється на початку маркера, а також на початку будь-якого кадру, що проходить мережею. Поле складається з унікальної серії електричних імпульсів, що відрізняються від тих імпульсів, якими кодуються



одиниці і нулі в байтах даних. Тому початковий обмежувач не можна сплутати ні з якою бітовою послідовністю.

Поле керування доступом містить біти пріоритету, біт маркера і біт монітора.

Кожний кадр або маркер має пріоритет, обумовлений бітами пріоритету (значення від 0 до 7, 7 - найвищий пріоритет). Станція може скористатися маркером, якщо тільки вона одержала маркер із однаковим пріоритетом або меншим, ніж її власний.

Біт маркера має значення 0 для маркера і 1 - для кадру.

Біт монітора встановлюється в 1 активним монітором і в 0 будь-якою іншою станцією, що передає маркер або кадр. Якщо активний монітор бачить маркер або кадр, що містить біт монітора 1, то активний монітор знає, що цей кадр або маркер уже один раз пройшов кільце і не був оброблений станціями.

Поле кінцевого обмежувача так само, як і поле початкового обмежувача, містить унікальну серію електричних імпульсів, які не можна сплутати з даними. Крім оцінки кінця маркера, це поле також містить два підполя: біт проміжного кадру і біт помилки.

*Кадр даних* складається з декількох груп полів: послідовність початку кадру, адреса одержувача, адреса відправника, дані, послідовність контролю кадру, послідовність кінця кадру.

Кадр даних може переносити дані або для керування кільцем (дані MAC-підрівня), або користувальні дані (LLC-підрівня). Стандарт Token Ring визначає 6 типів керуючих кадрів MAC-підрівня.

Поле "послідовність початку кадру" визначає тип кадру (MAC або LLC), і якщо він визначений як MAC, то поле також зазначає тип кадру.

Адреса одержувача й адреса відправника мають однаковий формат. Перший біт визначає адресу як групову або індивідуальну.

Поле даних кадру може містити дані керуючих кадрів MAC або запис користувальних даних, призначених для протоколу

більш високих рівнів, таких, як IPX або NetBIOS. Це поле не має визначеної максимальної довжини, хоча існують практичні обмеження на її розмір, що ґрунтуються на вимогах до того, як довго станція може керувати кільцем.

Послідовність контролю кадру використовується для виявлення помилок.

Послідовність кінця кадру складається з двох полів: кінцевий обмежувач і статус кадру.

Кінцевий обмежувач у кадрі даних має додаткове значення в порівнянні з маркером. Крім унікальної послідовності електричних імпульсів, він містить два однобітових поля: біт проміжного кадру і біт виявлення помилки. Біт проміжного кадру встановлюється в 1, якщо цей кадр є частиною багатокadroвої передачі, або в 0 для останнього або єдиного кадру. Біт виявлення помилки спочатку встановлений у 0, кожна станція, через яку передається кадр, перевіряє його на помилки за контрольною сумою і встановлює біт виявлення помилки в 1, якщо вона виявлена. Чергова станція, що бачить уже встановлений біт виявлення помилки, повинна просто передати кадр. Вихідна станція помітить, що виникла помилка, і повторить передачу кадру.

Статус кадру має довжину 1 байт і містить два підполя: біт розпізнавання адреси і біт копіювання кадру. Коли кадр створюється, станція, що передає, встановлює біт розпізнавання адреси в 0, а станція, що одержує, установлює біт у 1, щоб повідомити, що вона розпізнала адресу одержувача. Біт копіювання кадру також спочатку встановлений у 0, але встановлюється в 1 станцією, що одержує, коли вона копіює вміст кадру у власну пам'ять, тобто коли вона реально одержує дані. Дані копіюються і біт установлюється, якщо тільки кадр отриманий без помилок. Якщо кадр повертається з обома встановленими бітами, вихідна станція знає, що відбулося позитивне одержання. Якщо біт розпізнавання адреси не встановлений під час одержання кадру, це означає, що станція

призначення більше не наявна у мережі, наприклад, через неполадки. Можлива інша ситуація, коли адреса одержувача пізнається, але біт копіювання кадру не встановлений. Це означає для вихідної станції те, що кадр був перекручений під час передачі.

*Перериваюча послідовність* складається з двох байтів, що містять початковий обмежувач і кінцевий обмежувач. Перериваюча послідовність може з'явитися в будь-якому місці потоку бітів і сигналізувати про те, що поточна передача кадру або маркера скасовується.

Як бачимо з опису процедур обміну даними, у мережі Token Ring на підрівнях MAC і LLC застосовуються процедури без встановлення зв'язку, але з підтвердженням одержання кадрів.

### **3.4 Фізична реалізація мереж Token Ring**

Стандарт Token Ring фірми IBM передбачає побудову зв'язків у мережі як за допомогою безпосереднього з'єднання станцій одна з одною, так і утворення кільця за допомогою концентраторів (MAU - Media Attachment Unit або MSAU - Multi-Station Access Unit).

Максимальна довжина відгалуженого кабелю залежить від типу концентратора, типу кабелю і швидкості передачі даних. Звичайно, для швидкості 16 Мб/с максимальна довжина кабелю Type 1 може досягати 200 м, а для швидкості 4 Мб/с - 600 м. Концентратори Token Ring діляться на активні і пасивні. Пасивні концентратори забезпечують тільки з'єднання портів усередині концентратора в кільце, активні виконують і функції повторювача, забезпечуючи синхронізацію сигналів і виправлення їхньої амплітуди і форми. Природно, що активні концентратори підтримують довші відстані до станції, ніж пасивні.

Інші станції мережі з'єднані в кільце безпосередніми зв'язками. Такі зв'язки називають магістральними (trunk cable).

Максимальна кількість станцій в одному кільці - 250.

Крім екранованої виті пари, існують мережні адаптери і концентратори Token Ring, що підтримують неекрановану виту пару й оптоволокно.

## **4 ВИСОКОШВИДКІСНІ МЕРЕЖІ ETHERNET**

### **4.1 Перехід від Ethernet до Fast Ethernet**

Технологія Fast Ethernet є еволюційним розвитком класичної технології Ethernet.

Більш складна структура фізичного рівня технології Fast Ethernet викликана тим, що в ній використовуються три варіанти кабельних систем: оптоволокно, 2-парна вита пари категорії 5 і 4-парна вита пари категорії 3. При цьому у порівнянні з варіантами фізичної реалізації Ethernet тут відмінності кожного варіанта від інших більші - змінюється і кількість провідників, і методи кодування.

Основними перевагами технології Fast Ethernet є збільшення пропускної здатності сегментів мережі до 100 Мб/с, збереження методу випадкового доступу Ethernet, збереження зіркоподібної топології мереж і підтримка традиційних середовищ передачі даних - витой пари й оптоволокнистого кабелю.

Зазначені властивості дозволяють здійснювати поступовий перехід від мереж 10Base-T – декілька застарілого на сьогоднішній день варіанта Ethernet - до швидкісних мереж, що зберігають значну подібність із добре знайомою технологією: Fast Ethernet не вимагає перекваліфікації персоналу і заміни устаткування в усіх вузлах мережі.

Офіційний стандарт 100Base-T (802.3u) установив три різних специфікації для фізичного рівня в термінах моделі OSI для підтримки подальших типів кабельних систем:

- 100Base-TX для двопарного кабелю на неекранованій витій парі UTP категорії 5 або екранованій витій парі STP Type 1;
- 100Base-T4 для чотирипарного кабелю на неекранованій витій парі UTP категорії 3, 4 або 5;
- 100Base-FX для багатомодового оптоволокнистого кабелю.

## 4.2 Метод доступу до середовища CSMA/CD

Підрівні LLC і MAC у стандарті Fast Ethernet не зазнали змін.

Підрівень LLC забезпечує інтерфейс протоколу Ethernet із протоколами рівнів, що розміщені вище, наприклад, із IP або IPX.

Підрівень MAC відповідальний за формування кадру Ethernet, одержання доступу до середовища передачі даних і за відправлення кадру за допомогою фізичного рівня вузлу призначення. Середовище Ethernet незалежно від його фізичної реалізації (коаксіальний кабель, вита пара або оптоволокно з повторювачами) у будь-який момент часу перебуває в одному з трьох станів - вільному, зайнятому, колізії. Стан зайнятості відповідає нормальній передачі кадру одним із вузлів мережі. Стан колізії виникає при одночасній передачі кадрів більше ніж одним вузлом мережі. MAC-підрівень кожного вузла мережі одержує від фізичного рівня інформацію про стан розподіленого середовища. Якщо воно вільне і в MAC-підрівня є кадр для передачі, то він передає його через фізичний рівень у мережу. Фізичний рівень одночасно з побітовою передачею кадру стежить за станом середовища. Якщо за час передачі кадру колізія не виникла, то кадр вважається переданим. Якщо ж за цей час колізія була зафіксована, то передача кадру припиняється, і в мережу видається спеціальна послідовність із 32 бітів (jam-послідовність), що повинна допомогти однозначно розпізнати колізію усіма вузлами мережі.

Після фіксації колізії MAC-підрівень робить випадкову паузу, а потім знову намагається передати даний кадр. Випадковий характер паузи зменшує імовірність одночасної спроби захоплення розподіленого середовища декількома вузлами при подальшій спробі. Інтервал, із якого вибирається випадковий розмір паузи, зростає з кожною спробою так, що при

великому завантаженні мережі відбувається пригальмовування вузлів. Максимальне число спроб передачі одного кадру - 16, після чого MAC-підрівень залишає даний кадр і починає передачу наступного кадру, що надійшов із LLC-підрівня. MAC-підрівень вузла приймача, що одержує біти кадру від свого фізичного рівня, перевіряє поле адреси кадру, і якщо адреса збігається з його власною, то він копіює кадр у свій буфер. Якщо кадр коректний, то його поле даних передається на LLC-підрівень, якщо ні - тоді відкидається.

Формати кадрів технології Fast Ethernet не відрізняються від форматів кадрів технологій 10-мегабітового Ethernet.

Весь час передачі кадрів Fast Ethernet у 10 разів менший від відповідного часу технології 10-мегабітового Ethernet: міжбітовий інтервал складає 10 нс замість 100 нс, а міжкадровий інтервал – 0,96 мкс замість 9,6 мкс відповідно.

### **4.3 Фізичний рівень Fast Ethernet**

Для технології Fast Ethernet розроблені різні варіанти фізичного рівня, що відрізняються не тільки типом кабелю й електричних параметрів імпульсів, як це було в технології 10-мегабітового Ethernet, але і способом кодування сигналів, і кількістю використовуваних у кабелі провідників. Тому фізичний рівень Fast Ethernet має більш складну структуру, ніж класичний Ethernet.

Фізичний рівень складається з трьох підрівнів: рівень узгодження (reconciliation sublayer), незалежний від середовища інтерфейс (Media Independent Interface, МІІ) і пристрій фізичного рівня (Physical layer device, РНУ).

Пристрій фізичного рівня (РНУ) забезпечує кодування даних, що надходять від MAC-підрівня для передачі їх по кабелю визначеного типу, синхронізацію переданих по кабелю даних, а також прийом і декодування даних у вузлі-приймачі.

Інтерфейс МП підтримує незалежний від використовуваного фізичного середовища спосіб обміну даними між МАС-підрівнем і підрівнем РНУ. Цей інтерфейс аналогічний за призначенням до інтерфейсу АUI класичного Ethernet.

Підрівень узгодження потрібний для того, щоб погодити роботу підрівня МАС з інтерфейсом МП.

Для інтерфейсу МП існує два варіанти реалізації: внутрішній і зовнішній.

У внутрішньому варіанті мікросхема, що реалізує підрівні МАС за допомогою інтерфейсу МП, з'єднується з мікросхемою трансівера усередині плати мережного адаптера або модуля маршрутизатора. Мікросхема трансівера реалізує усі функції пристрою РНУ.

Зовнішній варіант відповідає випадку, коли трансівер винесений в окремий пристрій і з'єднаний кабелем МП із мікросхемою МАС-підрівня.

МП використовує 4-бітові порції даних для рівнобіжної передачі їх між МАС і РНУ. Канал передачі даних від МАС до РНУ утворений 4-бітовою шиною даних.

Аналогічно, канал передачі даних від РНУ до МАС утворений іншою 4-бітовою шиною даних.

Якщо пристрій РНУ виявив помилку в стані фізичного середовища, то воно може передати повідомлення про це на підрівень МАС у вигляді сигналу "Помилка прийому".

МАС-підрівень повідомляє про помилку пристрою РНУ за допомогою сигналу "Помилка передачі".

## **4.4 Стандарт 100Base-FX**

Мережа 100Base-FX використовує, як уже було зазначено, багатомодовий оптоволокнистий кабель.



Фізичний рівень РНУ відповідальний за отримання даних у рівнобіжній формі від MAC-підрівня, трансляцію їх в один (TX або FX) або три послідовних потоки бітів із можливістю побітової синхронізації і передачу їх через рознімання на кабель. Аналогічно, на приймальному вузлі рівень РНУ повинний приймати сигнали по кабелю, визначати моменти синхронізації бітів, вибирати біти з фізичних сигналів, перетворювати їх у рівнобіжну форму і передавати підрівню MAC.

Відповідна РНУ FX специфікація визначає роботу протоколу Fast Ethernet по багатомодовому оптоволокну на основі добре перевіреної схеми кодування і передачі оптичних сигналів, що використовується протягом декількох років у стандарті FDDI. Як і в стандарті FDDI, кожний вузол з'єднується з мережею двома оптичними волокнами, що йдуть від приймача (Rx) і від передавача (Tx).

Специфікації РНУ FX і РНУ TX мають багато спільного, тому для посилення на обидві специфікації одночасно будемо використовувати позначення РНУ FX/TX.

Зупинимося докладніше на методі кодування 4B/5B. 10-мегабітові версії Ethernet використовують манчестерське кодування для подання даних при передачі кабелем. Метод кодування 4B/5B визначений у стандарті FDDI, і він без змін перенесений у специфікацію РНУ FX/TX. При цьому методі кожні 4 біти даних MAC-підрівня подаються 5 бітами. Використання надлишкового біта дозволяє застосувати потенційні коди під час подання кожного з п'яти бітів у вигляді електричних або оптичних імпульсів. Потенційні коди володіють у порівнянні з манчестерськими більш вузькою смугою спектру сигналу, а отже, ставлять менші вимоги до смуги пропускання кабелю. Однак пряме використання потенційних кодів для передачі вихідних даних без надлишкового біта неможливо через погану синхронізацію приймача і джерела даних: при передачі довгої послідовності одиниць або нулів протягом тривалого часу

сигнал не змінюється, і приймач не може визначити момент читання чергового біта.

При використанні п'яťох бітів для кодування шістнадцятьох вихідних 4-бітових комбінацій можна побудувати таку таблицю кодування, у якій будь-який вихідний 4-бітовий код подається 5-бітовим кодом із нулями, що чергуються, і одиницями. Тим самим забезпечується синхронізація приймача з передавачем. Оскільки вихідні біти MAC-підрівня повинні передаватися зі швидкістю 100 Мб/с, то наявність одного надлишкового біта змушує передавати біти результуючого коду 4В/5В зі швидкістю 125 Мб/с.

Оскільки з 32 можливих комбінацій 5-бітових порцій для кодування порцій вихідних даних потрібно тільки 16, то інші 16 комбінацій у кодi 4В/5В використовуються у службових цілях.

Наявність службових символів дозволила використовувати в специфікаціях FX/TX схему безперервного обміну сигналами між передавачем і приймачем і при незайнятому стані середовища, що відрізняє FX/TX від специфікації 10Base-T, в якій незайнятий стан середовища позначається повною відсутністю в ньому імпульсів інформації.

Існування заборонених комбінацій символів дозволяє відбракувати помилкові символи, що підвищує стабільність роботи мереж з PHY FX/TX.

Після перетворення 4-бітових порцій MAC-кодів у 5-бітові порції PHY їх необхідно подати у вигляді оптичних або електричних сигналів у кабелі, що з'єднує вузли мережі. Специфікації PHY FX і PHY TX використовують для цього різні методи фізичного кодування - NRZI і MLT-3 відповідно. Ці ж методи визначені у стандарті FDDI для передачі сигналів по оптоволокну і витій парі.

Розглянемо метод NRZI - Non Return to Zero Invert to ones - метод без повернення до нуля з інвертуванням для одиниць. Цей метод являє собою модифікацію простого потенційного методу кодування, що називається Non Return to Zero (NRZ), коли для

подання 1 і 0 використовуються потенціали двох рівнів. У методі NRZI також використовується два рівні потенціалу сигналу, але потенціал для кодування поточного біта залежить від потенціалу, що використовувався для кодування попереднього біта. Якщо поточний біт має значення 1, то поточний потенціал являє собою інверсію потенціалу попереднього біта незалежно від його значення. Якщо ж поточний біт має значення 0, то поточний потенціал повторює попередній (рис. 4.1).

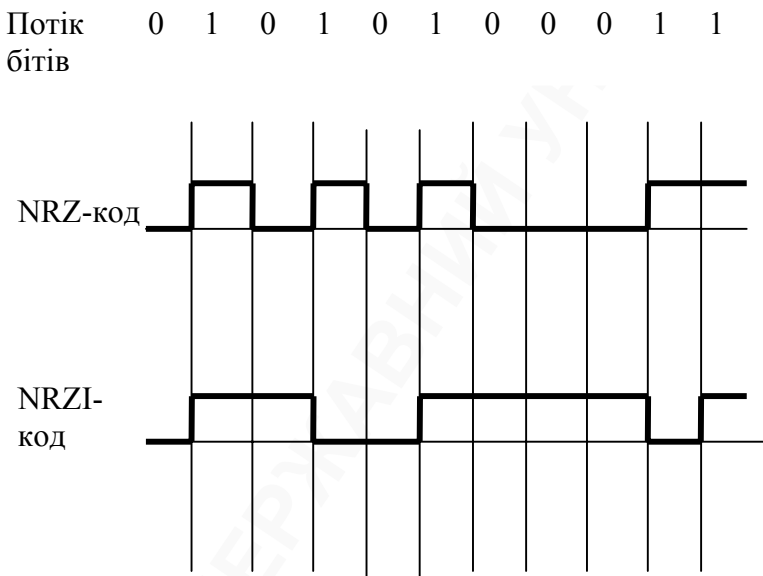


Рисунок.4.1 - Порівняння методів NRZ і NRZI

З опису методу NRZI бачимо, що для забезпечення частих змін сигналу, а значить і для підтримки самосинхронізації приймача, потрібно виключити з кодів занадто довгі послідовності нулів. Коди 4B/5B побудовані так, що гарантують не більше трьох нулів підряд при будь-якому сполученні бітів у вихідній інформації.

Основна перевага NRZI кодування в порівнянні з NRZ кодуванням у більш надійному розпізнаванні переданих 1 і 0 на лінії в умовах перешкод.

## 4.5 Стандарт 100Base-TX

Мережа 100Base-TX працює на основі двопарної витієї пари. Основні відмінності від специфікації РНУ FX - використання методу MLT-3 для передачі сигналів 5-бітових порцій коду 4В/5В по витій парі, а також наявність функції автопереговорів (Auto-negotiation) для вибору режиму роботи порту.

Метод MLT-3 використовує потенційні сигнали двох полярностей для подання 5-бітових порцій інформації.

Крім використання методу MLT-3, специфікація РНУ TX відрізняється від специфікації РНУ FX тим, що в ній використовується пара шифратор-дешифратор. Шифратор приймає 5-бітові порції даних від підрівня PCS, що виконує кодування 4В/5В, і зашифровує сигнали перед передачею на підрівень MLT-3 таким чином, щоб рівномірно розподілити енергію сигналу по всьому частотному спектру - це зменшує електромагнітне випромінювання кабелю.

За допомогою Auto-negotiation два взаємодіючі пристрої РНУ можуть автоматично вибрати найбільш ефективний режим роботи.

Auto-negotiation є тепер стандартом технології 100Base-T.

Усього на даний час визначено 5 різних режимів роботи, що можуть підтримувати пристрої РНУ TX або РНУ T4 на витих парах:

- 10Base-T - 2 пари категорії 3;
- 10Base-T full-duplex - 2 пари категорії 3;
- 100Base-TX - 2 пари категорії 5;
- 100Base-TX full-duplex - 2 пари категорії 5;
- 100Base-T4 - 4 пари категорії 3.

Режим 10Base-T має найнижчий пріоритет при переговорному процесі, а режим 100Base-T4 - найвищий. Переговорний процес відбувається при вмиканні пристрою, а також може бути ініційований в будь-який момент модулем керування.

Вузли, що підтримують специфікації PDU FX і PDU TX, можуть працювати в повнодуплексному режимі. У цьому режимі не використовується метод доступу до середовища CSMA/CD і відсутнє поняття колізій - кожний вузол одночасно передає і приймає кадри даних по каналах Tx і Rx.

Повнодуплексна робота можлива тільки при з'єднанні мережного адаптера з комутатором або ж при безпосередньому з'єднанні комутаторів.

При повнодуплексній роботі стандарти 100Base-TX і 100Base-FX забезпечують швидкість обміну даними між вузлами 200 Мб/с.

Повнодуплексний режим роботи для мереж 100Base-T не прийнятий за стандарт. Проте багато виробників випускають як мережні адаптери, так і комутатори для цього режиму. Через відсутність стандарту ці продукти не обов'язково коректно працюють один з одним.

У повнодуплексному режимі необхідно визначити процедури керування потоком кадрів, тому що без цього механізму можливі ситуації, коли буфер комутатора буде переповнений і почне втрачати кадри Ethernet, що завжди вкрай небажано, тому що відновлення інформації буде здійснюватися більш повільними протоколами транспортного або прикладного рівнів.

## **4.6 Стандарт 100Base-T4**

Специфікація PDU T4 була розроблена для того, щоб можна було використовувати для високошвидкісної мережі наявну проводку на витій парі категорії 3. Ця специфікація використовує

усі 4 пари кабелю для того, щоб можна було підвищити загальну пропускну здатність за рахунок одночасної передачі потоків бітів по декількох витих парах.

Замість кодування 4В/5В у цьому методі використовується кодування 8В/6Т. Кожні 8 бітів інформації MAC-підрівня кодуються 6 трійковими цифрами, тобто цифрами, що мають три стани. Група з 6 трійкових цифр потім послідовно передається на одну з трьох витих пар, що передаються незалежно та послідовно. Четверта пара завжди використовується для прослуховування несучої частоти для виявлення колізії. Швидкість передачі даних по кожній з трьох пар, що передають, дорівнює 33,3 Мб/с, тому загальна швидкість протоколу 100 Мб/с.

## **4.7 Протокол Gigabit Ethernet**

Хоча перехід на нові високошвидкісні технології, такі, як Fast Ethernet і 100VG-AnyLAN, почався не дуже давно, вже існують два нових проекти - технології Gigabit Ethernet і Gigabit VG, запропоновані відповідно Gigabit Ethernet Alliance і комітетом IEEE 802.12.

Зацікавленість технологіями для локальних мереж із гігабітовими швидкостями підвищилася у зв'язку з двома обставинами - по-перше, успіхом порівняно недорогих (у порівнянні з FDDI) технологій Fast Ethernet і 100VG-AnyLAN, по-друге, із занадто великими труднощами впровадження технології ATM.

Технологія ATM має багато переваг - масштабована швидкість передачі даних, що становить приблизно 10 Гб/с, відмінна підтримка мультимедійного трафіка і можливість роботи як у локальних, так і в глобальних мережах. Однак вартість технології ATM і її складність не завжди виправдані. Ось для таких застосувань, у яких потрібна, в першу чергу, висока

швидкість обміну, і призначені активно розроблювані сьогодні гігабітові варіанти Ethernet і VG.

У зв'язку з обмеженнями, що накладаються методом CSMA/CD на довжину кабелю, версія Gigabit Ethernet для розподіленого середовища допускає довжину зв'язків до 25 метрів на витій парі. У зв'язку з такими значними обмеженнями частіше будуть використовуватися, мабуть, повнодуплексні версії гігабітового Ethernet, що працюють тільки з комутаторами і допускають відстань між вузлом і комутатором, що дорівнює 500 метрів для багатомодового кабелю і близько 2 км для одномодового кабелю.

Для технології Gigabit VG пропонується реалізувати швидкість 500 Мб/с для витій пари і 1 Гбс для оптоволокна. Граничні відстані між вузлами очікуються такі: для витій пари - 100 м, для багатомодового оптоволокна - 500 м і для одномодового оптоволокна - 2 км.

## ***5 МЕРЕЖА FDDI***

### **5.1 Основи технології FDDI**

Технологія Fiber Distributed Data Interface - перша технологія локальних мереж, що використовувала як середовище передачі даних оптоволокнистий кабель.

У даний час більшість мережних технологій підтримують оптоволокнисті кабелі як один з варіантів фізичного рівня, але FDDI залишається найбільш відпрацьованою високошвидкісною технологією. Стандарти на неї пройшли перевірку часом. Тому устаткування FDDI різних виробників показує добрий ступінь сумісності.

Технологія FDDI багато в чому ґрунтується на технології Token Ring і розвиває її основні ідеї. Розроблювачі технології FDDI ставили перед собою за найбільш важливі такі цілі:

підвищити бітову швидкість передачі даних до 100 Мб/с, підвищити стійкість до відмови мережі за рахунок стандартних процедур відновлення її після відмов, максимально ефективно використати пропускну здатність мережі як для синхронного, так і для асинхронного трафіків.

Мережа FDDI будується на основі двох оптоволоконних кілець, що утворюють основний і резервний шляхи передачі даних між вузлами мережі.. Використання двох кілець - це основний спосіб підвищення стійкості до відмов у мережі FDDI, вузли, що хочуть ним скористатися, повинні бути під'єднані до обох кілець. У нормальному режимі роботи мережі дані проходять через усі вузли і всі ділянки кабелю первинного (Primary) кільця, тому цей режим названий "транзитним". Вторинне кільце (Secondary) у цьому режимі не використовується.

У випадку якогось виду відмови, коли частина первинного кільця через відрив або відмову не може передавати дані, первинне кільце об'єднується з вторинним кільцем, створюючи знову єдине кільце (рис. 5.1).

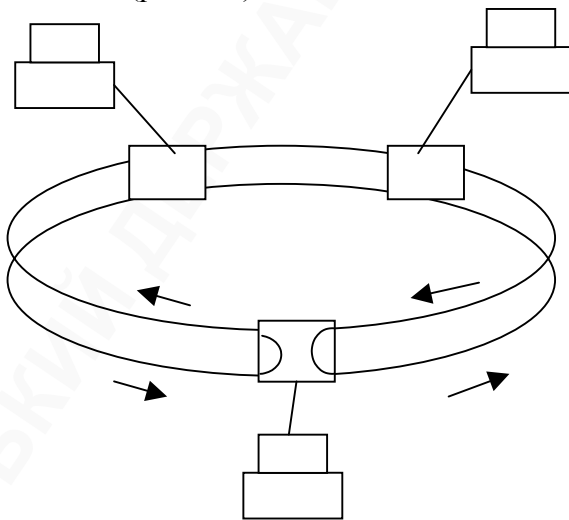


Рисунок 5.1 - Згорання



Цей режим роботи мережі називається згортанням кілець. Операція згортання створюється зусиллями концентраторів або мережних адаптерів FDDI. Для спрощення цієї процедури дані у первинному кільці завжди передаються проти годинникової стрілки, а у вторинному - за годинниковою стрілкою. Тому при утворенні загального кільця з двох кілець передавачі станцій як і раніше залишаються під'єднаними до приймачів сусідніх станцій, що дозволяє правильно передавати і приймати інформацію сусідніми станціями.

У стандартах FDDI приділяється багато уваги різним процедурам, що дозволяють визначити наявність відмови в мережі, а потім зробити необхідну реконфігурацію. Мережа FDDI може цілком відновлювати свою працездатність у випадку одиничних відмов її елементів. При множинних відмовах мережа розпадається на декілька не зв'язаних мереж.

Кільця в мережах FDDI розглядаються як загальне розподілене середовище передачі даних, тому для нього визначений спеціальний метод доступу. Цей метод дуже близький до методу доступу мереж Token Ring і також називається методом маркерного кільця - token ring.

Станція може почати передачу своїх власних кадрів даних тільки в тому випадку, якщо вона одержала від попередньої станції спеціальний кадр - маркер доступу. Після цього вона може передавати свої кадри протягом часу, названого часом утримання маркера Token Holding Time (ТНТ). Після проходження цього часу ТНТ станція зобов'язана завершити передачу свого чергового кадру і передати маркер доступу наступній станції. Якщо ж у момент прийняття маркера у станції немає кадрів для передачі по мережі, то вона негайно транслює маркер наступній станції. У мережі FDDI у кожній станції є попередній сусід (upstream neighbor) і наступний сусід (downstream neighbor), які обумовлюються фізичними зв'язками станції і напрямком передачі інформації.

Кожна станція в мережі постійно приймає передані їй попереднім сусідом кадри і аналізує їхню адресу призначення. Якщо адреса призначення не збігається з її власною адресою, то вона транслює кадр наступному сусіду.

Якщо ж адреса кадру збігається з адресою станції, то вона копіює кадр у внутрішній буфер, перевіряє його контрольну суму, передає його поле даних для наступної обробки протоколу, що знаходиться вище FDDI-рівня (наприклад, IP), а потім передає вихідний кадр наступній станції. У переданому в мережу кадрі станція призначення відзначає три ознаки: розпізнавання адреси, копіювання кадру і відсутності або наявності в ньому помилок.

Після цього кадр продовжує рухатись мережею, транслюючись кожним вузлом. Станція, що є джерелом кадру для мережі, відповідальна за те, щоб видалити кадр із мережі після того, як він, здійснивши повне обертання, знову дійде до неї. При цьому вихідна станція перевіряє ознаки кадру, чи дійшов він до станції призначення і чи не був при цьому ушкоджений.

Канальний рівень, як і в багатьох інших технологіях локальних мереж, містить підрівень керування каналом даних (LLC) і підрівень доступу до середовища (MAC). Процедура LLC працює в дейтаграмовому режимі – без встановлення з'єднання і відновлення ушкоджених кадрів.

Фізичний рівень поділений на два підрівні: незалежний від середовища підрівень PHY (Physical) і підрівень, що залежить від середовища, PMD (Physical Media Dependent). Роботу всіх підрівнів контролює протокол керування станцією SMT (Station Management).

Сигнали в оптичних волокнах кодуються відповідно до методу NRZI.

Підрівень PHY виконує кодування і декодування даних, що циркулюють між MAC-підрівнем і підрівнем PMD, а також забезпечує тактування інформаційних сигналів.

Підрівень MAC відповідальний за керування доступом до мережі, а також за отримання і обробку кадрів даних. У ньому

визначений протокол передачі маркера, правила захоплення і ретрансляції маркера, формування кадру, правила генерації і розпізнавання адрес, правила обчислення контрольної суми.

Підрівень SMT виконує усі функції з керування і моніторингу всіх інших підрівнів стека протоколів FDDI. У керуванні кільцем бере участь кожний вузол мережі FDDI. Тому усі вузли обмінюються спеціальними кадрами SMT для керування мережею.

Стійкість до відмов мереж FDDI забезпечується за рахунок того, що підрівень керує іншими підрівнями. За допомогою підрівня РНУ усуваються відмови мережі з фізичних причин, наприклад, через обрив кабелю, а за допомогою підрівня MAC - логічні відмови мережі, наприклад, втрата потрібного внутрішнього шляху передачі маркера і кадрів даних між портами концентратора.

## **5.2 Типи станцій**

Усі станції в мережі FDDI поділяють на декілька типів за такими ознаками: чи є вони кінцевими станціями або концентраторами, варіантом приєднання до первинного і вторинного кільця, кількістю MAC-вузлів і відповідно MAC-адрес в одній станції.

Якщо станція приєднана тільки до первинного кільця, то такий варіант називається одиничним приєднанням - Single Attachment, SA. Якщо ж станція приєднана і до первинного, і до вторинного кільця, то такий варіант називається подвійним приєднанням.

Очевидно, що стійкість до відмов, яка забезпечується наявністю двох кільць FDDI, станція може бути тільки при її подвійному підключенні.

Для того, щоб мати можливість передавати власні дані в кільце, а не просто ретранслювати дані сусідніх станцій, станція

повинна мати у своєму складі хоча б один MAC-вузол, що має свою унікальну MAC-адресу. Станції можуть не мати жодного вузла MAC і брати участь тільки в ретрансляції чужих кадрів. Але, звичайно, всі станції мережі FDDI, навіть концентратори, мають хоча б один MAC. Концентратори використовують MAC-вузол для захоплення і генерації службових кадрів, наприклад, кадрів ініціалізації кільця, кадрів пошуку несправності в кільці і т.п.

Станції, що мають один MAC-вузол, називаються SM-станціями (Single MAC), а станції, що мають два MAC-вузли, називаються DM-станціями (Dual MAC).

У залежності від того, чи є станція концентратором або кінцевою станцією, прийняті такі позначення залежно від типу їх підключення: SAS (Single Attachment Station) - кінцева станція з одиничним підключенням, DAS (Dual Attachment Station) - кінцева станція з подвійним підключенням, SAC (Single Attachment Concentrator) - концентратор із одиничним підключенням, DAC (Dual Attachment Concentrator) - концентратор із подвійним підключенням.

### 5.3 Функції MAC-підрівня і формат кадрів

Підрівень MAC виконує в технології FDDI такі функції:

- формує кадр визначеного формату;
- керує процедурою передачі маркера;
- адресує станції в мережі;
- копіює кадри, призначені для даної станції, у буфер;
- генерує контрольну послідовність кадру і перевіряє її у всіх кадрах, що циркулюють по кільцю;
- видаляє з кільця всі кадри, які згенерувала дана станція.

Мережею FDDI інформація передається у формі двох блоків даних: кадру і маркера.

Розглянемо поля кадру:

- Початковий обмежувач (Starting Delimiter, SD) – дозволяє однозначно визначити початок кадру.
- Поле керування (Frame Control, FC) - ідентифікує тип кадру і деталі роботи з ним. Складається з підполів, що позначаються як CLFFZZZZ і мають таке призначення: C - тип трафіку (синхронний – 1, асинхронний - 0); L - визначає довжину адреси кадру; FF - тип кадру (01 для кадру LLC, 00 для службового кадру MAC-підрівня).
- Адреса одержувача (Destination Address, DA) - ідентифікує станцію, якій призначений кадр.
- Адреса відправника (Source Address, SA) - ідентифікує станцію, що згенерувала даний кадр.
- Інформація (INFO) - містить інформацію, що належить до операції, зазначеної у полі керування.
- Контрольна послідовність кадру (Frame Check Sequence, FCS) - охоплює поля FC, DA, SA, INFO і FCS.
- Кінцевий обмежувач (Ending Delimiter, ED) - позначає границю кадру.
- Статус кадру (Frame Status, FS).

Маркер містить поля SD, FC і ED, із яких, власне кажучи, тільки поле керування є значущим. Воно містить у цьому випадку 1 у полі C і 0000 у полі ZZZZ.

За допомогою операцій MAC-підрівня станції одержують доступ до кільця і передають свої кадри даних. Цикл передачі кадру від однієї станції до іншої складається з декількох етапів: захоплення маркера станцією, котрій необхідно передати кадр, передачі одного або декількох кадрів даних, звільнення маркера станцією, що передає, ретрансляції кадру проміжними станціями, оброблення кадру станцією-одержувачем і видалення кадру з мережі станцією-відправником.

Розглянемо докладніше операції MAC-підрівня.

*Захоплення маркера.* Якщо станція має право захопити маркер, то вона після ретрансляції на вихідний порт символу маркера видаляє з кільця символ FC, за яким вона розпізнала маркер, а також кінцевий обмежувач ED. Потім вона передає за вже переданим символом SD символу свого кадру, таким чином формуючи його з початкових символів маркера.

*Передача кадру.* Після видалення полів FC і ED маркера станція починає передавати символи кадрів, що їй дав для передачі підрівень LLC. Станція може передавати кадри доти, поки не мине час утримання маркера.

Для мереж FDDI передбачена передача кадрів двох типів трафіку - синхронного й асинхронного.

Синхронний трафік призначений для додатків, що вимагають надання їм гарантованої пропускнуої здатності для передачі голосу, відеозображень, керування процесами й інших випадків роботи в реальному часі. Для такого трафіку кожній станції дається фіксована частина пропускнуої здатності кільця FDDI, тому станція має право передавати кадри синхронного трафіку завжди, коли вона одержує маркер від попередньої станції.

Асинхронний трафік - це звичайний трафік локальних мереж, що не ставить високих вимог до затримок обслуговування. Станція може передавати асинхронні кадри тільки в тому випадку, якщо при останньому обертанні маркера по кільцю для цього залишилася яка-небудь частина невитраченої пропускнуої здатності. Інтервал часу, протягом якого станція може передавати асинхронні кадри, називається часом утримання маркера (Token Holding Time, ТНТ). Кожна станція самостійно обчислює поточне значення цього параметра.

Станція припиняє передачу кадрів у двох випадках: або коли мине час утримання маркера ТНТ, або при передачі всіх наявних у неї кадрів до закінчення цього терміну. Після передачі останнього свого кадру станція формує маркер і передає його наступній станції.

*Ретрансляція кадру.* Якщо кадр не адресується даному MAC-вузлу, то останній повинен просто повторити кожний символ кадру на вихідному порту. Кожний MAC-вузол повинен підраховувати кількість отриманих ним повних кадрів. Кожна станція перевіряє повторюваний кадр на наявність помилок за допомогою контрольної послідовності. Якщо помилка виявлена, то MAC-вузол встановлює ознаку помилки в кадрі, а також нарощує лічильник помилкових кадрів, розпізнаних даним MAC-вузлом.

*Обробка кадру станцією призначення.* Станція призначення, розпізнавши свою адресу в полі DA, починає копіювати символи кадру у внутрішній буфер одночасно з повторенням їх на вихідному порту. При цьому станція призначення встановлює ознаку розпізнавання адреси. Якщо ж кадр скопійований у внутрішній буфер, то встановлюється й ознака копіювання.

*Видалення кадру з кільця.* Кожний MAC-вузол відповідальний за видалення з кільця кадрів, які він раніше в нього помістив.

## **5.4 Функції підрівня PMD**

Специфікація з'єднання фізичного підрівня PMD для оптоволокна Fiber PMD визначає апаратні компоненти для створення фізичних з'єднань між станціями: оптичні передавачі, оптичні приймачі, параметри кабелю, оптичні рознімання. Для кожного з цих елементів існують конструктивні й оптичні параметри, що дозволяють станціям стійко взаємодіяти на визначених відстанях.

Основний вид кабелю для стандарту Fiber PMD - багатомодовий кабель із діаметром осередка 62,5 мкм і діаметром відбивної оболонки 125 мкм.

Смуга пропускання кабелю повинна бути не менше ніж 500 МГц/км.

Крім основного виду кабелю, специфікація Fiber PMD припускає використання багатомодових кабелів із діаметром осередка в 50 мкм, 85 мкм і 100 мкм.

Стандарт Fiber PMD визначає оптичні рознімання MІС (Media Interface Connector), які забезпечують підключення 2 волокон кабелю до 2 волокон порту станції.

Рознімання MІС повинні мати ключ, який позначає тип порту, що повинно запобігти неправильному з'єднанню рознімань. Визначено чотири різних типи ключа: MІС А, MІС В, MІС М, MІС S.

Крім рознімань MІС, припускається використовувати рознімання ST і SC, що випускаються промисловістю.

За джерело світла припускається використання світлодіодів (LED) або лазерних діодів із довжиною хвилі 1,3 мкм.

Крім багатомодового кабелю, допускається використання більш якісного одномодового кабелю (Single Mode Fiber, SMF) і рознімання SMF-MІС для цього кабелю. У цьому випадку дальність фізичного з'єднання між сусідніми вузлами може збільшитися до 40 км - 60 км у залежності від якості кабеля, рознімань і з'єднань.

Якщо в завдання підрівня PMD входить формування якісних оптичних імпульсів на виході та вході кожного фізичного з'єднання, то підрівень РНУ має справу з передачею за допомогою імпульсів логічних одиниць і нулів, що надходять із підрівня MAC. Більш точно, підрівень РНУ займається кодуванням символів, що поступають від MAC-підрівня, у відповідний фізичний код NRZI або MLT-3 і декодуванням у символи MAC-підрівня.

Мережа FDDI використовує розподілену схему тактування інформації, у якій кожна станція працює зі своїм незалежним локальним тактовим генератором. Це відрізняє її від мереж Token Ring, у яких одна станція підтримує тактування інформації для



всієї мережі, керуючи головним тактовим генератором мережі, що називається Master Clock.

Кожна станція має два тактових генератори - локальний, що керує тактуванням переданої інформації, і відновлювальний, що синхронізується з тактовою частотою даних, які надходять від сусідньої станції.

## **6 КОРПОРАТИВНІ КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ**

### **6.1 Пристрої сполучення мереж**

Корпоративною називається комп'ютерна мережа, утворена шляхом об'єднання різнорідних комп'ютерних мереж.

Об'єднання може здійснюватися на різних рівнях моделі OSI. У залежності від рівня і виконуваних функцій розрізняють повторювачі, мости, маршрутизатори і шлюзи.

Повторювачем називається пристрій, що працює на фізичному рівні і здійснює узгодження електричних параметрів мереж, що сполучаються. Повторювачі звичайно використовуються для збільшення довжини мережі та кількості робочих станцій, що підключаються.

Міст – це пристрій об'єднання мереж на канальному рівні. Він транслює кадри підрівня керування доступом до середовища з однієї локальної мережі в іншу.

У процесі роботи міст виконує ряд функцій, основні з яких такі:

- приймання кадрів із локальної мережі;
- перевірка стану і видалення помилкових кадрів;
- перетворення параметрів кадру;
- передача кадрів у локальну мережу за новою адресою.

Міст насправді здійснює фільтрацію кадрів з однієї мережі в іншу. Трансляції піддаються тільки кадри даних, що адресовані робочим станціям інших мереж. Тим самим здійснюється поділ потоків у рамках об'єднаної комп'ютерної мережі. Ця властивість моста часто використовується для зниження трафіку в мережах.

Шлюз – це пристрій, що забезпечує перетворення протоколів верхніх рівнів і, в першу чергу, – транспортного рівня. Зокрема, шлюзи використовуються для об'єднання локальних і глобальних мереж, під час якого мережний протокол перетворюється в міжмережний (IP-протокол) і навпаки.

Для побудови інфраструктури локальних і особливо глобальних мереж використовуються маршрутизатори. Основне призначення маршрутизатора – вибір оптимального шляху передачі інформації.

## 6.2 Протокол покривного дерева

У мережі визначається кореневий міст (root bridge), від якого будується дерево.

Для інших мостів визначається кореневий порт (root port), що має найкоротшу з усіх портів даного моста відстань до кореневого моста.

Відстань до кореня (root path cost) визначається як сумарний час на передачу даних від порту даного моста до порту кореневого моста.

Для кожного логічного сегмента мережі вибирається призначений міст (designated bridge), один із портів якого буде приймати пакети від сегмента і передавати їх у напрямку кореневого моста через кореневий порт даного моста, а також приймати пакети для даного сегмента, що прийшли на кореневий порт із боку кореневого моста. Такий порт називається призначеним портом (designated port). Призначений порт сегмента має найменшу відстань до кореневого моста серед усіх портів, підключених до даного сегмента.

Якщо визначити яким-небудь способом кореневий міст, то, знаючи пропускну здатність кожного сегмента і зв'язки між портами мостів, на підставі теорії графів можна однозначно визначити за відстанню до кореня кореневі порти мостів і призначені порти сегментів. Якщо всі інші порти мостів, крім кореневих і призначених портів, заблокувати, то утвориться дерево без петель.

Для того щоб мости могли ідентифікувати себе і своїх ближніх і далеких сусідів по мережі, кожний міст має унікальний

ідентифікатор. Цей ідентифікатор складається з двох частин. Молодшу частину складає MAC-адреса моста, що має довжину 6 байтів. Старша частина, що має довжину 2 байти, є пріоритетом даного моста, і його може змінювати адміністратор мережі за своїм розсудом.

Ідентифікатор моста відіграє визначальну роль під час вибору кореневого моста. Пріоритет має переважне значення в цьому виборі - кореневим вибирається міст, що має найменше значення ідентифікатора, а оскільки поле пріоритету знаходиться в старших розрядах, то його значення має перевагу над значенням MAC-адреси. Якщо ж адміністратор призначив усім мостам однаковий пріоритет, то кореневим буде обраний міст із найменшим значенням MAC-адреси.

Порти усередині кожного моста також мають свої ідентифікатори. Ідентифікатор порту складається з 2 байтів, перший із котрих (старший) може змінюватися адміністратором і є пріоритетом порту, а другий являє собою порядковий номер порту для даного моста. Ідентифікатор порту використовується під час вибору кореневого і призначеного портів моста - якщо декілька портів мають однакову відстань до кореня, то вибирається той порт, ідентифікатор якого менше. Аналогічно до випадку з ідентифікатором моста пріоритет порту може бути заданий адміністратором для того, щоб даний порт одержав перевагу перед іншими.

Для автоматичного визначення початкової активної конфігурації дерева всі мости мережі після їх ініціалізації починають періодично обмінюватися спеціальними пакетами, що називаються протокольними блоками даних моста BPDU (Bridge Protocol Data Unit).

Пакети BPDU містяться в полі даних кадрів каналного рівня, наприклад, кадрів Ethernet.

Існує два типи BPDU - конфігураційний BPDU, тобто заявка на можливість стати кореневим мостом, на підставі якої відбувається визначення активної конфігурації, і BPDU

повідомлення про реконфігурацію, що посилається мостом, який виявив подію, що вимагає проведення реконфігурації - відмова лінії зв'язку, відмова порту, зміна пріоритетів моста або портів.

Пакет BPDU зокрема містить інформацію: ідентифікатор кореневого моста, відстань до кореня, ідентифікатор моста, ідентифікатор порту, час життя повідомлення.

Після ініціалізації кожний міст спочатку вважає себе кореневим. Тому він починає через визначений інтервал генерувати через усі свої порти повідомлення BPDU конфігураційного типу.

У них він зазначає свій ідентифікатор як ідентифікатор кореневого моста, відстань до кореня встановлюється в 0, а як ідентифікатор порту зазначається ідентифікатор того порту, через який передається BPDU.

У вихідному стані кожний міст не тільки передає BPDU через усі свої порти, але і приймає через усі порти BPDU, передані іншими мостами. Міст протягом інтервалу встановлення початкової конфігурації фіксує значення декількох своїх внутрішніх змінних: RI (Root Identifier) - ідентифікатор кореневого моста, minRPCi - найменше значення відстані до кореня, що спостерігалось в пакетах BPDU, прийнятих від кореневого моста по i-му порту, minBi і minPi - ідентифікатори моста і порту, від якого надійшов пакет.

Міст обробляє повідомлення BPDU, що надходять на порти, таким чином.

Спочатку міст порівнює значення ідентифікатора кореневого моста з BPDU із поточним значенням змінної RI.

Якщо це значення більше поточного значення RI, то прийнятий пакет просто знищується, тому що він не має ніякої інформації про відстань до кореневого моста - він прийшов від моста, що не є кореневим.

Якщо воно дорівнює поточному значенню RI, то це означає, що прийнятий пакет від уже відомого кореня. Відстань до кореня, що міститься в пакеті, порівнюється зі знайденою раніше

мінімальною відстанню  $\text{minRPCi}$ , і якщо нове значення менше, то воно переписується в змінну  $\text{minRPCi}$  даного порту. Потім міст нарощує значення поля відстані до кореня на розмір умовного часу сегмента, по якому прийшов пакет, вміщує в поле ідентифікатора моста свій ідентифікатор і передає цей пакет на усі свої порти, крім того порту, від якого отриманий пакет. У змінні  $\text{minBi}$  і  $\text{minPi}$  записуються ідентифікатори моста, від якого отриманий пакет BPDU, і його порту.

Якщо ж значення ідентифікатора кореневого моста в прийнятого BPDU менше поточного, то це значить, що виявлено міст, у якого більше права претендувати на звання кореневого. Його ідентифікатор фіксується в змінній RI, а всі значення змінних  $\text{minRPCi}$  встановлюються у вихідне значення, тому що вони були обчислені раніше на підставі відстаней до моста, що насправді не є коренем. Потім пакет BPDU обробляється точно за тим же алгоритмом, що й у попередньому випадку.

У міру поширення пакетів BPDU по всій мережі у всіх мостів накопичується інформація, необхідна для фіксації кореневого моста, а також для визначення того, який із портів моста є кореневим портом, які порти є призначеними для сегментів, а які не належать ні до першої, ні до другої категорії.

Після того, як усі мости визначають статус своїх портів, процес встановлення активної конфігурації завершений. Кореневі та призначені порти починають брати участь у передачі кадрів протоколу канального рівня, тобто для них встановлюється активний стан, на відміну від заблокованих портів.

Крім процедури ініціалізації активної конфігурації, існує також процедура зміни конфігурації при відмовах елементів мережі. Ця процедура називається процедурою зміни топології.

Після встановлення активної топології тільки кореневий міст продовжує періодично генерувати пакети BPDU конфігураційного типу. Інші мости продовжують приймати пакети BPDU на свій кореневий порт і поширюють їх через свої призначені порти.

Для того щоб мости могли виявити відмову елемента мережі, кожний міст має таймер віку повідомлення (message age timer). При одержанні пакета BPDU цей таймер встановлюється у вихідне положення. Якщо якийсь призначений міст, його порт або лінія зв'язку відмовляють, то пакети BPDU перестають поступати в усі мости, що містяться в піддеревах елемента, що відмовив. Унаслідок цього у цих мостах минає інтервал таймера віку повідомлення.

Кожний порт моста, що підтримує алгоритм spanning tree, може перебувати в одному з 5 станів:

- відключений - порт не бере участі ні в яких операціях і може бути виведений із цього стану тільки за допомогою протоколу керування мостом;
- заблокований - конфігураційні BPDU приймаються, обробляються і передаються;
- прослуховування – конфігураційні BPDU приймаються, обробляються і передаються;
- навчання - порт приймає конфігураційні BPDU, обробляє їх і передає, а також приймає й обробляє інформаційні кадри;
- трансляція - порт бере участь у всіх операціях моста, приймає конфігураційні BPDU, обробляє їх і передає, а також приймає, обробляє і передає інформаційні кадри каналного протоколу.

Переходи між станами порту викликаються або одержанням конфігураційного BPDU, або закінченням деякого інтервалу часу.

Звичайно всі порти моста при першому його ввімкненні в мережу встановлюються у вимкнений стан. Перехід у заблокований стан відбувається під час виконання адміністратором відповідної операції керування мостом або портом.

### 6.3 Віртуальні мережі

Комутатор, крім свого основного призначення - підвищення пропускну здатності зв'язків у мережі, дозволяє локалізувати потоки інформації в мережі, а також контролювати ці потоки й керувати ними, використовуючи користувальні фільтри. Однак, користувальний фільтр може заборонити передачі кадрів тільки за конкретними адресами, а ширококомовний трафік він передає всім сегментам мережі.

Технологія віртуальних мереж (Virtual LAN, VLAN) дозволяє перебороти зазначене обмеження. Віртуальною мережею називається група вузлів мережі, трафік якої, у тому числі і ширококомовний, на каналному рівні цілком ізольований від інших вузлів мережі. Це означає, що передача кадрів між різними віртуальними сегментами на підставі адреси каналного рівня неможлива. У той же час усередині віртуальної мережі кадри передаються за технологією комутації, тобто тільки на той порт, що зв'язаний з адресою призначення кадру.

Призначення технології віртуальних мереж полягає в полегшенні процесу створення незалежних мереж, що потім повинні зв'язуватися за допомогою протоколів мережного рівня. Для розв'язку цього завдання до появи технології віртуальних мереж використовувалися окремі повторювачі, кожен із яких утворював незалежну мережу. Потім ці мережі зв'язувалися маршрутизаторами в єдину інтермережу.

Під час переходу користувача в іншу мережу або дроблення великих сегментів доводиться робити фізичну перекомутацію рознімачів на панелях повторювачів або в кросових панелях, що не дуже зручно у великих мережах.

Тому для усунення необхідності фізичної перекомутації вузлів почали застосовувати сегментні повторювачі. У найбільш досконалих моделях таких повторювачів приписування окремого порту до будь-якого з внутрішніх сегментів робиться програмним шляхом, звичайно за допомогою зручного графічного



інтерфейсу. Прикладами таких повторювачів можуть бути концентратори Distributed 5000 і PortSwitch.

Однак вирішення завдання зміни складу сегментів за допомогою повторювачів накладає деякі обмеження на структуру мережі - кількість сегментів такого повторювача звичайно невелика, тому виділити кожному вузлу свій сегмент, як це можна зробити за допомогою комутатора, не реально.

Під час використання технології віртуальних мереж у комутаторах одночасно вирішуються два завдання: підвищення продуктивності в кожній з віртуальних мереж, тому що комутатор передає кадри в такій мережі тільки вузлу призначення; ізоляція мереж одна від одної для керування правами доступу користувачів і створення захисних бар'єрів на шляху ширококомовних потоків.

Для об'єднання віртуальних мереж у інтермережу потрібно залучення мережного рівня. Він може бути реалізований в окремому маршрутизаторі, а може працювати й у складі програмного забезпечення комутатора.

Існує декілька способів побудови віртуальних мереж: угруповання портів, угруповання MAC-адрес, специфікація LANE для ATM-комутаторів, використання мережного рівня.

При створенні віртуальних мереж на основі одного комутатора звичайно використовується механізм групування у віртуальні мережі портів комутатора.

Це логічно, тому що віртуальних мереж, побудованих на основі одного комутатора, не може бути більше, ніж портів. Якщо до одного порту підключений сегмент, побудований на основі повторювача, то вузли такого сегмента немає сенсу включати в різні віртуальні мережі - усе одно трафік цих вузлів буде загальним. Створення віртуальних мереж на основі групування портів не потребує від адміністратора великого об'єму ручної роботи - досить кожний порт приписати до декількох заздалегідь поіменованих віртуальних мереж.

Інший спосіб, що використовується для утворення віртуальних мереж, заснований на групуванні MAC-адрес. При існуванні в мережі великої кількості вузлів цей спосіб вимагає виконання великої кількості ручних операцій від адміністратора. Однак він виявляється більш гнучким при побудові віртуальних мереж на основі декількох комутаторів, ніж спосіб групування портів.

Третій спосіб – використання емульованої локальної мережі ELAN. Це поняття має багато спільного з поняттям віртуальної мережі: ELAN будується в мережі, що складається з комутаторів (комутаторів ATM); зв'язок між вузлами однієї і тієї ж ELAN здійснюється на основі MAC-адрес без залучення мережного протоколу; трафік, що генерується яким-небудь вузлом ELAN, навіть ширококомовний, не виходить за межі даної ELAN.

Кадри різних ELAN не змішуються один з одним усередині мережі комутаторів ATM, тому що вони передаються по різних віртуальних з'єднаннях.

При використанні мережного рівня комутатори повинні для утворення віртуальної мережі розуміти будь-який мережний протокол. Такі комутатори називають комутаторами 3-го рівня, тому що вони сполучають функції комутації і маршрутизації. Кожна віртуальна мережа одержує певну мережну адресу, як правило, IP або IPX.

Однак використання мережного протоколу для побудови віртуальних мереж обмежує область їх застосування тільки комутаторами 3-го рівня і вузлами, що підтримують мережний протокол.

## ***СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ***

1. Гук М. Аппаратные средства IBM PC. – СПб.: Питер, 2000.
2. Кулаков Ю.А., Луцкий Г.М. Компьютерные сети. – К.: Юниор, 1998.
3. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. – СПб.: Питер, 2000.
4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2003.