

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Б.Ю. Жураковський, І.О. Зенів

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

ЧАСТИНА 2

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»
та 126 «Інформаційні системи та технології»,
спеціалізацією «Інженерія програмного забезпечення інформаційно управляючих
систем» та «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Рецензенти

- 1) *Толюпа С.В.*, д.т.н., професор, професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації Київського національного університету ім. Тараса Шевченка
- 2) *Отрох С.І.*, д.т.н., доцент, професор кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів та систем НТУУ “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”

Відповідальний редактор

Батрак Є.В., канд. техн. наук, доц.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 10 від 18.06.2020 р.) за поданням Вченої ради Факультету інформатики та обчислювальної техніки (протокол № 10 від 18.05. 2020 р.)

Електронне мережне навчальне видання

Жураковський Богдан Юрійович, доктор техн. наук, проф.
Зенів Ірина Онуфріївна, кандидат техн. наук, доц.

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

ЧАСТИНА 2

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ Частина 2 НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізації «Інженерія програмного забезпечення інформаційно управляючих систем» та «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 372 с.

Посібник призначений для опанування теоретичних та практичних навичок, які необхідні майбутнім фахівцям для вивчення дисципліни «Комп'ютерні мережі». Обсяг та перелік тем запропонованого посібника повністю покриває потреби 121 та 126 спеціальностей. Для кожної теми наведено перелік питань для самоконтролю, задачі для роботи в аудиторії різного рівня складності та вказано питання, що будуть включені в модульну контрольну роботу. Посібник призначений для студентів спеціальностей 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 126 «Інформаційні системи та технології» всіх форм навчання.

©Б. Ю. Жураковський, І. О. Зенів 2020
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. СЦЕНАРІЇ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	8
1.1. Основні поняття	8
1.2. Основні відмінності сценаріїв	11
1.3. Фізичне і логічне представлення сценаріїв	12
1.4. Переваги комп'ютерних мереж	15
1.5. Основні характеристики сучасних комп'ютерних мереж	15
1.6. Економічні завдання при виборі комп'ютерної мережі	17
Контрольні питання до розділу	17
Список рекомендованої літератури	24
Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ	25
2.1. Загальні відомості	25
2.2. Технологія Ethernet (802.3)	30
2.2.1. Загальні відомості	30
2.2.2. Метод доступу CSMA/CD	31
2.2.3. Максимальна продуктивність мережі Ethernet	39
2.2.4. Формати кадрів технології Ethernet	42
2.2.5. Специфікації фізичного середовища Ethernet	49
Контрольні питання до підрозділу	66
Список рекомендованої літератури	68
2.3. Технологія Token Ring (802.5)	69
2.3.1. Основні характеристики технології	69
2.3.2. Маркерний метод доступу до поділюваного середовища	70
2.3.3. Формати кадрів Token Ring	73
2.3.4. Фізичний рівень технології Token Ring	78
Контрольні питання до розділу	88

Список рекомендованої літератури	89
2.4. Технологія Fast Ethernet	90
2.4.1. Історія розвитку	90
2.4.2. Фізичний рівень технології Fast Ethernet	91
2.4.3. Правила побудови сегментів Fast Ethernet при використанні повторювачів	100
Контрольні питання до підрозділу	105
Список рекомендованої літератури	106
2.5. Стандарт високошвидкісних мереж 100VG-AnyLAN	108
2.5.1. Історія створення	108
2.5.2. Топологія	108
2.5.3. Обладнання	109
2.5.4. Види сигналів	111
2.5.5. Кадр передачі 100VG – AnyLAN	113
2.5.6. Фізичний рівень мереж 100VG – AnyLAN	118
Контрольні питання до підрозділу	123
Список рекомендованої літератури	123
2.6. Технологія FDDI	124
2.6.1. Основні характеристики технології	124
2.6.2. Особливості методу доступу FDDI	127
2.6.3. Відмовостійкість технології FDDI	130
2.6.4. Фізичний рівень технології FDDI	133
2.6.5. Порівняння FDDI с технологіями Ethernet і Token Ring	134
Контрольні питання до підрозділу	137
Список рекомендованої літератури	137
2.7. Технологія Gigabit Ethernet	139
2.7.1. Загальні положення	139
2.7.2. Архітектура стандарту Gigabit Ethernet	140
2.7.3. Інтерфейс 1000Base -X	142
2.7.4. Інтерфейс 1000Base-T	144
2.7.5. Рівень MAC	145
2.7.6. Специфікації фізичного середовища стандарту 802.3z	150

2.7.7. 10 Gigabit Ethernet	151
2.7.8. Сімейство 40GBASE-R	152
2.7.9. 100-Gigabit Ethernet (100-GE)	153
2.7.10. Використання технології Ethernet для побудови мультисервісних мереж	157
Контрольні питання до підрозділу	161
Список рекомендованої літератури	163
Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖ ДОСТУПУ	164
3.1. Технологія цифрової абонентської лінії (XDSL)	164
3.1.1. Загальні принципи	164
3.1.2. Технологія ADSL	168
3.1.3. ADSL LITE (Universal ADSL)	172
3.1.4. ADSL2 і ADSL2 +	173
3.1.5. SHDSL	174
3.1.6. Принципи роботи VDSL і VDSL2	176
3.1.7. HDSL	180
3.1.8. Принципи роботи RADSL	185
3.1.9. MSDSL-технологія майбутнього (MRDSL)	186
3.1.10. Мультиплексор Доступу Цифрової абонентської лінії (DSLAM)	188
3.1.11. Маршрутизатор Ширококутного Видаленого доступу (BRAS)	189
Контрольні питання до підрозділу	190
Список рекомендованої літератури	194
3.2. Технологія інтерактивного кабельного телебачення	195
3.2.1. Структура абонентської кабельної мережі	195
3.2.2. Типи модуляції в кабельних модемах	202
3.2.3. Кабельні стандарти	205
3.2.4. DOCSIS 1.1	211
3.2.5. Euro-DOCSIS	214
Контрольні питання до підрозділу	216
Список рекомендованої літератури	219
3.3. Волоконно-оптичні технології доступу	220
3.3.1. Технології групи FTTx	220
3.3.2. Оптичні технології в мережах доступу	224

3.3.3. Технологія пасивної оптичної мережі PON	227
3.3.4. Технологія Ethernet FTTH	238
Контрольні питання до підрозділу	241
Список рекомендованої літератури	243
3.4. Технології безпроводового доступу	246
3.4.1. Конфігурації стаціонарного радіодоступу до телефонних мереж	246
3.4.2. Технології стаціонарного радіодоступу	252
3.4.3. Стандарти сімейства IEEE 802.11	261
3.4.4. Bluetooth	266
3.4.5. Самоорганізуючі безпроводні сенсорні мережі і їх призначення	273
3.4.6. ZigBee	276
Контрольні питання до підрозділу	280
Список рекомендованої літератури	283
Розділ 4. ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ	284
4.1. Технологія синхронної цифрової ієрархії SONET / SDH	287
4.1.1. Загальні відомості	287
4.1.2. Стек протоколів	289
4.1.3. Формат кадру	292
4.1.4. Принципи мультиплексування в ієрархії SDH / SONET	296
4.1.5. Відображення корисного навантаження	298
4.1.6. Топологія мережі SDH	302
4.1.7. Переваги і недоліки технології SDH	308
Контрольні питання до підрозділу	309
Список рекомендованої літератури	313
4.2. Мережа асинхронного режиму передачі (ATM)	314
4.2.1. Основні принципи технології ATM	316
4.2.2. Стек протоколів ATM	320
4.2.3. Протокол ATM	324
4.2.4. Передача трафіку IP через мережі ATM	326
4.2.5. Співіснування ATM з традиційними технологіями локальних мереж	329
4.2.5. Переваги і недоліки технології ATM	330
Контрольні питання до підрозділу	331
Список рекомендованої літератури	334
4.3. Технологія MPLS (Multi Protocol Label Switching)	335

4.3.1. Загальні відомості	335
4.3.2. Принцип комутації	336
4.3.3. Елементи архітектури	339
4.3.4. MPLS Traffic Engineering	344
4.3.5. Практичне застосування MPLS	345
4.3.6. Переваги технології MPLS	346
4.3.7. Generalized Multiprotocol Lambda Switching	347
4.3.8. Переваги технології GMPLS	350
Контрольні питання до підрозділу	354
Список рекомендованої літератури	355
4.4. Мережа щільного хвильового мультиплексування (DWDM)	356
4.4.1. Введення в технологію WDM	356
4.4.2. Модель взаємодії WDM з транспортними технологіями	362
4.4.3. Вузькополосні і широкосмугові WDM	365
4.4.4. Стандартний канальний план і його використання	366
4.4.5. Схеми реалізації мультиплексорів WDM	368
Контрольні питання до підрозділу	371
Список рекомендованої літератури	372

Вступ

Глобалізація інформатизації суспільства і активний процес науково-технічного розвитку в області інфокомунікацій сприяють формуванню єдиного світового інформаційного простору. Однією з основних тенденцій розвитку сучасних комп'ютерних мереж (КМ) стає розширення доступності інформаційно-обчислювальних ресурсів мереж для окремих абонентів. У зв'язку з цим окремі абоненти КМ стають все більш активними споживачами їх обчислювальних ресурсів і учасниками створення баз даних, що безпосередньо володіють технікою доступу до інформаційних ресурсів КМ. З іншого боку підвищення активності окремих абонентів комунікаційних мереж обумовлене розподілом інформаційно-обчислювальних ресурсів сучасних комп'ютерних мереж, у зв'язку з чим в розподілених системах різко зростає роль комунікацій як на рівні баз даних і прикладних завдань, так і на рівні технічних систем.

Бурхливий розвиток технічних засобів комп'ютерних мереж і підвищення активності доступу до інформаційно-обчислювальних ресурсів окремих абонентів підвищили інтерес до проблеми ефективного використання мережевих ресурсів КМ і забезпечення оперативного доступу до них.

Проблема ефективного використання мережевих ресурсів і необхідність реалізації розподіленої обробки даних в КМ гостро поставили питання про створення і застосування в сучасних мережах передачі даних (МПД) нових методів управління мережевими ресурсами, що забезпечують комплексне управління комунікаційними, інформаційними і обчислювальними ресурсами, що дозволяє підвищити оперативність обміну інформацією в мережах передачі даних.

У пропонуємому читачеві навчальному посібнику розглядаються технології локальних мереж, мереж доступу та транспортних мереж, методи управління передачею даних в мережах, що забезпечують комплексне вирішення завдань управління маршрутизацією, потоками даних і обчислювальними ресурсами з метою підвищення оперативності обміну інформацією в мережах передачі даних.

У *першому розділі* навчального посібника описані сценарії побудови комп'ютерних мереж, наведені послуги різних видів, обладнання мережі, яке використовується для надання послуг, які положення враховуються при розробці сценаріїв. Крім того, для різних сценаріїв, представлено варіанти використання різних мереж доступу, базових мереж та мереж користувача. Показано фізичне і логічне представлення сценаріїв. Наведено основні характеристики сучасних комп'ютерних мереж.

У другому розділі навчального посібника описаний основний понятійний апарат, який використовується при аналізі структури і елементів локальних мереж передачі даних. Розглянуті основні технології локальних мереж, їх топологія, типи комунікаційних пристроїв, які використовуються в процесі мережевої взаємодії, методи доступу до середовища передачі, формати кадрів, різновиди модуляцій, кодування, особливості використання та експлуатації.

У третьому розділі навчального посібника розглянуті технології мереж доступу, їх основні функції, принципи побудови, типи комунікаційних пристроїв, які використовуються в процесі мережевої взаємодії, методи доступу, різновиди середовищ передачі, модуляції, типи кодів, функції і структура системи управління мережевими ресурсами. Проаналізовані процеси потоками даних.

У четвертому розділі навчального посібника розглянуті основні транспортні технології, особливості їх побудови, типи комунікаційних пристроїв, які використовуються в процесі передачі інформації, типи тразитних пристроїв, особливості використання регенераторного обладнання, принципи мультиплексування інформації, визначення якості обслуговування для різних типів користувачів.

Автори виражають глибоку подяку докторам технічних наук професорам Толюпі С.В. та Отроху С.І., які, ознайомившись з начальним варіантом рукопису, висловили ряд корисних зауважень і рекомендацій, що дозволили поліпшити виклад матеріалу посібника.

Пропонуємий навчальний посібник призначений для викладачів, інженерно-технічних працівників, що займаються розробкою технічних засобів і проектуванням в області інфокомунікаційних мереж, а також для аспірантів і студентів, які цікавляться даними питаннями.

Сподіваємося, що дана книга знайде зацікавлених читачів, яких ми заздалегідь дякуємо за всі побажання і зауваження щодо змісту навчального посібника.

Розділ 1. СЦЕНАРІЇ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

1.1. Основні поняття

Сценарій комп'ютерних мереж - це графічне представлення комплексу елементів, які забезпечують надання послуг користувачам.

Сценарії включають послуги різних видів, обладнання мережі, яке використовується для надання послуг:

- 1) визначити ключові інтерфейси підключення мереж і обладнання;
- 2) класифікувати інтерфейси за допомогою відповідної форми її систематизації і оцінки;
- 3) визначити послуги, які можуть бути надані через вказані інтерфейси;
- 4) класифікувати послуги за допомогою відповідних критеріїв і їх оцінки;
- 5) виявити технології передачі;
- 6) дослідити взаємодію компонентів мережі;
- 7) узгодити протоколи інтерфейсів;
- 8) забезпечити реалізацію сценаріїв при впровадженні нових інформаційних технологій, а також розробку відповідної нормативно-технічної бази.

Побудова сценаріїв комп'ютерних мереж забезпечує перехід від вже існуючих технологій до нових, появу яких можливо передбачити в майбутньому.

Дослідницька Комісія ІТУ-Т (ДК-15) проаналізувала сценарії з точки зору надання послуг постачальниками, взаємодію мереж, розподіл інформаційних потоків. Запропоновані сценарії дозволили систематизувати і формалізовано описати комп'ютерні мережі і форми їх представлення відповідно із сценарієм глобальної інформаційної структури (GII) [1].

При розробці сценарія враховувались наступні положення:

- 1) сценарій повинен бути гідним для використання, як для роботи користувача так і для мережного оператора;

- 2) інтерфейси в сценаріях повинні бути в будь яких точках між якими організуються з'єднання;
- 3) повинна бути можливість включати в сценарії нові послуги;
- 4) сценарії повинні бути орієнтовані на надання таких послуг як передача мови, даних, відео.

В наш час існує ряд мереж доступу призначених для забезпечення користувачів різними видами послуг. Сценарій дозволяє розглянути комбіноване використання різних існуючих мереж доступу, так щоб додатково надати нові послуги для доставки яких потребуються інші характеристики мереж [2]. До числа нових послуг відносяться доступ до Інтернет, інтерактивне відео та ін. З урахуванням всіх вказаних обставин існує 7 сценаріїв [1].

Складовими частинами сценаріїв є:

- 1) сервісні послуги (відео, мова, данні, доступ до Інтернету);
- 2) базовою мережею може бути телефонна мережа загального користування (ТМЗК), вузькосмугова (N-ISDN) та широкосмугова ISDN (B-ISDN);
- 3) мережений доступ може бути: мережею кабельного телебачення (МКТБ), цифрові абонентські лінії (xDSL), волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ), радіомережа, супутниковий зв'язок;
- 4) мережа користувача - використання персонального комп'ютера (ПК), телефону, бездротового телефону, телевізійного приймача;
- 5) вибір технології передачі інформації залежить від ряду вимог:
 - при необхідності швидкого створення мережі зручно використовувати супутниковий або радіозв'язок (сценарії 5 і 6);
 - при наявності двостороннього кабельного зв'язку використовують технології цифрової абонентської лінії (xDSL) і її різновиди (сценарії 3 і 7);
 - перспективними вважаються побудова волоконно-оптичної мережі, особливо, з використанням спектрального ущільнення (сценарій 4).

Сценарії:

1) надання послуг (мова, данні, відео) по існуючій інфраструктурі;

- 2) надання послуг (мова, данні, відео) по кабельній мережі, яка використовує B-ISDN;
- 3) використання технологій цифрової абонентської лінії (xDSL) для забезпечення передачі відео та даних по мідним парам;
- 4) волоконно-оптичний доступ;
- 5) використання радіодоступу в абонентському шлейфі (мережі);
- 6) доступ з використанням супутникового зв'язку;
- 7) приклад доступу до Інтернет.

Таблиця 1.1. Застосування базової мережі в сценаріях

Сценарії	Базова мережа
1	PSTN/N-ISDN (існуюча інфраструктура, телефонна мережа загального користування (ТМЗК/вузькосмугова ISDN))
2,3,4	Широкосмугова цифрова мережа з інтегральним обслуговуванням (B-ISDN)
5	N-ISDN, B-ISDN
6	B-ISDN, ATM
7	ATM, Frame Relay, ВОЛЗ

Таблиця 1.2. Надання послуг в сценаріях

Сценарії	Послуги
1	1) мова, данні по мережі зв'язку і відео по кабелю, радіо і супутниковому мовленню; 2) мова, данні, відео по двосторонньому кабелю
2	1) мова, данні по мережі зв'язку, відео по кабелю; 2) мова, данні, відео по двосторонньому кабелю
3	1) мова, данні, відео по xDSL
4	1) мова, данні, відео по оптоволоконній мережі
5	1) безпроводовий телефон, мова, данні по мережі зв'язку, відео по кабелю; 2) мова, данні, відео по радіозв'язку
6	1) B-ISDN, Internet, мобільний телефон через супутник
7	1) мова, данні, відео через Інтернет

Таблиця 1.3. Застосування мережі доступу в сценаріях

Сценарії	Мережа доступу
1, 2	1) одностороння розподільча кабельна мережа; 2) двостороння розподільча кабельна мережа; 3) супутникове та наземне широкосмугове мовлення
3	xDSL, ADSL, VDSL
4	волокно до будівлі (FTTB)
5	радіодоступ для мови і даних, кабель для відео
6	супутниковий зв'язок
7	1) ADSL, VDSL; 2) ТМЗК; 3) ISDN (В-ISDN); 4) волоконно-оптична мережа: пасивна оптична мережа(PON), гібридна оптоволоконна мережа(HPC)

Таблиця 1.4. Застосування мережі користувача в сценаріях

Сценарії	Мережа користувача
1, 2, 3, 4	Блок доступу, ПК, телефон, телевізійний приймач
5,6	Блок доступу, ПК, телефон, телевізійний приймач, бездротовий телефон
7	Блок доступу, ПК, телефон, телевізійний приймач

1.2. Основні відмінності сценаріїв

В основному сценарії відрізняються один від одного транспортними технологіями, які використовуються в мережі доступу.

В 1 сценарії цифрове супутникове мовлення включає також засоби розподілу відеоінформації.

1 і 2 сценарії від інших відрізняються тим, що в них базові мережі використовуються існуюча інфраструктура – це комутуєма ТМЗК і ISDN.

У наступних сценаріях в якості базової мережі використовується вже широкосмугова ISDN.

У останньому сценарії використовується доступ в Інтернет за різноманітними способами, організовуються високошвидкісні канали у двох напрямках, в частковому випадку використовується волоконно-оптична

мережа.

Особлива увага приділяється цифровим абонентським лініям. Це відбувається тому, що ця технологія дозволяє використовувати існуючі мідні лінії з доволі високою пропускнуою здатністю, середня швидкість сягає 7-8 Мбіт/с. В останній час широке розповсюдження отримала АТМ. Типова широка смуга пропускання, забезпечення доступу до цієї смуги. У подальшому ці технології можуть бути використані при побудові нових сценаріїв.

1.3. Фізичне і логічне представлення сценаріїв

Сценарій 1: надання послуг, мова, дані, відео по існуючій інфраструктурі

SNI (Service Node Interface) – інтерфейс вузла обслуговування.

UNI (User Network Interface) – інтерфейс мережі користувача

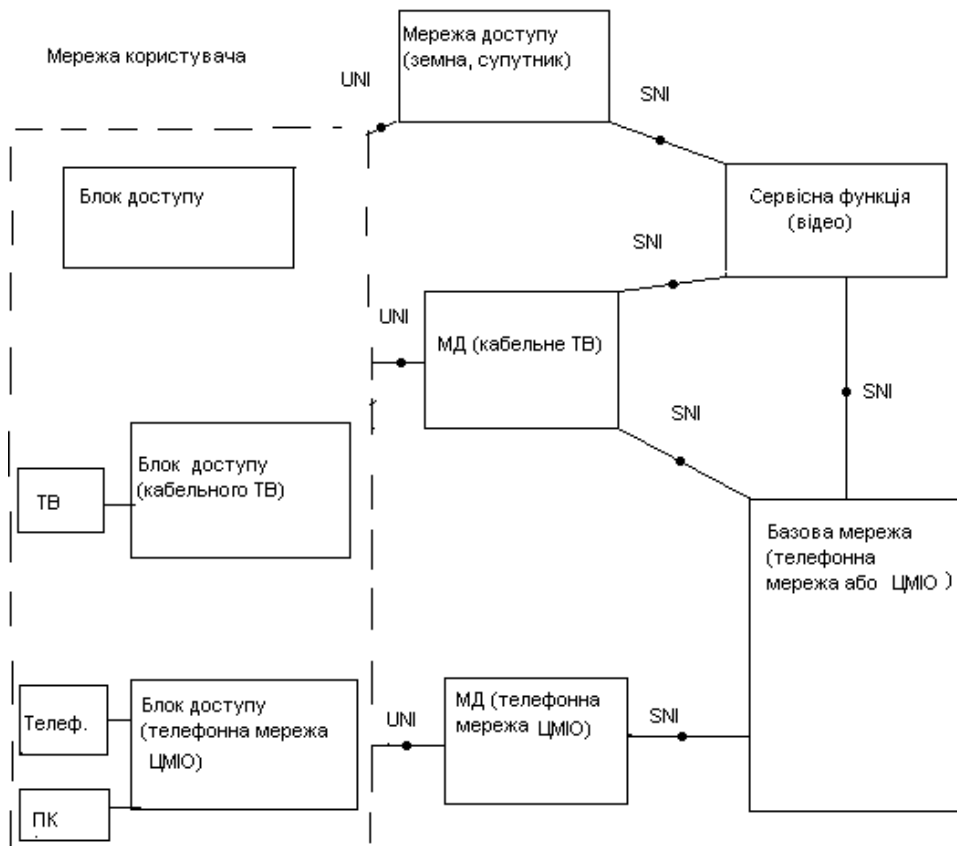


Рис.1.1. Логічне представлення 1 сценарію

В цьому сценарії використовується існуюча МД, яка включає супутникову, яка забезпечує цифрове мовлення, кабельне телебачення, ТМЗК або ЦМІО. Також розглядається надання послуг постачальника відео та припущення, що мережа користувача має відповідні блоки доступу до вказаних МД. Послуги відео від постачальника до користувача можуть доставлятися через супутник або наземні засоби мовлення. Інший шлях через інтерфейс вузла обслуговування між відео сервером і розподільвачем односторонньої кабельної мережі. Інформація від користувача до постачальника необхідна при взаємодії для отримання послуг відео і передається за допомогою інтерфейсів UNI, SNI.

Таким чином інформація від користувача до постачальника і навпаки переноситься по каналах різних МД для забезпечення послуг одного виду. При цьому в МД використовуються різні технології і різні швидкості передачі.

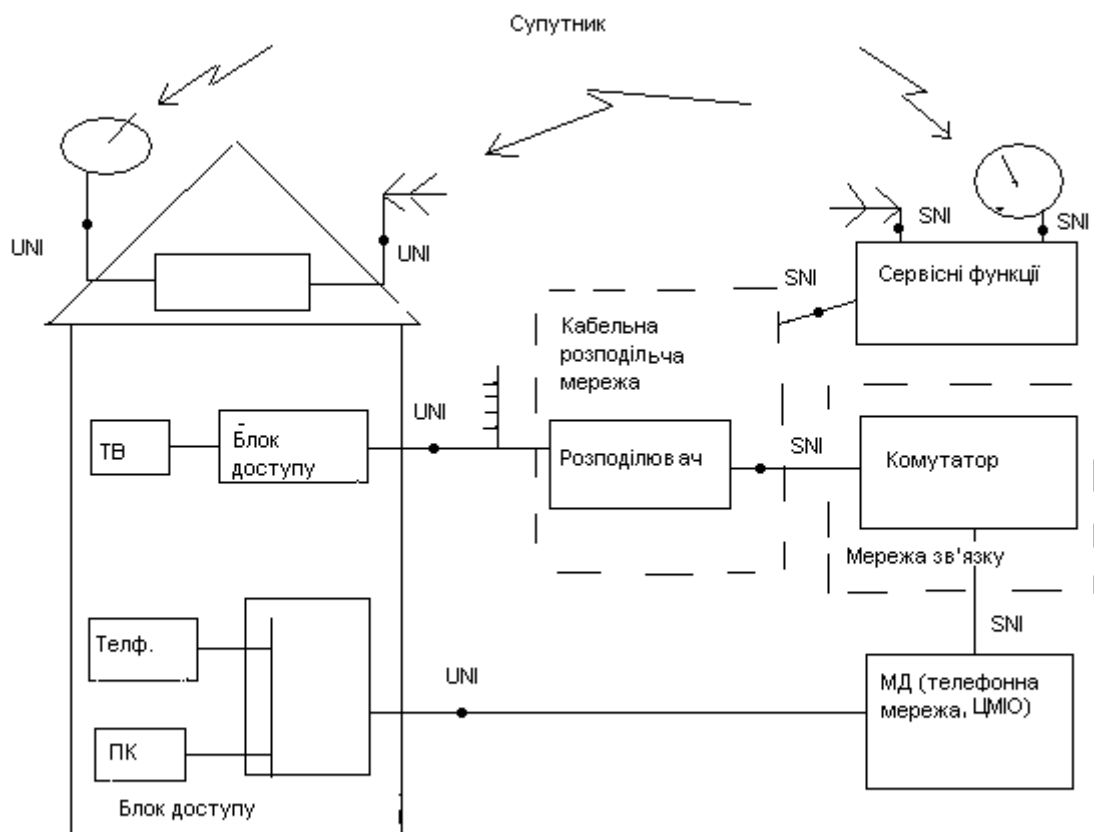


Рис. 1.2. Фізичне представлення 1 сценарію

Сценарій 7: доступ в Інтернет

Інтернет потребує індивідуальних двосторонніх високошвидкісних з'єднань. В цьому сценарії широке розповсюдження отримав протокол ІР, який може працювати з різними транспортними технологіями доступу, такі як АТМ, Frame Relay, Giga Ethernet, xDSL.

Цей сценарій забезпечує такі послуги: відео на вимогу, вихід в Інтернет.

В базовій мережі були використані технології вузькосмугової ІSDN, ТМЗК, АТМ, Frame Relay.

В МД використовується технологія ADSL. Мережа користувача містить блок доступу до ADSL. В цьому сценарії використано також спеціальний маршрутизатор, який є багаторівневим комутатором, його характеристики забезпечують механізм роботи по пріоритетах, гарантії високого рівня пріоритету трафіку найбільш поважної послуги.

Логічне представлення 7 сценарію

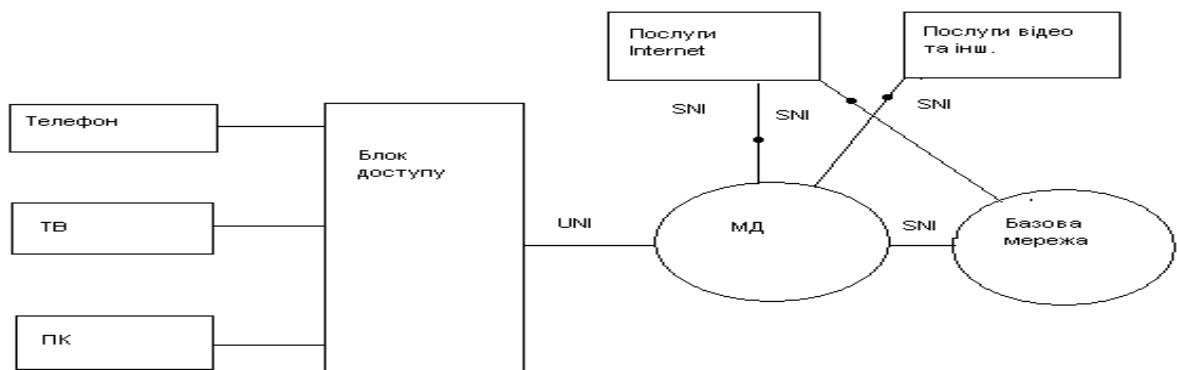


Рис.1.3. Логічне представлення 7 сценарію

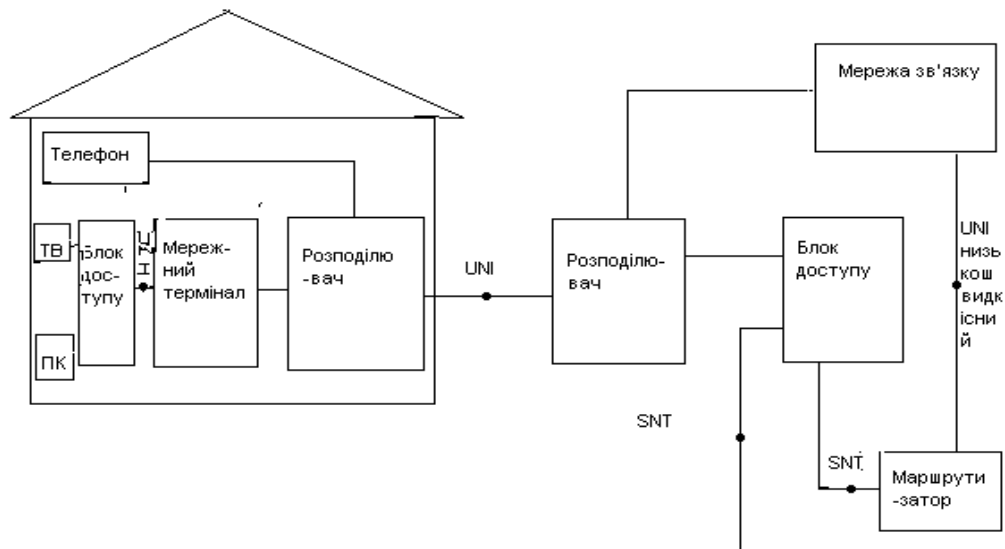


Рис.1.4. Фізичне представлення 7 сценарію

1.4. Переваги комп'ютерних мереж

- 1) вартість підключення на абонента, один з ключових чинників, оскільки всі витрати на обладнання несе конкретний абонент - вартість практично не знижується з ростом кількості користувачів;
- 2) простота підключення - фактор, що визначає швидкість процесу «охоплення» абонентів і, власне, вартість підключення
- 3) достатня для абонента швидкість;
- 4) забезпечення необхідної смуги пропускання;
- 5) забезпечення необхідної якості обслуговування клієнтів; орієнтація на існуючу кабельну інфраструктуру (коаксіальний кабель, кручена пара, телефонна проводка, оптичне волокно і т.д.).

1.5. Основні характеристики сучасних комп'ютерних мереж

Якість роботи мережі характеризують такі властивості: *продуктивність, надійність, сумісність, керованість, захищеність,*

розширюваність і масштабованість [3].

До основних характеристик **продуктивності** мережі відносяться:

- *час реакції* - характеристика, яка визначається як час між виникненням запиту до якого-небудь мережевого сервісу і отриманням відповіді на нього;
- *пропускна здатність* - характеристика, яка відображає об'єм даних, переданих мережею в одиницю часу;
- *затримка передачі* - інтервал між моментом надходження пакету на вхід якого-небудь мережевого пристрою і моментом його появи на виході цього пристрою.

Для **оцінки надійності** мереж використовуються різні характеристики, в тому числі:

- *коефіцієнт готовності*, що означає частку часу, протягом якого система може бути використана;
- *безпеку*, тобто здатність системи захистити дані від несанкціонованого доступу;
- *відмовостійкість* - здатність системи працювати в умовах відмови деяких її елементів.

Розширюваність означає можливість порівняно легкого додавання окремих елементів мережі (користувачів, комп'ютерів, додатків, сервісів), нарощування довжини сегментів мережі і заміни існуючої апаратури більш потужною.

Масштабованість означає, що мережа дозволяє нарощувати кількість вузлів і протяжність зв'язків в дуже широких межах, при цьому продуктивність мережі не погіршується.

Прозорість - властивість мережі приховувати від користувача деталі свого внутрішнього устрою, спрощуючи тим самим його роботу в мережі.

Керованість мережі має на увазі можливість централізовано контролювати стан основних елементів мережі, виявляти і вирішувати проблеми, що виникають при роботі мережі, виконувати аналіз продуктивності і планувати розвиток мережі [3].

Сумісність означає, що мережа здатна включати в себе найрізноманітніше програмне і апаратне забезпечення.

1.6. Економічні завдання при виборі комп'ютерної мережі

- мережа повинна бути економічно ефективною, дана область вкладень вигідною і рентабельною;

- мережа повинна активно формувати для себе ринок збуту, тобто оператору необхідно використовувати маркетингові технології з дослідження, формування та впливу на ринок;

- послуги мережі повинні бути доступні за трьома складовими: *операційної, комфортною і платіжної*.

Перша складова передбачає оперативну установку абонентського обладнання, що задовольняє поточним запитам і розрахованого на найближчу перспективу.

Комфорт визначається простотою і зручністю використання обладнання, *платіжна складова* - простотою і зручністю оплати послуг (передоплата за допомогою пластикових карт).

Комп'ютерна мережа повинна задовольнити користувача, пропонуючи дуже широкий вибір послуг [4].

Стеження та аналізи усіх типів вимог користувачів у відповідності з їх зацікавленістю в послугах і рівнем доходу.

Розробка програм задоволення користувача, які повертаються від традиційного орієнтування на "*рівень послуг*", який забезпечується мережею, до додатків, які орієнтовані на процеси "*загальної якості*", де критеріями для проектування і концепцією мережі є швидка реакція на нові потреби, безпеки, надійності, гнучкості і персоналізація кожної послуги [4].

Контрольні питання до розділу

1. Що собою представляють сценарії комп'ютерних мереж.
2. Сценарії побудови комп'ютерних мереж призначені для моделювання етапів розвитку мережі з ти, щоб:

- a. класифікувати інтерфейси точок підключення мереж і обладнання;
 - b. визначити ключові інтерфейси точок підключення мереж і обладнання;
 - c. забезпечити передачу інформації між кінцевими пунктами;
 - d. сертифікувати інтерфейси;
 - e. дослідити взаємодію компонентів мереж
3. Сценарій 4 побудови комп'ютерних мереж має мережу доступу:
- a. супутникову;
 - b. волоконно-оптичну мережу;
 - c. B-ISDN або SDH;
 - d. кабельну розподільчу мережу;
 - e. телефонну мережа загального користування;
 - f. мережу xDSL;
 - g. радіомережу.
4. Сценарії побудови комп'ютерних мереж призначені для моделювання етапів розвитку мережі з тим, щоб:
- a. виявити технології передачі;
 - b. нормувати інтерфейси та системи передачі;
 - c. забезпечити передачу інформації між кінцевими пунктами;
 - d. визначити послуги, які можуть бути надані через дані інтерфейси;
 - e. дослідити взаємодію компонентів мереж
5. Сценарій 3 побудови комп'ютерних мереж має мережу доступу:
- a. супутникову;
 - b. волоконно-оптичну мережу;
 - c. DWDM;
 - d. кабельну розподільчу мережу;
 - e. телефонну мережа загального користування;
 - f. мережу xDSL;
 - g. ж). радіомережу.
6. Складовими частинами сценаріїв побудови комп'ютерних мереж є:
- a. мережа доступу;
 - b. транспортна мережа;
 - c. вибір технології передачі інформації;
 - d. мережа користувача;
 - e. магістральна мережа.
7. Сценарій 5 побудови комп'ютерних мереж має мережу доступу:
- a. супутникову;
 - b. волоконно-оптичну мережу;
 - c. ATM та B-ISDN;
 - d. кабельну розподільчу мережу;

- e. телефонну мережа загального користування;*
 - f. мережу xDSL;*
 - g. радіомережу.*
8. Сценарій 1 побудови комп'ютерних мереж надає полуги мова, дані, відео:
- a. по мережі B-ISDN;*
 - b. по волоконно-оптичній мережі;*
 - c. по радіомережі;*
 - d. по супутниковій мережі;*
 - e. по телефонній мережі загального користування;*
 - f. за допомогою технології xDSL.*
9. Сценарій 2 побудови комп'ютерних мереж надає полуги мова, дані, відео:
- a. по мережі B-ISDN;*
 - b. по волоконно-оптичній мережі;*
 - c. по радіомережі;*
 - d. по супутниковій мережі;*
 - e. по телефонній мережі загального користування;*
 - f. за допомогою технології xDSL.*
10. Сценарій 4 побудови комп'ютерних мереж надає полуги мова, дані, відео:
- a. по мережі SDH, DWDM;*
 - b. по волоконно-оптичній мережі;*
 - c. по радіомережі;*
 - d. по супутниковій мережі;*
 - e. по телефонній мережі загального користування;*
 - f. за допомогою технології xDSL.*
11. Сценарій 1 побудови комп'ютерних мереж має базову мережу:
- a. ATM;*
 - b. волоконно-оптична мережа;*
 - c. DWDM, SDH;*
 - d. ATM, SDH;*
 - e. телефонна мережа загального користування;*
 - f. мережа xDSL.*
12. Сценарій 2 побудови мереж доступу має базову мережу:
- a. ATM, B-ISDN;*
 - b. волоконно-оптична мережа;*
 - c. MPLS, B-ISDN; 2). ATM, DWDM, SDH;*
 - d. телефонна мережа загального користування;*
 - e. мережа xDSL.*
13. Сценарій 3 побудови комп'ютерних мереж має базову мережу:
- a. SDH, B-ISDN;*
 - b. волоконно-оптична мережа;*

- c. ATM та B-ISDN;*
- d. ATM, DWDM, SDH;*
- e. телефонна мережа загального користування;*
- f. мережа xDSL.*

14. Сценарій 4 побудови комп'ютерних мереж має базову мережу:

- a. ATM, DWDM;*
- b. волоконно-оптична мережа;*
- c. ATM та MPLS;*
- d. ATM, SDH;*
- e. телефонна мережа загального користування;*
- f. мережа xDSL.*

15. В сценарії 4 побудови комп'ютерних мереж, мережа користувача має:

- a. блок доступу;*
- b. волоконно-оптичну мережу;*
- c. персональний комп'ютер;*
- d. кабельну розподільчу мережу;*
- e. телефон;*
- f. телевізійний приймач;*
- g. бездротовий телефон.*

16. Які положення враховувалися при розробці сценаріїв мереж доступу:

- a. сценарій не повинен бути гідний для використання, як для роботи користувача, так і для мережного оператора;*
- b. інтерфейс в сценаріях повинен бути в будь-яких точках, між якими організується з'єднання;*
- c. забезпечення передачі інформації між кінцевими пунктами;*
- d. повинна бути можливість включати в сценарії нові послуги;*
- e. сценарії повинні бути орієнтовані на надання таких послуг, як мова, дані, відео.*

17. Сценарій 1 побудови комп'ютерних мереж має мережу доступу:

- a. супутникову;*
- b. волоконно-оптичну мережу;*
- c. ATM;*
- d. кабельну розподільчу мережу;*
- e. телефонну мережу загального користування;*
- f. мережу xDSL; ж). радіомережу.*

18. Сценарій 2 побудови комп'ютерних мереж має мережу доступу:

- a. супутникову;*
- b. волоконно-оптичну мережу;*
- c. ATM;*
- d. кабельну розподільчу мережу;*

- e. телефонну мережа загального користування та N-ISDN;*
- f. мережу xDSL;*
- g. радіомережу.*

19.Сценарій 3 побудови комп'ютерних мереж має мережу доступу:

- a. супутникову;*
- b. волоконно-оптичну мережу;*
- c. DWDM;*
- d. кабельну розподільчу мережу;*
- e. телефонну мережа загального користування;*
- f. мережу xDSL;*
- g. радіомережу.*

20.Сценарій 4 побудови комп'ютерних мереж має мережу доступу:

- a. супутникову;*
- b. волоконно-оптичну мережу;*
- c. SDH;*
- d. кабельну розподільчу мережу;*
- e. телефонну мережа загального користування;*
- f. мережу xDSL;*
- g. радіомережу.*

21.Сценарій 5 побудови комп'ютерних мереж має мережу доступу:

- a. супутникову;*
- b. волоконно-оптичну мережу;*
- c. MPLS;*
- d. кабельну розподільчу мережу;*
- e. телефонну мережа загального користування;*
- f. мережу xDSL;*
- g. радіомережу.*

22.Сценарій 7 побудови комп'ютерних мереж має мережу доступу:

- a. супутникову;*
- b. волоконно-оптичну мережу;*
- c. SDH;*
- d. кабельну розподільчу мережу;*
- e. телефонну мережа загального користування;*
- f. мережу xDSL;*
- g. радіомережу.*

23.В сценарії 1 побудови комп'ютерних мереж мережа користувача має:

- a. блок доступу;*
- b. волоконно-оптичну мережу;*
- c. персональний комп'ютер;*
- d. кабельну розподільчу мережу;*

- e. телефон;*
- f. телевізійний приймач;*
- g. бездротовий телефон.*

24. В сценарії 4 побудови комп'ютерних мереж мережа користувача має:

- a. блок доступу;*
- b. волоконно-оптичну мережу;*
- c. персональний комп'ютер;*
- d. кабельну розподільчу мережу;*
- e). телефон;*
- f. телевізійний приймач;*
- g. бездротовий телефон.*

25. Сценарій 5 побудови комп'ютерних мереж має мережу доступу:

- a. супутникову;*
- b. волоконно-оптичну мережу;*
- c. АТМ та В-ISDN;*
- d. кабельну розподільчу мережу;*
- e. телефонну мережу загального користування;*
- f. мережу xDSL;*
- g. радіомережу.*

Список рекомендованої літератури

1. Жураковский Б. Ю. Кінцеві пристрої абонентського доступу. Навчальний посібник [Електронний ресурс] / Б. Ю. Жураковский, Г. С. Срочинська, Н. М. Довженко // Київ, Державний університет телекомунікацій. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dut.edu.ua/ru/lib/118/category/96/view/903>.
2. Жураковський Б.Ю. Системи доступу. Навчальний посібник. [Електронний ресурс] / Б. Ю. Жураковский, Н. В. Коршун // Київ, Державний університет телекомунікацій. – 2015. – 58 с.– Режим доступу до ресурсу: http://ir.nmapo.edu.ua:8080/jspui/bitstream/lib/277/1/1_841_81364872.pdf
3. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — ISBN 978-5-49807-389-7.
4. Уэнделл Одом. Компьютерные сети. Первый шаг // Computer Networking First-step. — М.: «Вильямс», 2005. — 432 с.

Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ

2.1. Загальні відомості

Локальні мережі (Local Area Networks, LAN) — це об'єднання комп'ютерів, зосереджених на невеликій території, зазвичай в радіусі не більше 1-2 км, хоча в окремих випадках локальна мережа може мати і протяжніші розміри, наприклад, декілька десятків кілометрів. В загальному випадку локальна мережа є комунікаційною системою, що належить одній організації.

На перших порах для з'єднання комп'ютерів один з одним використовувалися нестандартні мережеві технології.

Мережева технологія — це погоджений набір програмних і апаратних засобів (наприклад, драйверів, мережевих адаптерів, кабелів і роз'ємів) і механізмів передачі даних по лініях зв'язку, достатній для побудови обчислювальної мережі.

Різноманітні пристрої сполучення, що використовують власні способи представлення даних на лініях зв'язку, свої типи кабелів і т. п., могли сполучати тільки ті конкретні моделі комп'ютерів, для яких були розроблені, наприклад, міні-комп'ютери PDP-11 з мейнфреймом IBM 360 або міні-комп'ютери HP з мікрокомп'ютерами LSI-11.

В середині 80-х. років стан справ в локальних мережах кардинально змінився. Затвердилися **стандартні мережеві технології** об'єднання комп'ютерів в мережу — Ethernet, ArcNet, Token Ring, Token Bus, дещо пізніше — FDDI.

Потужним стимулом для їх появи послужили **персональні комп'ютери**. Ці масові продукти стали ідеальними елементами для побудови мереж — з одного боку, вони були досить потужними, щоб забезпечувати роботу мережевого програмного забезпечення, а з іншої — явно потребували об'єднання своєї обчислювальної потужності для вирішення складних завдань, а також розподілу дорогих периферійних пристроїв і дискових масивів. Тому

персональні комп'ютери стали переважати в локальних мережах, причому не лише в якості клієнтських комп'ютерів, але і в якості центрів зберігання і обробки даних, тобто мережевих серверів, потіснивши з цих звичних ролей міні-комп'ютери і мейнфрейми [1].

Усі стандартні технології локальних мереж спиралися на той же принцип комутації, який був з успіхом випробуваний і довів свої переваги при передачі трафіку даних в глобальних комп'ютерних мережах, — принцип комутації пакетів.

Кінець 90-х виявив явного лідера серед технологій локальних мереж — сімейство Ethernet в яке увійшли класична технологія Ethernet 10 Мбіт/с, а також Fast Ethernet 100 Мбіт/с і Gigabit Ethernet 1000 Мбіт/с.

Поступово відмінності між локальними і глобальними типами мережевих технологій стали згладжуватися. Ізольовані раніше локальні мережі почали об'єднувати одну з другою, при цьому в якості єдиного середовища використовувалися глобальні мережі. Тісна інтеграція локальних і глобальних мереж привела до значного взаємопроникнення відповідних технологій.

Зближення в методах передачі даних відбувається на платформі цифрової (немодульованої) передачі даних по волоконно-оптичних лініях зв'язку. Це середовище передачі даних використовують практично усі технології локальних мереж для швидкісного обміну інформацією на відстанях понад 100 метрів, на ній же побудовані сучасні магістралі первинних мереж SDH і DWDM, що надають свої цифрові канали для об'єднання обладнання глобальних комп'ютерних мереж [1].

Висока якість цифрових каналів змінила вимоги до протоколів глобальних комп'ютерних мереж. На перший план замість процедур забезпечення надійності вийшли процедури забезпечення гарантованої середньої швидкості доставки інформації користувачам, а також механізми пріоритетної обробки пакетів особливо чутливого до затримок трафіку, наприклад, голосового. Ці зміни знайшли віддзеркалення в нових технологіях глобальних мереж, таких як Frame Relay і АТМ. У цих мережах передбачається, що спотворення бітів відбувається настільки рідко, що

помилковий пакет вигідніше просто знищити, а усі проблеми, пов'язані з його втратою, передоручити програмному забезпеченню вищого рівня, яке безпосередньо не входить до складу мереж Frame Relay і ATM.

Великий вклад у зближення локальних і глобальних мереж внесло домінування протоколу IP. Цей протокол сьогодні працює поверх будь-яких технологій локальних і глобальних мереж (Ethernet, Token Ring, ATM, Frame Relay), об'єднуючи різні підмережі в єдину складену мережу.

Починаючи з 90-х років, комп'ютерні глобальні мережі, працюючі на основі швидкісних цифрових каналів, істотно розширили спектр послуг, що надавалися, і наздогнали в цьому відношенні локальні мережі. Стало можливим створення служб, робота яких пов'язана з доставкою користувачеві великих об'ємів інформації в реальному часі — зображень, відеофільмів, голосу, загалом, усього того, що дістало назву мультимедійної інформації. Найбільш яскравий приклад — гіпертекстова інформаційна служба Web, що стала основним постачальником інформації в Інтернеті. Її інтерактивні можливості перевершили можливості багатьох аналогічних служб локальних мереж, так що розробникам локальних мереж довелося просто запозичити цю службу у глобальних мереж. Процес перенесення технологій з глобальної мережі Інтернет в локальні набув такого масового характеру, що з'явився навіть спеціальний термін — **intranet -технології** (intra — внутрішній) [2].

Ще однією ознакою зближення локальних і глобальних мереж є поява мереж, що займають проміжне положення між локальними і глобальними мережами. **Міські мережі**, або **мережі мегаполісів**, призначені для обслуговування території великого міста.

Ці мережі використовують цифрові лінії зв'язку, часто оптоволоконні, зі швидкостями на магістралі від 155 Мбіт/с і вище. Вони забезпечують економічне з'єднання локальних мереж між собою, а також вихід в глобальні мережі. Мережі MAN спочатку були розроблені тільки для передачі даних, але зараз перелік послуг, що надаються ними, розширився, зокрема вони підтримують відеоконференції і інтегральну передачу голосу і тексту. Сучасні мережі MAN відрізняються різноманітністю послуг, що надаються,

дозволяючи своїм клієнтам об'єднувати комунікаційне устаткування різного типу, у тому числі і офісні АТС.

З кожним роком посилюється тенденція зближення комп'ютерних і телекомунікаційних мереж різних видів. Робляться спроби створення універсальної, так званої **мультисервісної мережі**, здатної надавати послуги як комп'ютерних, так і телекомунікаційних мереж.

До телекомунікаційних мереж відносяться телефонні мережі, радіомережі і телевізійні мережі. Головне, що об'єднує їх з комп'ютерними мережами, — те, що в якості ресурсу, що надається клієнтам, виступає інформація.

Конвергенція телекомунікаційних і комп'ютерних мереж йде по декількох напрямках.

Передусім, спостерігається *зближення видів послуг*, що надаються клієнтам. Перша і не дуже успішна спроба створення мультисервісної мережі, здатної робити різні послуги, у тому числі послуги телефонії і передачі даних, привела до появи технології **цифрових мереж з інтегрованим обслуговуванням** (Integrated Services Digital Network, ISDN). Проте на практиці ISDN надає сьогодні в основному телефонні послуги. Сьогодні на роль глобальної **мультисервісної мережі нового покоління**, що часто називається в англійській літературі Next Generation Network (NGN), або New Public Network (NPN), претендує Інтернет. Найбільшою привабливістю зараз є нові види комбінованих послуг, в яких поєднуються декілька традиційних послуг, наприклад, послуга універсальної служби повідомлень, що об'єднує електронну пошту, телефонію, факсимільну службу і пейджинговий зв'язок. Найбільших успіхів на практичному терені досягла IP-телефонія, послугами якої прямо або побічно сьогодні користуються мільйони людей. Проте для того, щоб стати мережею NGN, Інтернету ще належить пройти великий шлях. *Технологічне зближення* мереж відбувається сьогодні на основі цифрової передачі інформації різного типу, методу комутації пакетів і програмування послуг. Телефонія вже давно зробила ряд кроків назустріч комп'ютерним мережам, передусім, за рахунок представлення голосу в цифровій формі, що

робить принципово можливим передачу телефонного і комп'ютерного трафіку по одних і тих же цифрових каналах (телебачення також може сьогодні передавати зображення в цифровій формі). Телефонні мережі широко використовують комбінацію методів комутації каналів і пакетів. Так, для передачі службових повідомлень (що називаються повідомленнями сигналізації) застосовуються протоколи комутації пакетів, аналогічні протоколам комп'ютерних мереж, а для передачі власне голосу між абонентами комутується традиційний складений канал) [2].

Додаткові послуги телефонних мереж, такі як переадресація виклику, конференц-зв'язок, телеголосування і інші, можуть створюватися за допомогою так званої **інтелектуальної мережі** (Intelligent Network, IN), що за своєю суттю являється комп'ютерною мережею з серверами, на яких програмується логіка послуг.

Використання комутації пакетів для одночасної передачі через пакетні мережі різноманітного трафіку — голосу, відео і тексту — зробило актуальною розробку нових методів забезпечення необхідної **якості обслуговування** (Quality of Service, QoS). Методи QoS покликані мінімізувати рівень затримок для чутливого до них трафіку, наприклад голосового, і одночасно гарантувати середню швидкість і динамічну передачу пульсацій для трафіку даних.

Сьогодні стає усе більш очевидним, що мультисервісна мережа нового покоління не може бути створена в результаті «перемоги» якої-небудь однієї технології або підходу. Її може породити тільки процес конвергенції, коли від кожної технології буде узято усе найкраще і сполучено в деякий новий сплав, який і дасть необхідну якість для підтримки існуючих і створення нових послуг. З'явився новий термін — **інфокомунікаційна мережа**, який прямо говорить про дві складові сучасної мережі — інформаційну (комп'ютерну) і телекомунікаційну. Враховуючи, що новий термін ще не придбав достатньої популярності, ми використовуватимемо сталий термін «телекомунікаційна мережа» в розширеному значенні — тобто включатимемо в нього і комп'ютерні мережі.

Незважаючи на відмінності, що зберігаються, між комп'ютерними, телефонними, телевізійними, радіо і первинними мережами, в їх структурі можна знайти багато спільного.

2.2. Технологія Ethernet (802.3)

2.2.1. Загальні відомості

Ethernet — це найпоширеніший на сьогоднішній день стандарт локальних мереж. Загальна кількість мереж, які працюють по протоколі Ethernet у даний час, оцінюється в 5 мільйонів, а кількість комп'ютерів з встановленими мережними адаптерами Ethernet — у 50 мільйонів. Коли говорять Ethernet, то під цим звичайно розуміють кожний з варіантів цієї технології.

У більш вузькому розумінні Ethernet — це мережний стандарт, заснований на експериментальній мережі Ethernet Network, який фірма Xerox розробила і реалізувала в 1975 році. Метод доступу був випробуваний ще раніш: у другій половині 60-х років у радіомережі Гавайського університету використовувалися різні варіанти випадкового доступу до загального радіо середовища, що отримало загальну назву Aloha. У 1980 році фірми DEC, Intel і Xerox спільно розробили й опублікували стандарт Ethernet версії II для мережі, побудованої на основі коаксіального кабелю, який став останньою версією фірмового стандарту Ethernet. Тому фірмову версію стандарту Ethernet називають стандартом Ethernet DIX чи Ethernet II [1].

На основі стандарту Ethernet DIX був розроблений стандарт IEEE 802.3, що багато в чому збігається зі своїм попередником, але деякі розходження все-таки мають. У той час як у стандарті IEEE 802.3 розрізняються рівні MAC і LLC, в оригінальному Ethernet обидва ці рівня об'єднані в єдиний каналний рівень. У Ethernet DIX визначається протокол тестування конфігурації (Ethernet Configuration Test Protocol), що відсутній у IEEE 802.3. Трохи відрізняється і формат кадру, хоча мінімальні і максимальні розміри кадрів у цих стандартах збігаються. Часто для того, щоб відрізнити Ethernet, визначений стандартом

IEEE, і фірмовий Ethernet DIX, перший називають технологією 802.3, а за фірмовим залишають назва Ethernet без додаткових позначень.

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

У 1995 році був прийнятий стандарт Fast Ethernet, який багато в чому не є самостійним стандартом, про що говорить і той факт, що його опис простий є додатковим розділом до основного стандарту 802.3 — розділом 802.3i. Аналогічно, прийнятий у 1998 році стандарт Gigabit Ethernet описаний у розділі 802.3z основного документу.

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

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

2.2.2. Метод доступу CSMA/CD

У мережах Ethernet використовується метод доступу до середовища передачі даних, який називається методом колективного доступу з визначенням несучої і виявленням колізій (carrier-sense-multiply-access with collision detection, CSMA/CD) [3].

Цей метод застосовується винятково в мережах з логічною загальною шиною (до яких відносяться і радіомережі, що породили цей метод). 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. Одночасно всі комп'ютери мережі мають можливість негайно (з урахуванням затримки поширення сигналу по фізичному середовищу) одержати дані, що кожної з комп'ютерів почав передавати на загальну шину (рис. 2.1) [3]. Простота схеми підключення — це один з факторів, що визначили

успіх стандарту Ethernet. Говорять, що кабель, до якого підключені всі станції, працює в *режимі колективного доступу* (Multiply Access, MA).

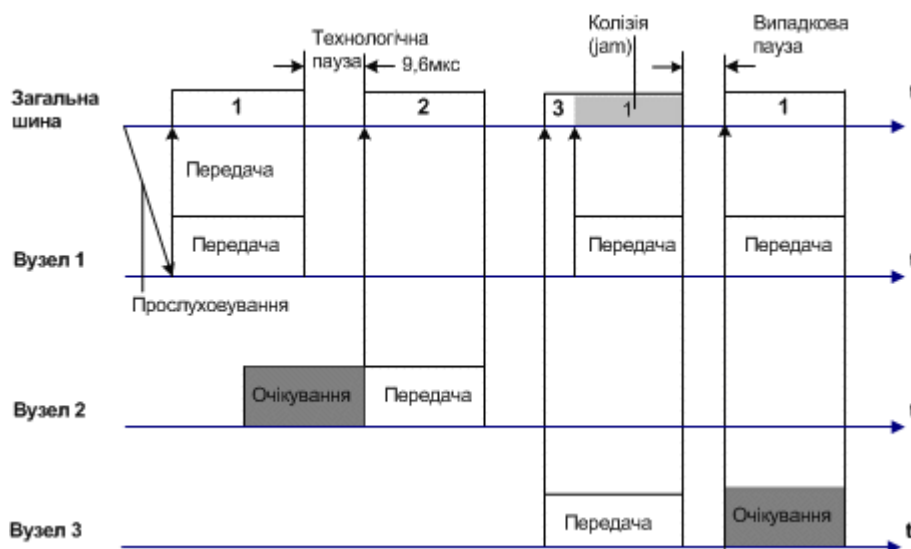


Рис. 2.1. Метод випадкового доступу CSMA/CD

Етапи доступу до середовища

Всі дані, які передаються по мережі, розміщуються в кадри визначеної структури і забезпечуються унікальною адресою станції призначення.

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

Якщо середовище вільне, то вузол має право почати передачу кадру. Цей кадр зображений на рис. 2.1 першим. *Вузол 1* знайшов, що середовище вільне, і почав передавати свій кадр. У класичній мережі Ethernet на коаксіальному кабелі сигнали передавача *вузла 1* поширюються в обидва боки, так що усі вузли мережі їх одержують. Кадр даних завжди супроводжується *пreamбулою* (*preamble*), яка складається з 7 байт, ш має значення 10101010, і 8-ий байт,

дорівнює 10101011. Преамбула потрібна для входження приймача в побітовий і побайтовий синхронізм з передавачем.

Всі станції, підключені до кабелю, можуть розпізнати факт передачі кадру, і та станція, що пізнає власну адресу в заголовках кадру, записує його вміст у свій внутрішній буфер, обробляє отримані дані, передає їх нагору по своєму стеку, а потім посилає по кабелю кадр-відповідь. Адреса станції джерела міститься у вихідному кадрі, тому станція-одержувач знає, кому потрібно послати відповідь [3].

Вузол 2 під час передачі кадру *вузлом 1* також намагався почати передачу свого кадру, однак знайшов, що середовище зайняте — в ньому присутня несуча частота, — тому *вузол 2* змушений чекати, поки *вузол 1* не припинить передачу кадру.

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

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

Виникнення колізії

При описаному підході можлива ситуація, коли дві станції одночасно намагаються передати кадр даних по загальному середовищу. Механізм прослуховування середовища і пауза між кадрами не гарантують від виникнення такої ситуації, коли дві чи більше станцій одночасно вирішують, що середовище вільне, і починають передавати свої кадри. Говорять, що при цьому відбувається *колізія (collision)*, тому що вміст обох кадрів зіштовхується

на загальному кабелі і відбувається перекручування інформації — методи кодування, використовувані в Ethernet, не дозволяють виділяти сигнали кожної станції з загального сигналу.

Колізія — це нормальна ситуація в роботі мереж Ethernet. У прикладі, зображеному на рис. 2.2, колізію породила одночасна передача даних вузлами 3 і 1 [4].

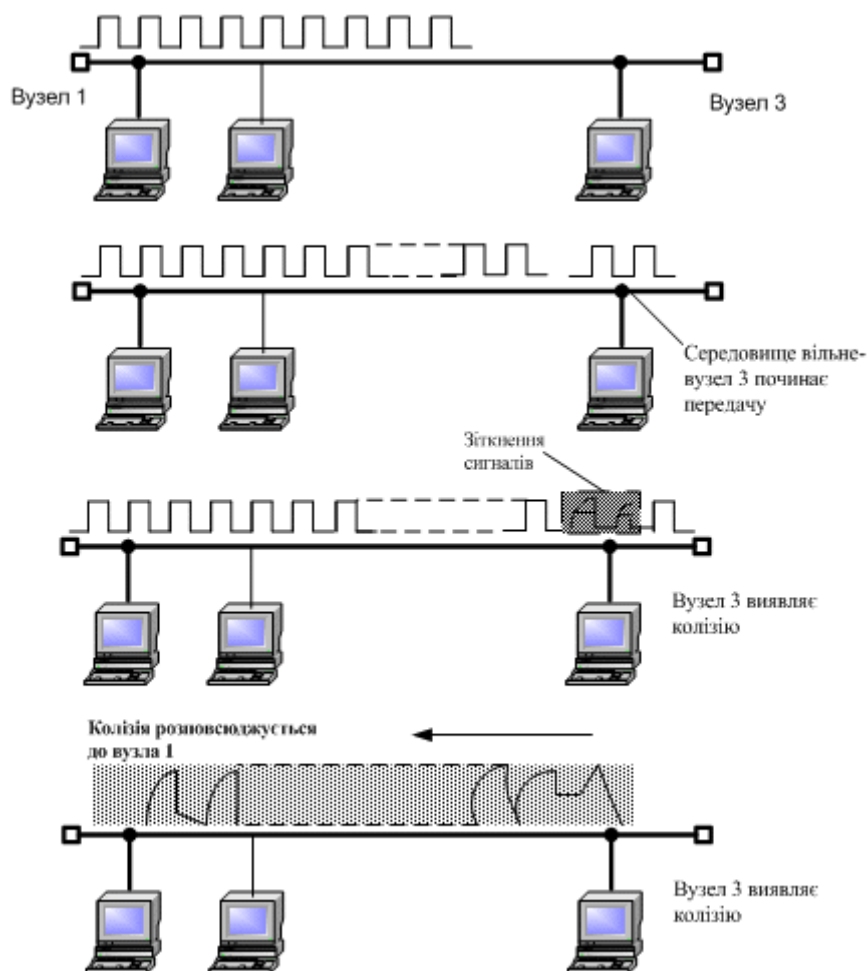


Рис. 2.2 Схеми виникнення колізії

Щоб коректно обробити колізію, усі станції одночасно спостерігають за виникаючими на кабелі сигналами. Якщо передані і сигнали, що спостерігаються, відрізняються, то фіксується виявлення колізії (*collision detection, CD*). Для збільшення імовірності якнайшвидшого виявлення колізії всіма станціями мережі станція, що знайшла колізію, перериває передачу свого кадру (у довільному місці, можливо, і не на границі байта) і підсилює ситуацію

колізії посилкою в мережу спеціальної послідовності з 32 біт, яка називається *jam-послідовністю*.

Після цього станція передавач, що знайшла колізію, зобов'язана припинити передачу і зробити паузу протягом короткого випадкового інтервалу часу. Потім вона може знову почати спробу захоплення середовища і передачі кадру. Випадкова пауза вибирається по наступному алгоритму:

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

де інтервал відстрочки дорівнює 512 бітовим інтервалам (у технології Ethernet прийнятно всі інтервали вимірювати в бітових інтервалах; бітовий інтервал позначається як *bt* і відповідає часу між появою двох послідовних біт даних на кабелі; для швидкості 10 Мбіт/с величина бітового інтервалу дорівнює 0,1 мкс чи 100 нс); L являє собою ціле число, обране з рівною імовірністю з діапазону $[0, 2^N]$, де N — номер повторної спроби передачі даного кадру: 1,2,..., 10.

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

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

З опису методу доступу видно, що він носить випадковий характер, і імовірність успішного одержання у своє розпорядження загальне середовище залежить від завантаженості мережі, тобто від інтенсивності виникнення в станціях потреби в передачі кадрів. При розробці цього методу наприкінці 70-х років передбачалося, що швидкість передачі даних 10 Мбіт/с дуже висока в порівнянні з потребами комп'ютерів у взаємному обміні даними, тому завантаження мережі буде завжди невеликим. Це припущення залишається іноді справедливим і донині, однак уже з'явилися додатки, що працюють у реальному масштабі часу з мультимедійною інформацією, що дуже завантажують сегменти Ethernet. При цьому колізії виникають набагато частіше. При значній інтенсивності колізій корисна пропускна здатність мережі Ethernet різко падає, тому що мережа майже постійно зайнята повторними спробами передачі кадрів. Для зменшення інтенсивності виникнення колізій

потрібно або зменшити трафік, скоротивши, наприклад, кількість вузлів у сегменті чи замінити додатки, або підвищити швидкість протоколу, наприклад перейти, на Fast Ethernet.

Слід зазначити, що метод доступу CSMA/CD взагалі не гарантує станції, що вона коли-небудь, зможе одержати доступ до середовища. Звичайно, при невеликому завантаженні мережі імовірність такої події невелика, але при коефіцієнті використання мережі, що наближається до 1, така подія стає дуже ймовірною. Цей недолік методу випадкового доступу — плата за його надзвичайну простоту, що зробила технологію Ethernet самою недорогою. Інші методи доступу — маркерний доступ мереж Token Ring і FDDI, метод Demand Priority мереж 100VG-AnyLAN — вільні від цього недоліку [3].

Час подвійного обороту і розпізнавання колізій

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

Для надійного розпізнавання колізій повинно виконуватися наступне співвідношення:

$$T_{min} = > PDV$$

де T_{min} — час передачі кадру мінімальної довжини, а PDV — час, за який сигналколізії встигає поширитися до самого далекого вузла мережі. Тому що вгіршому випадку сигнал повинний пройти двічі між найбільш вилучений друг від друга станціями мережі (в одну сторону проходить неспотворений сигнал, а на зворотному шляху поширюється вже перекручений колізією сигнал), цей час називається *часом подвійного обороту (Path Delay Value, PDV)*.

При виконанні цієї умови станція передавач повинна встигнути знайти колізію, яку викликав переданий станцією кадр, ще до того, як вона закінчить передачу цього кадру.

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

Усі параметри протоколу Ethernet підібрані таким чином, щоб при нормальній роботі вузлів мережі колізії завжди чітко розпізнавалися. При виборі параметрів, звичайно, враховувалося і приведені вище співвідношення, що зв'язує між собою мінімальну довжину кадру і максимальну відстань між станціями в сегменті мережі.

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

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

Одне з таких обмежень зв'язано з гранично припустимим загасанням сигналу. Для забезпечення необхідної потужності сигналу при його проходженні між найбільш віддаленими друг від друга станціями сегмента кабелю максимальна довжина безупинного сегмента товстого коаксіального кабелю з обліком внесеного їм загасання обрана в 500 м. Очевидно, що на кабелі в 500 м умови розпізнавання колізій будуть виконуватися з великим запасом для кадрів будь-якої стандартної довжини, у тому числі і 72 байт (час подвійного обороту по кабелю 500 м складає всього 43,3 бітових інтервали). Тому мінімальна довжина кадру могла б бути встановлена ще менше. Однак розробник технології не стали зменшувати мінімальну довжину кадру, маючи на увазі багато сегментні мережі, що будуються з декількох сегментів, з'єднаних повторювачами.

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

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

Зі збільшень швидкості передачі кадрів, що має місце в нових стандартах, що базуються на тому ж методі доступу CSMA/CD, наприклад Fast Ethernet, максимальна відстань між станціями мережі зменшується пропорційно збільшенню швидкості передачі. У стандарті Fast Ethernet вона складає близько 210м, а в стандарті Gigabit Ethernet вона була б обмежене 25 метрами, якби розробники стандарту не почали деяких заходів для збільшенню мінімального розміру пакета. У табл. 2.1 [3] приведені значення основних параметрів процедури передачі кадру стандарту 802.3, що не залежать від реалізації фізичного середовища. Важливо відзначити, що кожен варіант фізичного середовища технології Ethernet додає до цих обмежень свої, часто більш строгі обмеження, що також повинні виконуватися і які будуть розглянуті нижче.

Таблиця 2.1. *Параметри рівня MAC Ethernet*

Параметри	Значення
Бітова швидкість	10 Мбіт/с
Інтервал відстрочки	512 бітових інтервалу
Міжкадровий інтервал (IPG)	9,6 мкс
Максимальне число спроб передачі	16
Максимальне число зростання діапазону паузи	10
Довжина jam-послідовності	32 біта
Максимальна довжина кадру (без преамбули)	1518 байт
Мінімальна довжина кадру (без преамбули)	64 байт (512 біт)
Довжина преамбули	64 біт

2.2.3. Максимальна продуктивність мережі Ethernet

Кількість оброблюваних кадрів Ethernet у секунду часто указується виробниками мостів/комутаторів і маршрутизаторів як основна характеристика продуктивності цих пристроїв. У свою чергу, цікаво знати чисту максимальну пропускну здатність сегмента Ethernet у кадрах у секунду в ідеальному випадку, коли в мережі немає колізій і немає додаткових затримок, внесених мостами і маршрутизаторами. Такий показник допомагає оцінити вимоги до продуктивності комунікаційних пристроїв, тому що в кожен порт пристрою не

може надходити більше кадрів в одиницю часу, чим дозволяє це зробити відповідний протокол [4].

Для комунікаційного устаткування найбільш важким режимом є обробка кадрів мінімальної довжини. Це пояснюється тим, що на обробку кожного кадру міст, комутатор чи маршрутизатор витрачає приблизно той саме час, який зв'язаний з переглядом таблиці просування пакета, формуванням нового кадру (для маршрутизатора) і т.п. А кількість кадрів мінімальної довжини, що надходять на пристрій в одиницю часу, природно більше, ніж кадрів будь-якої іншої довжини. Інша характеристика продуктивності комунікаційного устаткування — біт у секунду — використовується рідше, тому що вона не говорить про те, якого розміру кадри при цьому обробляє пристрій, а на кадрах максимального розміру досягти високої продуктивності, вимірюваної в бітах у секунду набагато легше.

Використовуючи параметри, наведені в табл. 2.1, розрахуємо максимальну продуктивність сегмента Ethernet у таких одиницях, як число переданих кадрів (пакетів) мінімальної довжини в секунду.

Для розрахунку максимальної кількості кадрів мінімальної довжини, що проходять по сегменту Ethernet, зауважимо, що розмір кадру мінімальної довжини разом із преамбулою складає 72 байт чи 576 біт (рис. 2.3.), тому на його передачу витрачається 57,5 мкс. Додавши міжкадровий інтервал у 9,6 мкс, отримаємо, що період проходження кадрів мінімальної довжини складає 67,1 мкс. Звідси максимально можлива пропускна здатність сегмента Ethernet складає 14 880 кадр/с.

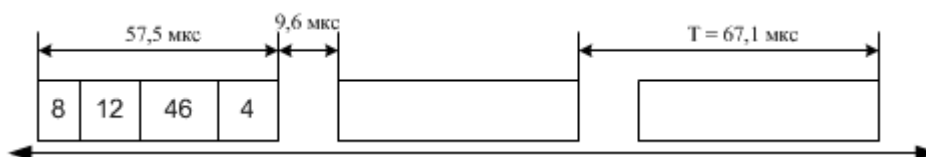


Рис. 2.3. До розрахунку пропускної здатності Ethernet

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

Кадри максимальної довжини технології Ethernet мають поле довжиною 1500 байт, що разом зі службовою інформацією дає 1518 байт, а з преамбулою складає 1526 байт чи 12 208 біт. Максимально можлива пропускна здатність сегмента Ethernet для кадрів максимальної довжини складає 813 кадр/с. Очевидно, що при роботі з великими кадрами навантаження на мости, комутатори і маршрутизатори досить відчутно знижується [5].

Тепер розрахуємо, якою максимальною корисною пропускною здатністю в бітах у секунду володіють сегменти Ethernet при використанні кадрів різного розміру.

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

- службової інформації кадру;
- міжкадрових інтервалів (IPG);
- чекання доступу до середовища.

Для кадрів мінімальної довжини корисна пропускна здатність дорівнює:

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

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

Для кадрів максимальної довжини корисна пропускна здатність дорівнює:

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

що дуже близько до номінальної швидкості протоколу.

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

При використанні кадрів середнього розміру з полем даних у 512 байт

пропускна здатність мережі складе 9,29 Мбіт/с, що теж досить близько до граничної пропускної здатності в 10 Мбіт/с.

При відсутності колізій і чекання доступу коефіцієнт використання мережі залежить від розміру поля даних кадру і має максимальне значення 0,976 при передачі кадрів максимальної довжини. Очевидно, що в реальній мережі Ethernet середнє значення коефіцієнта використання мережі може значно відрізнятись від цієї величини. Більш складні випадки визначення пропускної здатності мережі з урахуванням чекання доступу і відпрацьовування колізій будуть розглянуті нижче.

2.2.4. Формати кадрів технології Ethernet

Стандарт технології Ethernet, описаний у документі IEEE 802.3, дає опис єдиного формату кадру рівня MAC. Тому що в кадр рівня MAC повинний вкладатися кадр рівня LLC, описаний у документі IEEE 802.2, то по стандартах IEEE у мережі Ethernet може використовуватися тільки єдиний варіант кадру каналного рівня, заголовок якого є комбінацією заголовків MAC і LLC підрівнів.

Проте на практиці в мережах Ethernet на каналному рівні використовуються кадри 4-х різних форматів (типів). Це пов'язано з тривалою історією розвитку технології Ethernet, що нараховує період існування до прийняття стандартів IEEE 802, коли підрівень LLC не виділявся з загального протоколу і, відповідно, заголовок LLC не застосовувався.

Консорціум трьох фірм Digital, Intel і Xerox у 1980 році подав на розгляд комітету 802.3 свою фірмову версію стандарту Ethernet (у який був, природно, описаний визначений формат кадру) як проект міжнародного стандарту, але комітет 802.3 прийняв стандарт, що відрізняється в деяких деталях від пропозиції DIX. Відмінності стосувалися і формату кадру, що породило існування двох різних типів кадрів у мережах Ethernet [3].

Ще один формат кадру з'явився в результаті зусиль компанії Novell по прискоренню роботи свого стека протоколів у мережах Ethernet.

І нарешті, четвертий формат кадру став результатом діяльності комітету 802.2 по приведенню попередніх форматів кадрів до деякого загального стандарту.

Розходження у форматах кадрів можуть приводити до несумісності в роботі апаратури і мережного програмного забезпечення, розрахованого на роботу тільки з одним стандартом кадру Ethernet. Однак сьогодні практично всі мережні адаптери, драйвери мережних адаптерів, мости/комутатори і маршрутизатори вміють працювати з усіма використовуваними на практиці форматами кадрів технології Ethernet, причому розпізнавання типу кадру виконується автоматично.

Нижче наводиться опис усіх чотирьох типів кадрів Ethernet (тут під кадром розуміється весь набір полів, що відносяться до канального рівня, тобто поля MAC і LLC рівнів). Той самий тип кадру може мати різні назви, тому нижче для кожного типу кадру приведене по декілька найбільш вживаних назв:

- кадр 802.3/LLC (кадр 802.3/802.2 чи кадр Novell 802.2);
- кадр Raw 802.3 (чи кадр Novell 802.3);
- кадр Ethernet DIX (чи кадр Ethernet II);
- кадр Ethernet SNAP.

Формати всіх цих чотирьох типів кадрів Ethernet приведені на рис. 2.4. [3]

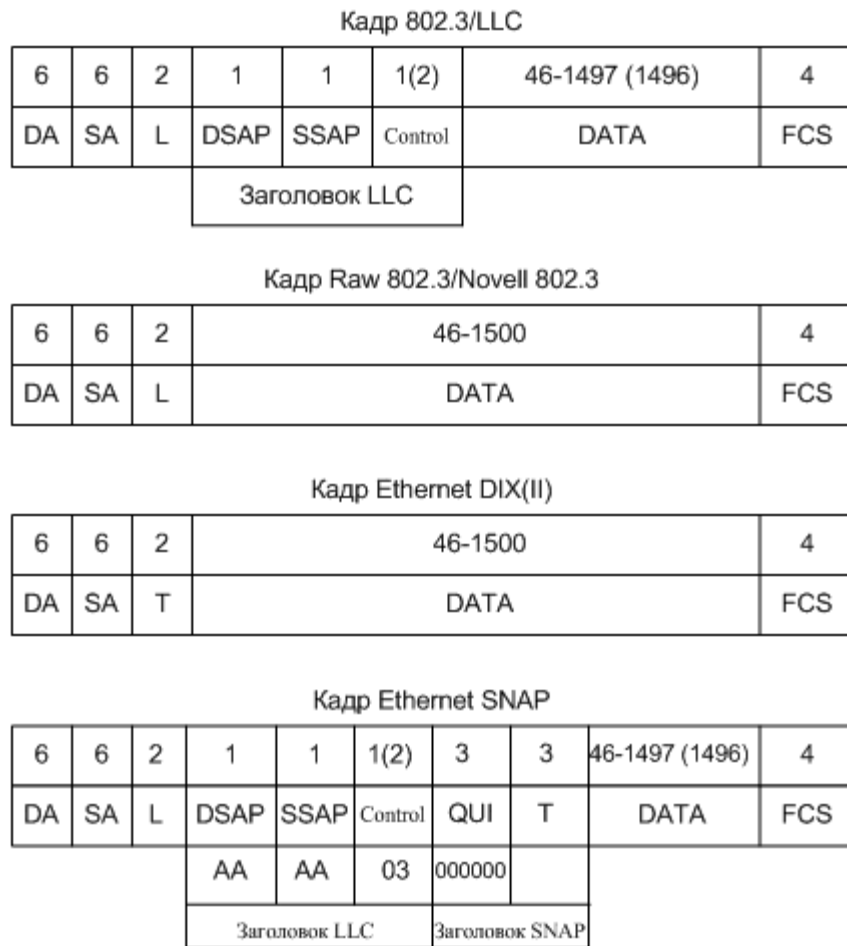


Рис.2.4. Формати кадрів Ethernet

Кадр 802.3/LLC

Заголовок кадру 802.3/LLC є результатом об'єднання полів заголовків кадрів, визначених у стандартах IEEE 802.3 і 802.2. Стандарт 802.3 визначає вісім полів заголовка (рис. 2.4; поле преамбули і початковий обмежувач кадру на малюнку не показані).

- *Поле преамбули (Preamble)* складається із семи синхронізуючих байт 10101010. При манчестерському кодуванні ця комбінація представляється у фізичному середовищі періодичним хвильовим сигналом з частотою 5 МГц.

- *Початковий обмежувач кадру (Start-of-frame-delimiter, SFD)* складається з одного байта 10101011. Поява цієї комбінації біт є вказівкою на те, що наступний байт — це перший байт заголовка кадру.

- *Адреса призначення (Destination Address, DA)* може бути довжиною 2 чи 6 байт. На практиці завжди використовуються адреси з 6 байт. Перший біт старшого байта адреси призначення є ознакою того, є адреса індивідуальна чи

групова. Якщо він дорівнює 0, то адреса є *індивідуальною (unicast)*, а якщо 1, то це *групова адреса (multicast)*. Групова адреса може призначатися усім вузлам мережі чи ж визначеній групі вузлів мережі. Якщо адреса складається з всіх одиниць, тобто має шістнадцяткове представлення 0xFFFFFFFF, то вона призначається всім вузлам мережі і називається *широкомовною адресою (broadcast)*. В інших випадках групова адреса зв'язана тільки з тими вузлами, що сконфігуровані (наприклад, привласнені) як члени групи, номер якої зазначений у груповій адресі. Другий біт старшого байта адреси визначає спосіб призначення адреси — централізований чи локальний. Якщо цей біт дорівнює 0 (що буває майже завжди в стандартній апаратурі Ethernet), то адреса призначена централізовано, за допомогою комітету I1111. Комітет IEEE розподіляє між виробниками устаткування так звані *організаційно унікальні ідентифікатори (Organizationally Unique Identifier, OUI)*. Цей ідентифікатор міститься в 3 старших байтах адреси (наприклад, ідентифікатор 000081 визначає компанію Bay Networks). За унікальність молодших 3-х байт адреси відповідає виробник устаткування. Двадцять чотири біти, що підводяться виробнику для адресації інтерфейсів його продукції, дозволяють випустити 16 мільйонів інтерфейсів під одним ідентифікатором організації. Унікальність адрес, що централізовано розподіляються, поширюється на всі основні технології локальних мереж - *Ethernet, Token Ring, FDDI* і т.д.

- *Адреса джерела (Source Address, SA)* — це 2-чи 6-байтове поле, що містить адресу вузла — відправника кадру. Перший біт адреси завжди має значення 0.

- *Довжина (Length, L)* — 2-байтове поле, що визначає довжину полючи даних у кадрі.

- *Поле даних (Data)* може містити від 0 до 1500 байт. Але якщо довжина нуля менше 46 байт, то використовується наступне поле — поле заповнення, — щоб доповнити кадр до мінімально припустимого значення в 46 байт.

- *Поле заповнення (Padding)* складається з такої кількості байт заповнювачів, що забезпечує мінімальну довжину поля даних у 46 байт. Це

забезпечує коректну роботу механізму виявлення колізій. Якщо довжина поля даних достатня, то поле заповнення в кадрі не з'являється.

- *Поле контрольної суми (Frame Check Sequence. FCS)* складається з 4 байт, вміщуючих контрольну суму. Це значення обчислюється за алгоритмом CRC-32. Після одержання кадру робоча станція виконує власне обчислення контрольної суми для цього кадру, порівнює отримане значення зі значенням поля контрольної суми і, таким чином, визначає, чи не перекручений отриманий кадр.

Кадр 802.3 є кадром MAC-підрівня тому у відповідності до стандарту 802.2 в його поле даних вкладається кадр підрівня LLC з вилученими прапорами початку і кінця кадру. Формат кадру LLC був описаний вище. Тому що кадр LLC має заголовок довжиною 3 (у режимі LLC1) чи 4 байт (у режимі LLC2), то максимальний розмір поля даних зменшується до 1497 чи 1496 байт [3].

Кадр Raw 802.3/Novell 802.3

Кадр Raw 802.3, також званий кадром *Novell 802.3*, представлений на рис. 2.4. З рисунку видно, що це кадр підрівня MAC стандарту 802.3, але без вкладеного кадру підрівня LLC. Компанія Novell довгий час не використовувала службові поля кадру LLC у своїй операційній системі NetWare через відсутність необхідності ідентифікувати тип інформації, вкладеної в поле даних, — там завжди знаходився пакет протоколу IPX, довгий час був єдиним протоколом мережного рівня в ОС NetWare.

Тепер, коли необхідність ідентифікації протоколу верхнього рівня з'явилася, компанія Novell стала використовувати можливість інкапсуляції в кадр підрівня MAC кадру LLC, тобто використовувати стандартні кадри 802.3/LLC. Такий кадр компанія позначає тепер у своїх операційних системах як кадр 802.2, хоча він є комбінацією заголовків 802.3 і 802.2 [3].

Кадр Ethernet DIX/Ethernet II

Кадр Ethernet DIX, який також зветься *кадром Ethernet II*, має структуру (див. рис. 2.4), що збігається зі структурою кадру Raw 802.3. Однак 2-байтове

поле *Довжина (L)* кадру Raw 802.3 у кадрі Ethernet DIX використовується в якості поля типу протоколу. Це поле, що тепер одержало назву *Type (T)* чи *EtherType*, призначено для тих ж цілей, що і поля DSAP і SSAP кадру LLC — для вказівки типу протоколу верхнього рівня, що вклали в свій пакет у поле даних цього кадру.

У той час як коди протоколів в полях SAP мають довжину в один байт, у поле Type для коду протоколу виділяються 2 байти. Тому той самий протокол у поле SAP і поле Type буде кодуватися в загальному випадку різними числовими значеннями. Наприклад, протокол IP має код 2048_{10} ; (0x0800) для поля EtherType і значення 6 для поля SAP. Значення кодів протоколів для поля EtherType з'явилися раніш значень SAP, тому що фірмова версія Ethernet DIX існувала до появи стандарту 802.3, і вчасно поширення устаткування 802.3 уже стали стандартами де-факто для багатьох апаратних і програмних продуктів. Тому що структури кадрів Ethernet DIX і Raw 802.3 збігаються, те поле довжини/типу часто в документації позначають як поле L/T.

Кадр Ethernet SNAP

Для усунення різнобою в кодуваннях типів протоколів, повідомлення яких вкладені в поле даних кадрів Ethernet, комітетом 802.2 були проведені робота з подальшої стандартизації кадрів Ethernet. У результаті з'явився кадр Ethernet SNAP (SNAP — SubNetwork Access Protocol, протокол доступу до підмереж). Кадр Ethernet SNAP (див. рис. 2.4) являє собою розширення кадру 802.3/LLC за рахунок уведення додаткового заголовка протоколу SNAP, що складає з двох полів: OUI і Type. Поле Type складається з 2-х байт і повторює по форматі і призначенню поле Type кадру Ethernet II (тобто в ньому використовуються ті ж значення кодів протоколів). Поле OUI (Organizationally Unique Identifier) визначає ідентифікатор організації, що контролює коди протоколів у поле Type. За допомогою заголовка SNAP досягнута сумісність з кодами протоколів у кадрах Ethernet II, а також створена універсальна схема кодування протоколів. Коди протоколів для технологій 802 контролює IEEE,

що має OUI, рівний 000000. Якщо в майбутньому будуть потрібні інші коди протоколів для якої-небудь нової технології, для цього досить вказати інший ідентифікатор організації, що призначає ці коди, а старі значення кодів залишаться в силі (у сполученні з іншим ідентифікатором OUI) [3].

Тому що SNAP являє собою протокол, вкладений в протокол LLC, то в полях DSAP і SSAP записується код 0xAA, відведений для протоколу SNAP. Поле Control заголовка LLC встановлюється в 0x03, що відповідає використанню нумерованих кадрів.

Заголовок SNAP є доповненням до заголовка LLC. тому він припустимий не тільки в кадрах Ethernet, але й у кадрах протоколів інших технологій 802. Наприклад, протокол IP завжди використовує структуру заголовків LLC/SNAP при інкапсуляції в кадри всіх протоколів локальних мереж: FDDI, Token Ring, 100VG-AnyLAN, Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet.

При передачі пакетів IP через мережі Ethernet, Fast Ethernet і Gigabit Ethernet протокол IP використовує кадри Ethernet DIX.

Використання різних типів кадрів Ethernet

Автоматичне розпізнавання типів кадрів Ethernet виконується досить нескладно. Для кодування типу протоколу в полі EtherType вказуються значення, що перевищують значення максимальної довжини нуля даних, рівне 1500, тому кадри Ethernet II легко відрізнити від інших типів кадрів за значенням поля L/T. Подальше розпізнавання типу кадру проводиться по наявності чи відсутності полів LLC. Поля LLC можуть бути відсутніми тільки в тому випадку, якщо за полем довжини йде початок пакета IPX, а саме 2-байтове поле контрольної суми пакета, що завжди заповнюється одиницями, що дає значення в 255 байт. Ситуація, коли поля DSAP і SSAP одночасно містять такі значення, виникнути не може, тому наявність двох байт 255 говорить про те, що це кадр Raw 802.3. В інших випадках подальший аналіз проводиться в залежності від значень полів DSAP і SSAP. Якщо вони дорівнюють 0xAA, то це кадр Ethernet SNAP, а якщо ні, то 802.3/LLC.

У табл. 2.2 [3] наведені дані про те, які типи кадрів Ethernet звичайно підтримують реалізації популярних протоколів мережного рівня.

Таблиця 2.2. *Типи кадрів Ethernet, що підтримують реалізації популярних протоколів мережного рівня*

Тип кадру	Мережеві протоколи
Ethernet II	IPX, IP, AppleTalk Phase I
Ethernet 802.3	IPX
Ethernet 802.2	IPX, FTAM
Ethernet SNAP	IPX, IP, AppleTalk, Phase II

2.2.5. Специфікації фізичного середовища Ethernet

Історично перші мережі технології Ethernet були створені на коаксіальному кабелі діаметром 0,5 дюйма. Згодом були визначені й інші специфікації фізичного рівня для стандарту Ethernet, що дозволяють використовувати різні середовища передачі даних. Метод доступу CSMA/CD і всі тимчасові параметри залишаються тими самими для будь-якої специфікації фізичного середовища технології Ethernet 10 Мбіт/с.

Фізичні специфікації технології Ethernet на сьогоднішній день включають наступні середовища передачі даних [3].

- **10Base-5** — коаксіальний кабель діаметром 0,5 дюйма, що зветься "товстим" коаксіалом. Має хвильовий опір 50 Ом. Максимальна довжина сегмента — 500 метрів (без повторювачів).

- **10Base-2** — коаксіальний кабель діаметром 0,25 дюйма, що зветься "тонким" коаксіалом. Має хвильовий опір 50 Ом. Максимальна довжина сегмента — 185 метрів (без повторювачів).

- **10Base-T** — кабель на основі неекранованої кручений пари (Unshielded Twisted Pair, UTP). Утворює зіркоподібну топологію на основі концентратора. Відстань між концентратором і кінцевим вузлом — не більш 100 м.

- **10Base-F** — волоконно-оптичний кабель. Топологія аналогічна топології стандарту 10Base-T. Мається кілька варіантів цієї специфікації — FOIRL

(відстань до 1000 м), 10Base-FL (відстань до 2000 м), 10Base-FB (відстань до 2000 м).

Число 10 у зазначених вище назвах позначає бітову швидкість передачі даних цих стандартів — 10 Мбіт/с, а слово Base — метод передачі на одній базовій частоті 10 МГц (на відміну від методів, що використовують кілька несучих частот, що називаються Broadband — широкополосними). Останній символ у назві стандарту фізичного рівня позначає тип кабелю.

Стандарт 10Base-5

Стандарт 10Base-5 в основному відповідає експериментальній мережі Ethernet фірми Xerox і може вважатися класичним Ethernet. Він використовує як середовище передачі даних коаксіальний кабель із хвильовим опором 50 Ом, діаметром центрального мідного проводу 2,17 мм і зовнішнім діаметром близько 10 мм (“товстий” Ethernet). Такими характеристиками володіють кабелі марок RG-8 і HRG-11.

Різні компоненти мережі, яка складається з трьох сегментів, з'єднаних повторювачами, виконаної на товстому коаксіалі, показані на рис. 2.5.

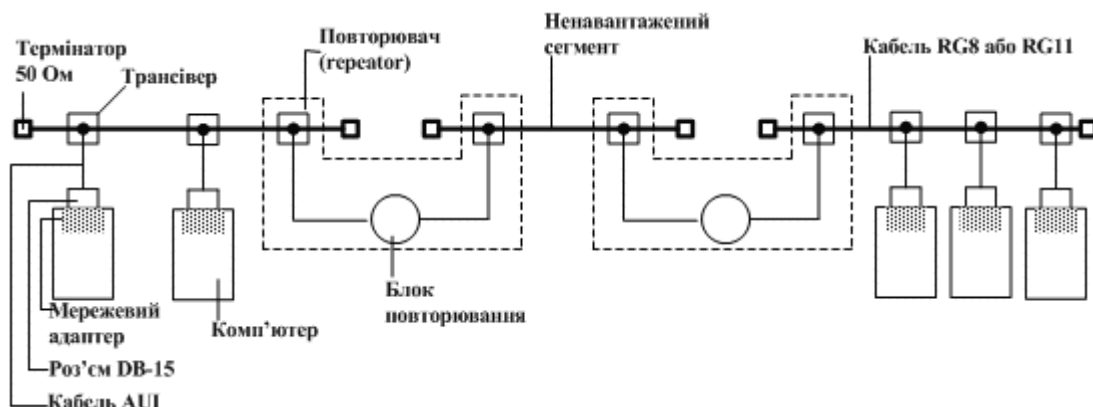


Рис. 2.5. Компоненти фізичного рівня мережі стандарту 10Base-5, яка складається з трьох сегментів

Кабель використовується як моно канал для всіх станцій. Сегмент кабелю має максимальну довжину 500 м (без повторювачів) і повинний мати на кінцях *термінатори* з опором 50 Ом, що поглинають сигнали, які поширюються по кабелю, і перешкоджають виникненню відбитих сигналів. При відсутності

термінаторів (“заглушок”) у кабелі виникають стоячі хвилі, так що одні вузли одержують могутні сигнали, а інші — настільки слабкі, що їхній прийом стає неможливим.

Станція повинна підключатися до кабелю за допомогою прийомопередатчика — *трансівера* (transmitter + receiver = transceiver). Трансівер установлюється безпосередньо на кабелі і живиться від мережного адаптера комп'ютера. Трансівер може приєднуватися до кабелю як методом проколювання, що забезпечує безпосередній фізичний контакт, так і безконтактним методом.

Трансівер з'єднується з мережним адаптером інтерфейсним кабелем АUI (Attachment Unit Interface) довжиною до 50 м, що складається з 4 кручених пар (адаптер повинний мати роз'єм АUI). Наявність стандартного інтерфейсу між трансівером і іншою частиною мережного адаптера дуже корисно при переході з одного типу кабелю на інший. Для цього досить тільки замінити Трансівер, а інша частина мережного адаптера залишається незмінною, тому що вона відпрацьовує протокол рівня МАС. При цьому необхідно тільки, щоб новий трансівер (наприклад, трансівер для кручених пар) підтримував стандартний інтерфейс АUI. Для приєднання до інтерфейсу АUI використовується роз'єм DB-15. Допускається підключення до одного сегмента не більш 100 трансіверів, причому відстань між підключеннями трансіверів не повинне бути менше 2,5 м. На кабелі маєтся розмітка через кожні 2,5 м, що позначає точки підключення трансіверів. При приєднанні комп'ютерів відповідно до розмітки вплив стоячих хвиль у кабелі на мережні адаптери зводиться до мінімуму.

Трансівер — це частина мережного адаптера, що виконує наступні функції:

- прийом і передача даних з кабелю на кабель;
- визначення колізій в кабелі;
- електрична розв'язка між кабелем і іншою частиною адаптера;
- захист кабелю від некоректної роботи адаптера.

Останню функцію іноді називають "контролем балакучості", що є буквральним перекладом відповідного англійського терміна (jabber control). При виникненні несправностей в адаптері може виникнути ситуація, коли на кабель

буде безупинно видаватися послідовність випадкових сигналів. Тому що кабель — це загальне середовище для всіх станцій, то робота мережі буде заблокована одним несправним адаптером. Щоб цього не трапилось, на виході передавача ставиться схема, що перевіряє час передачі кадру. Якщо максимально можливий час передачі пакета перевищується (з деяким запасом), то ця схема просто від'єднує вихід передавача від кабелю. Максимальний час передачі кадру (разом із преамбулою) дорівнює 1221 мкс, а час jabber-контролю встановлюється рівним 4000 мкс (4 мс) [4].

Спрощена структурна схема трансівера показана на рис. 2.6. Передавач і приймач приєднуються до однієї точки кабелю за допомогою спеціальної схеми, наприклад трансформаторної, що дозволяє організувати одночасну передачу і прийом сигналів з кабелю.

Детектор колізій визначає наявність колізії в коаксіальному кабелі по підвищеному рівню постійної складової сигналів. Якщо постійна складова перевищує визначений поріг (близько 1,5 В), то виходить, що на кабель працює більш одного передавача. Елементи, що розв'язують, (РЭ) забезпечують гальванічну розв'язку трансівера від іншої частини мережного адаптера і тим самим захищають адаптер і комп'ютер від значних перепадів напруги, які виникають на кабелі при його ушкодженні [5].

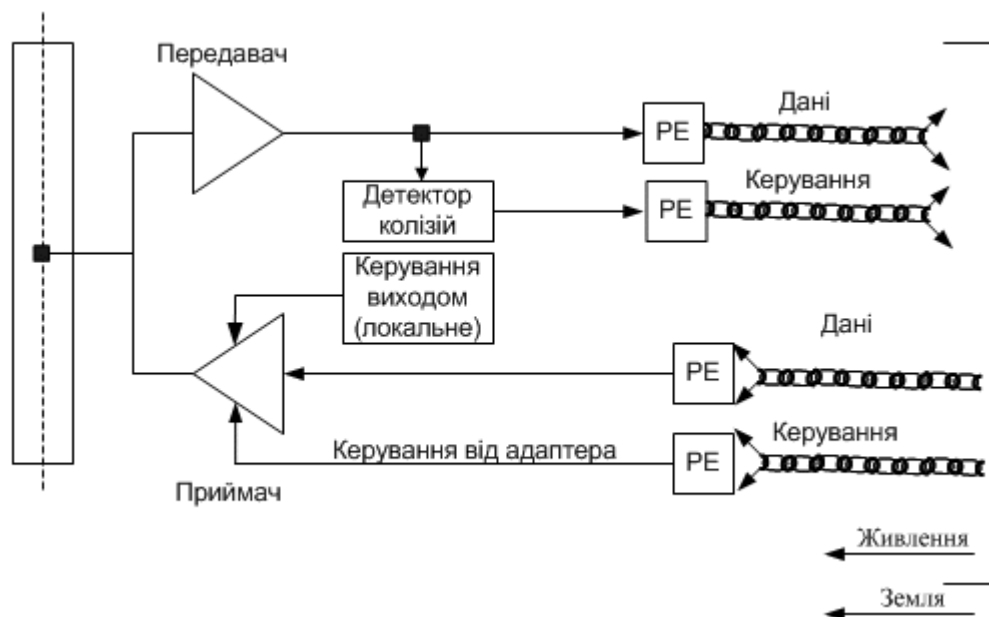


Рис.2.6. Структурна схема трансівера

Стандарт 10Base-5 визначає можливість використання в мережі спеціального пристрою - *повторювача (repeater)*. Повторювач служить для об'єднання в одну мережу декількох сегментів кабелю і збільшення тим самим загальної довжини мережі. Повторювач приймає сигнали з одного сегмента кабелю і побітно синхронно повторює їх в іншому сегменті, поліпшуючи форму і потужність імпульсів, а також синхронізуючи імпульси. Повторювач складається з двох (чи декількох) трансіверов, що приєднуються до сегментів кабелю, а також блоку повторення зі своїм тактовим генератором. Для кращої синхронізації переданих біт повторювач затримує передачу декількох перших біт преамбули кадру, за рахунок чого збільшується затримка передачі кадру із сегмента на сегмент, а також трохи зменшується міжкадровий інтервал IPG.

Стандарт дозволяє використання в мережі не більш 4 повторювачів і, відповідно, не більш 5 сегментів кабелю. При максимальній довжині сегмента кабелю в 500 м це дає максимальну довжину мережі 10Base-5 у 2500 м. Тільки 3 сегменти з 5 можуть бути навантаженими, тобто такими, до яких підключаються кінцеві вузли. Між навантаженими сегментами повинні бути ненавантажені сегменти, так що максимальна конфігурація мережі являє собою два навантажених крайніх сегменти, що з'єднуються ненавантаженими сегментами ще з одним центральним навантаженим сегментом. На мал. 3.7 був приведений приклад мережі Ethernet, що складає з трьох сегментів, об'єднаних двома повторювачами. Крайні сегменти є навантаженими, а проміжний — ненавантаженим.

Правило застосування повторювачів у мережі Ethernet 10Base-5 зветься "*правило 5-4-3*": 5 сегментів, 4 повторювачі, 3 навантажених сегменти. Обмежене число повторювачів мотивується додатковими затримками поширення сигналу, які вони вносять. Застосування повторювачів збільшує час подвійного поширення сигналу, що для надійного розпізнавання колізій не повинно перевищувати час передачі кадру мінімальної довжини, тобто кадру в 72 байт чи 576 біт.

Кожен повторювач підключається до сегмента одним своїм трансівером, тому до навантажених сегментів можна підключити не більше 99 вузлів.

Максимальне число кінцевих вузлів у мережі 10Base-5 за таким способом складає $99 \times 3 = 297$ вузлів.

До переваг стандарту 10Base-5 відносяться:

- гарна захищеність кабелю від зовнішніх впливів;
- порівняно велика відстань між вузлами;
- можливість простого переміщення робочої станції в межах довжини кабелю AUI.

Недоліками 10Base-5 є:

- висока вартість кабелю;
- складність його прокладки через велику твердість(кабелю);
- потреба в спеціальному інструменті для закладення кабелю;
- зупинка роботи всієї мережі при ушкодженні кабелю чи поганому з'єднанні
- необхідність заздалегідь передбачити підводку кабелю до всіх можливих місць розміщення комп'ютерів.

Стандарт 10Base-2

Стандарт 10Base-2 використовує як передавальне середовище коаксіальний кабель з діаметром центрального мідного проводу 1,89 мм і зовнішнім діаметром біля 5 мм ("тонкий" Ethernet). Кабель має хвильовий опір 50 Ом. Такими характеристиками володіють кабелі марок RG-58/U, RG-58A/U, RG-58C/U.

Максимальна довжина сегмента без повторювачів складає 185 м, сегмент повинний мати на кінцях погоджуючи термінатори з опором 50 Ом. Тонкий коаксіальний кабель дешевше товстого, через що мережі 10Base-2 іноді називають мережами Cheapernet (від cheaper — більш дешевий). Але за дешевизну кабелю приходиться розплачуватися якістю — "тонкий2 коаксіал має гіршу перешкодозахищеність, гіршою механічну міцністю і більш вузькою смугою пропускання [3].

Станції підключаються до кабелю за допомогою високочастотного BNC 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. Кабель "тонкого" коаксіалу має розмітку для підключення вузлів із кроком у 1 м.

Стандарт 10Base-2 також передбачає використання повторювачів, застосування яких також повинно відповідати "правилу 5-4-3". У цьому випадку мережа буде мати максимальну довжину в $5 \times 185 = 925$ м. Очевидно, що це обмеження є більш сильним, чим загальне обмеження в 2500 метрів.

Стандарт 10Base-2 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 розйому плати мережного адаптера, встановленого в шасі комп'ютера. Кабель у даному випадку "висить" на мережному адаптері, що утрудняє фізичне переміщення комп'ютерів.

Типовий склад мережі стандарту 10Base-2, що складає з одного сегмента кабелю, показаний на рис. 2.7.

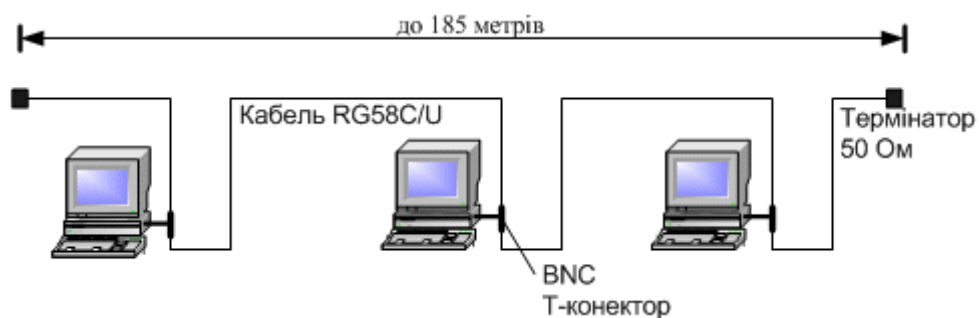


Рис. 2.7. Мережа стандарту 10Base-2

Реалізація цього стандарту на практиці приводить до найбільш простого рішення для кабельної мережі, тому що для з'єднання комп'ютерів вимагаються тільки мережні адаптери, T-конектори і термінатори 50 Ом. Однак цей вид кабельних з'єднань найбільше сильно підданий аваріям і збоям: кабель більш схильний до сприймання перешкод, ніж "товстий" коаксіал, у моноканалі мається велика кількість механічних з'єднань (кожен T-конектор дає три

механічних з'єднання, два з яких мають життєво важливе значення для всієї мережі), користувачі мають доступ до розйомів і можуть порушити цілісність моноканалу. Крім того, естетика і ергономічність цього рішення залишають бажати кращого, тому що від кожної станції через T-конектор відходять два досить помітних проводи, що під столом часто утворюють моток кабелю — запас, необхідний на випадок навіть невеликого переміщення робочого місця.

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

Стандарт 10Base-T

Стандарт прийнятий у 1991 році, як доповнення до існуючого набору стандартів Ethernet, і має позначення 802.3L.

Мережі 10Base-T використовують як середовище дві неекрановані кручені пари (Unshielded Twisted Pair, UTP). Багатопарний кабель на основі неекранованої крученої пари категорії 3 (категорія визначає смугу пропускання кабелю, величину перехресних наведень NEXT і деякі інші параметри його якості) телефонні компанії вже досить давно використовували для підключення телефонних апаратів усередині будинків. Цей кабель носить також назву Voice Grade, що говорить про те, що він призначений для передачі голосу.

Ідея пристосувати цей популярний вид кабелю для побудови локальних мереж виявилася дуже плідною, тому що багато будинків вже були оснащені потрібною кабельною системою. Залишалось розробити спосіб підключення мережних адаптерів і іншого комунікаційного устаткування до крученого пари таким чином, щоб зміни в мережних адаптерах і програмного забезпечення мережних операційних систем були б мінімальними в порівнянні з мережами Ethernet, на коаксіалі. Це вдалося, тому перехід на кручену пару вимагає тільки заміни трансівера мережного адаптера чи порту маршрутизатора, а метод доступу і всі протоколи каналного рівня залишилися тими ж, що й у мережах Ethernet на коаксіалі.

Кінцеві вузли з'єднуються по топології "точка-точка" зі спеціальним пристроєм — багато портовим повторювачем за допомогою двох кручених пар. Одна кручена пара потрібна для передачі даних від станції до повторювача (вихід T_x мережного адаптера), а інша — для передачі даних від повторювача до станції (вхід R_x мережного адаптера). На рис. 2.8 показано приклад трьох портового повторювача. Повторювач приймає сигнали від одного з кінцевих вузлів і синхронно передає їх на всі свої інші порти, з якого надійшли сигнали.

Багатопортові повторювачі в даному випадку звичайно називаються концентраторами (**hub** чи **concentrator**) [3]. Концентратор здійснює функції повторювача сигналів на всіх відрізках кручених пар, підключених до його портів, так що утвориться єдине середовище передачі даних — логічний моноканал (логічна загальна шина). Повторювач, виявляє колізію в сегменті у випадку одночасної передачі сигналів по декількох своїх R_x -входах і посилає jam-послідовність на усі свої T_x -виходи. Стандарт визначає бітову швидкість передачі даних 10 Мбіт/с і максимальну відстань відрізка кручених пар між двома безпосередньо зв'язаними вузлами (станціями і концентраторами) не більш 100 м при наявності крученої пари якості не нижче категорії 3. Ця відстань визначається смугою пропускання кручених пар — на довжині 100 м вона дозволяє передавати дані зі швидкістю 10 Мбіт/с при використанні манчестерського коду.

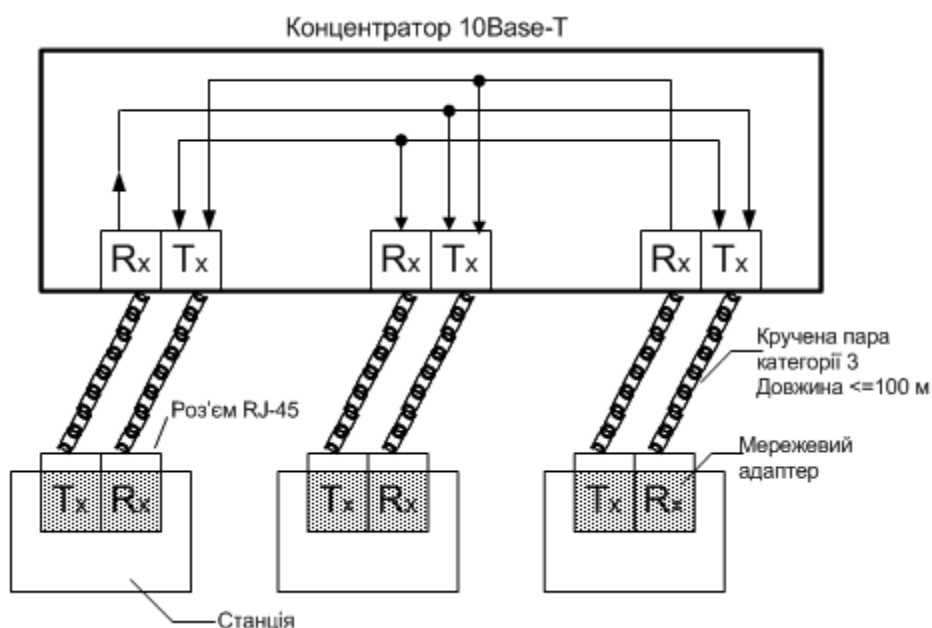


Рис. 2.8. Мережа стандарту 10Base-T: T_x - передавач; R_x - приймач

Концентратори 10Base-T можна з'єднувати один з одним за допомогою тих же портів, що призначені для підключення кінцевих вузлів. При цьому потрібно подбати про те, щоб передавач і приймач одного порту були з'єднані відповідно з приймачем і передавачем іншого.



Рис. 2.9. Ієрархічне з'єднання концентраторів Ethernet

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 в **4**. Це правило зветься *"правило 4-х хабів"* і воно заміняє *"правило 5-4-3"*, яке застосовується до коаксіальних мереж. При створенні мережі 10Base-T з великим числом станцій концентратори можна з'єднувати один з одним ієрархічним способом, утворюючи деревоподібну структуру (рис. 2.9).

Загальна кількість станцій у мережі 10Base-T не повинна перевищувати 1024, і для даного типу фізичного рівня ця кількість дійсна можна досягти. Для цього досить створити дворівневу ієрархію концентраторів, розташувавши на нижньому рівні достатню кількість концентраторів із загальною кількістю портів 1024 (рис. 2.10). Кінцеві вузли потрібно підключити до портів концентраторів нижнього рівня. Правило 4-х хабів при цьому виконується - між

будь-якими кінцевими вузлами буде дорівнювати 3 концентраторам.



Рис. 2.10. Схема з максимальною кількістю станцій

Максимальна довжина мережі в 2500 м тут розуміється, як максимальна відстань між будь-якими двома кінцевими вузлами мережі (часто застосовується також термін "максимальний діаметр мережі"). Очевидно, що якщо між будь-якими двома вузлами мережі не повинно бути більше 4-х повторювачів, то максимальний діаметр мережі 10Base-T складає $5 \times 100 = 500$ м. Мережі, побудовані на основі стандарту 10Base-T, володіють у порівнянні з коаксіальними варіантами Ethernet багатьма перевагами. Ці переваги зв'язані з поділом загального фізичного кабелю на окремі кабельні відрізки, підключені до центрального комунікаційного пристрою. І хоча логічно ці відрізки як і раніше утворюють загальне поділюване середовище, їхній фізичний поділ дозволяє контролювати їх стан і відключати у випадку обриву, короткого замикання чи несправності мережного адаптера на індивідуальній основі. Це обставина істотно полегшує експлуатацію великих мереж Ethernet, тому що концентратор звичайно автоматично виконує такі функції, повідомляючи при цьому адміністратора мережі про виниклу проблему.

У стандарті 10Base-T визначена процедура тестування фізичної працездатності двох відрізків крученої пари, що з'єднують трансівер кінцевого вузла і порт повторювача. Ця процедура називається тестом зв'язності (*link test*), і вона заснована на передачі кожні 16 мс спеціальних імпульсів **J** і **K** манчестерського коду між передавачем і приймачем кожної крученої пари. Якщо тест не проходить, то порт блокується і відключає проблемний вузол від

мережі. Тому що коди і **J** і **K** є забороненими при передачі кадрів, то тестові послідовності не впливають на роботу алгоритму доступу до середовища.

Поява між кінцевими вузлами активного пристрою, що може контролювати роботу вузлів і ізолювати від мережі некоректно працюючі, є головною перевагою технології 10Base-T у порівнянні зі складними в експлуатації коаксіальними мережами. Завдяки концентраторам мережа Ethernet придбала деякі риси відмовостійкої системи.

Оптоволоконий Ethernet

Як середовище передачі даних 10 мегабітний Ethernet використовує оптичне волокно. Оптоволоконі стандарти як основний тип кабелю рекомендують досить дешеве багатомодове оптичне волокно, що володіє смугою пропускання 500-800 МГц при довжині кабелю 1 км. Припустимо і більш дороге одномодове оптичне волокно зі смугою пропускання в декілька гігагерц, але при цьому потрібно застосовувати спеціальний тип трансівера.

Функціонально мережа Ethernet на оптичному кабелі складається з тих же елементів, що і мережа стандарту 10Base-T — мережних адаптерів, багато портового повторювача і відрізків кабелю, що з'єднують адаптер з портом повторювача. Як і у випадку крученої пари, для з'єднання адаптера з повторювачем використовуються два оптоволокна — одне з'єднує вихід T_x адаптера з входом R_x повторювача, а інше — вхід R_x адаптера з виходом T_x повторювача [6].

Стандарт FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link) являє собою перший стандарт комітету 802.3 для використання оптоволокна в мережах Ethernet. Він гарантує довжину оптоволоконового зв'язку між повторювачами до 1 км при загальній довжині мережі не більш 2500 м. Максимальне число повторювачів між будь-якими вузлами мережі - 4. Максимального діаметра в 2500 м тут досягти можна, хоча максимальні відрізки кабелю між всіма 4 повторювачами, а також між повторювачами і кінцевими вузлами неприпустимі — інакше вийде мережа довжиною 5000 м.

Стандарт 10Base-FL являє собою незначне поліпшення стандарту FOIRL. Збільшено потужність передавачів, тому максимальна відстань між вузлом і концентратором збільшилося до 2000 м. Максимальне число повторювачів між вузлами залишилося рівним 4, а максимальна довжина мережі - 2500 м.

Стандарт 10Base-FB призначений тільки для з'єднання повторювачів. Кінцеві вузли не можуть використовувати цей стандарт для приєднання до портів концентратора. Між вузлами мережі можна установити до 5 повторювачів 10Base-FB при максимальній довжині одного сегмента 2000 м і максимальній довжині мережі 2740 м.

Повторювачі, з'єднані по стандарту 10Base-FB, при відсутності кадрів для передачі постійно обмінюються спеціальними послідовностями сигналів, що відрізняються від сигналів кадрів даних, для підтримки синхронізації. Тому вони вносять меншу затримку при передачі даних з одного сегмента в інший, і це є головною причиною, по якій кількість повторювачів вдалося збільшити до 5. Як спеціальні сигнали використовуються манчестерські коди **J** і **K** в наступній послідовності: J-J-K-K-J-J-.... Ця послідовність породжує імпульси частоти 2,5 МГц, що і підтримують синхронізацію приймача одного концентратора з передавачем іншого. Стандарт 10Base-FB має також назву *синхронний Ethernet* [6].

Як і в стандарті 10Base-T, оптоволоконні стандарти Ethernet дозволяють з'єднувати концентратори тільки в деревоподібні ієрархічні структури. Будь-які петлі між портами концентраторів не допускаються.

Домен колізій

У технології Ethernet, незалежно від застосовуваного стандарту фізичного рівня, існує поняття домену колізій.

Домен колізій (*collision domain*) — це частина мережі Ethernet, усі вузли якої розпізнають колізію незалежно від того, у якій частині цієї мережі колізія виникла. Мережа Ethernet, побудована на повторювачах, завжди утворює один

домен колізій. Домен колізій відповідає одному поділюваному середовищу. Мости, комутатори і маршрутизатори поділяють мережу Ethernet на декілька доменів колізій.

Приведена на рис. 2.9 мережа являє собою один домен колізій. Якщо, наприклад, зіткнення кадрів відбулося в концентраторі 4, то відповідно до логіки роботи концентраторів 10Base-T сигнал колізії пошириться по всіх портах всіх концентраторів [7].

Якщо ж замість концентратора 3 поставити в мережу міст, то його **порт С**, зв'язаний з концентратором 4, сприйме сигнал колізії, але не передасть його на свої інші порти, тому що це не входить до його обов'язку. Міст просто відробиє ситуацію колізії засобами **порту С**, що підключений до загального середовища, де ця колізія виникла. Якщо колізія виникла через те, що міст намагався передати через **порт С** кадр у концентратор 4, то, зафіксувавши сигнал колізії, **порт С** призупинить передачу кадру і спробує передати його повторно через випадковий інтервал часу. Якщо **порт С** приймав у момент виникнення колізії кадр, то він просто відкине отриманий початок кадру і буде очікувати, коли вузол, що передавав кадр через концентратор 4, не зробить повторну спробу передачі. Після успішного прийняття даного кадру у свій буфер міст передасть його на інший порт відповідно до таблиці просування, наприклад на порт А. Усі події, зв'язані з обробкою колізій **портом С**, для інших сегментів мережі, що підключені до інших портів моста, залишаться просто невідомими.

Вузли, що утворюють один домен колізій, працюють синхронно, як єдина розподілена електронна схема.

Загальні характеристики стандартів Ethernet 10 Мбіт/с

У таблицях. 2.3 і 2.4 зведені основні обмеження і характеристики стандартів Ethernet [3].

Таблиця 2.3. Загальні обмеження для всіх стандартів Ethernet

Номинальна пропускна здатність	10 Мбіт/с
Максимальне число станцій у мережі	1024
Максимальна відстань між вузлами	2500 м (у 10Base-FB 2750м)
Максимальне число коаксіальних сегментів у мережі	5

Таблиця 2.4. Параметри специфікації фізичного рівня для стандарту Ethernet

Параметри	10Base-5	10Base-2	10Base-T	10Base-F
Кабель	Товстий коаксіальний кабель RG-8 чи RG-11	Тонкий коаксіальний кабель RG-58	Неекранована кручена пара категорій 3, 4, 5	Багатомодовий волоконно-оптичний кабель
Максимальна довжина сегмента, м	500	185	100	2000
Максимальна відстань між вузлами мережі (при використанні повторювачів), м	2500	925	600	2500 (2740 для 10Base-FB)
Максимальне число станцій у сегменті	100	30	1024	1024
Максимальне число повторювачів між будь-якими станціями мережі	4	4	4	4 (5 для 10 Base-FB)

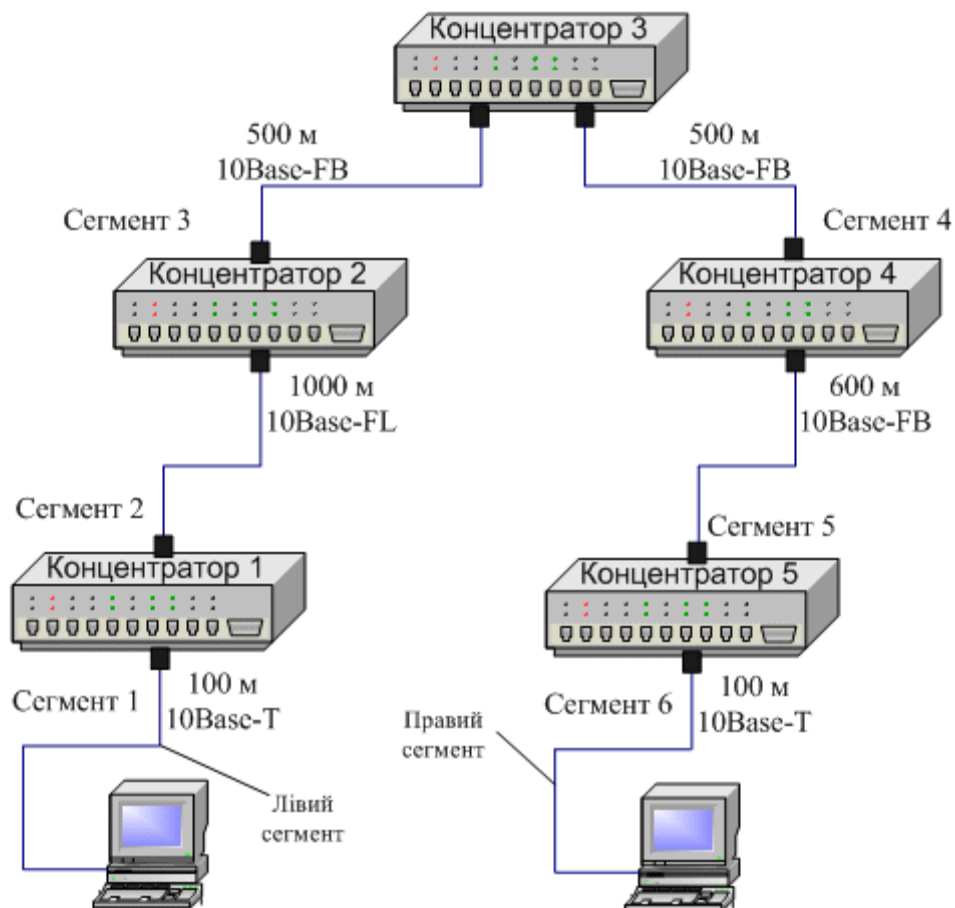


Рис. 2.11. Приклад мережі Ethernet, що складається з сегментів різних фізичних стандартів.

Висновки

- *Ethernet* — це сама розповсюджена на сьогоднішній день технологія локальних мереж. У широкому розумінні Ethernet — це ціле сімейство технологій, що включає різні фірмові і стандартні варіанти, з яких найбільш відомі фірмовий варіант Ethernet DIX, 10-мегабітний варіанти стандарту IEEE 802.3, а також нові високошвидкісної технології Fast Ethernet і Gigabit Ethernet. Майже усі види технологій Ethernet використовують той самий метод поділу середовища передачі даних — метод випадкового доступу CSMA/CD, що визначає вигляд технології в цілому.

- У вузькому розумінні Ethernet — це 10-мегабітня технологія, описана в стандарті IEEE 802.3.

- Важливим явищем у мережах Ethernet є колізія — ситуація, коли дві станції одночасно намагаються передати кадр даних по загальному середовищу.

Наявність колізій — це невід'ємна властивість мереж Ethernet, що є наслідком прийнятого випадкового методу доступу. Можливість чіткого розпізнавання колізій обумовлена правильним вибором параметрів мережі, зокрема дотриманням співвідношення між мінімальною довжиною кадру і максимально можливим діаметром мережі.

- На характеристики продуктивності мережі великий вплив робить коефіцієнт використання мережі, що відбиває її завантаженість. При значеннях цього коефіцієнта понад 50 % корисна пропускна здатність мережі різко падає: через зростання інтенсивності колізій, а також збільшення часу очікування доступу до середовища.

- Максимально можлива пропускна здатність сегмента Ethernet у кадрах у секунду досягається при передачі кадрів мінімальної довжини і складає 14 880 кадр/с. При цьому корисна пропускна здатність мережі складає всього 5,48 Мбіт/с, що лише ненабагато перевищує половину номінальної пропускної здатності —10 Мбіт/с.

- Максимально можлива корисна пропускна здатність мережі Ethernet складає 9,75 Мбіт/с, що відповідає використанню кадрів максимальної довжини в 1518 байт, які передаються по мережі зі швидкістю 513 кадр/с.

- При відсутності колізій і чекання доступу *коефіцієнт використання* мережі залежить від розміру поля даних кадру і має максимальне значення 0,96.

- Технологія Ethernet підтримує 4 різних типи кадрів, що мають загальний формат адрес вузлів. Існують формальні ознаки, по яких мережні адаптери автоматично розпізнають тип кадру.

- В залежності від типу фізичного середовища стандарт IEEE 802.3 визначає різні специфікації: 10Base-5, 10Base-2, 10Base-T, FOIRL, 10Base-FL, 10Base-FB. Для кожної специфікації визначаються тип кабелю, максимальні довжини неперервних відрізків кабелю, а також правила використання повторювачів для збільшення діаметра мережі: правило "5-4-3" для коаксіальних варіантів мереж, і правило "4-х хабів" для крученої пари й оптоволокна.

- Для «змішаної» мережі, що складає з фізичних сегментів різного типу, корисно проводити розрахунок загальної довжини мережі і припустимої кількості повторювачів. Комітет IEEE 802.3 наводить вихідні дані для таких розрахунків, у яких вказуються затримки, внесені повторювачами різних специфікацій фізичного середовища, мережними адаптерами і сегментами кабелю.

Контрольні питання до розділу

1. Яка допустима відстань для технології 10Base-FL:
 - a. 20 км;
 - b. 5 км;
 - c. 2 км;
 - d. 25 км;
 - e. 40 км
2. Ethernet має наступні типи фізичних інтерфейсів середовища:
 - a. 10Base-5;
 - b. 10Base-LX;
 - c. 10Base-Tx;
 - d. 10Base-T;
 - e. 10Base-2;
 - f. 10Base-FX;
 - g. 100Base-5.
3. Наведіть структуру кадру Ethernet.
4. Яке середовище передачі використовується для технології 10Base-T:
 - a. коаксіальний кабель;
 - b. симетричний кабель;
 - c. неекранована кручена пара (UTP);
 - d. екранована кручена пара (STP) ;
 - e. UTP та STP.
5. Яке середовище передачі використовується для технології 10Base-5:
 - a. тонкий коаксіальний кабель;
 - b. симетричний кабель;
 - c. неекранована кручена пара (UTP);
 - d. екранована кручена пара (STP) ;
 - e. товстий коаксіальний кабель.
6. Яке середовище передачі використовується для технології 10Base-2:
 - a. тонкий коаксіальний кабель;

- b. симетричний кабель;*
 - c. неекранована кручена пара (UTP);*
 - d. екранована кручена пара (STP) ;*
 - e. товстий коаксіальний кабель.*
7. Яке середовище передачі використовується для технології 10Base-F:
- a. тонкий коаксіальний кабель;*
 - b. волоконно-оптичний кабель;*
 - c. неекранована кручена пара (UTP);*
 - d. екранована кручена пара (STP) ;*
 - e. товстий коаксіальний кабель.*
8. Що собою представляє домен колізій?
9. Що собою представляє трансівер? Які функції виконує?
10. Поясніть в чому полягає правило застосування повторювачів у мережі Ethernet 10Base-5, яке зветься "правило 5-4-3"?
11. Які формати кадрів використовуються в технології Ethernet?
12. Поясніть в чому полягає "правило 4-х хабів"?
13. Наведіть переваги та недоліки стандарту 10Base-5?
14. Наведіть переваги та недоліки стандарту 10Base-2?
15. Наведіть переваги та недоліки стандарту 10Base-T?
16. Наведіть переваги та недоліки стандарту 10Base-F?
17. Які існують різновиди стандарту 10Base-F?
18. Які типи кадрів Ethernet підтримують реалізації популярних протоколів мережного рівня?
19. Метод доступу CSMA/CD. Особливості, переваги, недоліки.
20. Що собою представляє повторювач? Які функції виконує?

Список рекомендованої літератури

1. *Олифер В. Г., Олифер Н. А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — [ISBN 978-5-49807-389-7](#).
2. *Кудінов В.А., Хахановський В.Г., Смаглюк В.М., Пакриш О.Є., Тоневицький А.М.* Комп'ютерні мережі та телекомунікаційні технології [Навчально-методичний комплекс навчальної дисципліни]. К.: НАВС, 2013 – 256 с.
3. *Новиков Ю. В., Кондратенко С. В.* Основы локальных сетей. Курс лекций. [Електронний ресурс] – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступу до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/57/57/info>.
4. *Шварц М.* Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. Ч.1. – М.: Наука, 1992. – 336 с.
5. *Александр Берлин* Абонентские сети доступа и технологии высокоскоростных сетей. Курс лекций. [Електронний ресурс] – М.:

Интернет-университет информационных технологий, 2010. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступа до материалу:
<https://www.intuit.ru/studies/courses/986/212/info>.

6. Блэк Ю. Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы. – М.: Мир, 1990. – 506 с.
7. [Электронный ресурс] Режим доступа до материалу:
<http://kunegin.com/ref1/ethernet/>.

2.3. Технологія Token Ring (802.5)

2.3.1. Основні характеристики технології

Мережі Token Ring, так само як і мережі Ethernet, характеризує поділюване середовище передачі даних, що у даному випадку складається з відрізків кабелю, що з'єднують усі станції мережі в кільце.

Кільце розглядається як загальний поділюваний ресурс, і для доступу до нього потрібно не випадковий алгоритм, як у мережах Ethernet, а детермінований, заснований на передачі станціям права на використання кільця у визначеному порядку. Це право передається за допомогою кадру спеціального формату, який називається *маркером* чи *токеном (token)*.

Технологія Token Ring була розроблена компанією IBM у 1984 році, а потім передана як проект стандарту в комітет IEEE 802, який на її основі прийняв у 1985 році стандарт 802.5. Компанія IBM використовує технологію Token Ring у якості своєї основної мережної технології для побудови локальних мереж на основі комп'ютерів різних класів — мейнфреймов, міні-комп'ютерів і персональних комп'ютерів. В даний час саме компанія IBM є основним законодавцем моди технології Token Ring, роблячи близько 60 % мережних адаптерів цієї технології [1].

Мережі Token Ring працюють із двома бітовими швидкостями — 4 і 16 Мбіт/с. Змішання станцій, що працюють на різних швидкостях, в одному кільці не допускається. Мережі Token Ring, що працюють зі швидкістю 16 Мбіт/с, мають деякі удосконалення в алгоритмі доступу в порівнянні зі стандартом 4 Мбіт/с.

Технологія Token Ring є більш складною технологією, чим Ethernet. Вона має властивості відмовостійкості. У мережі Token Ring визначені процедури контролю роботи мережі, що використовують зворотний зв'язок кільцеподібної структури — посланий кадр завжди повертається в станція-відправник. У деяких випадках виявлені помилки в роботі мережі усуваються автоматично, наприклад може бути відновлений загублений маркер. В інших випадках

помилки тільки фіксуються, а їхнє усунення виконується вручну обслуговуючим персоналом.

Для контролю мережі одна зі станцій виконує роль так названого *активного монітора*. Активний монітор вибирається під час ініціалізації кільця як станція з максимальним значенням Мас-адреси. Якщо активний монітор виходить з ладу, процедура ініціалізації кільця повторюється і вибирається новий активний монітор. Щоб мережа могла знайти відмовлення активного монітора, останній у працездатному стані кожні 3 секунди генерує спеціальний кадр своєї присутності. Якщо цей кадр не з'являється в мережі більш 7 секунд, то інші станції мережі починають процедуру вибору нового активного монітора [2].

2.3.2. Маркерний метод доступу до поділюваного середовища

У мережах з маркерним методом доступу (а до них, крім мереж Token Ring, відносяться мережі FDDI, а також мережі, близькі до стандарту 802.4, — ArcNet, мережі виробничого призначення MAP) право на доступ до середовища передається циклічно від станції до станції по логічному кільцю.

У мережі Token Ring кільце утворюється відрізками кабелю, що з'єднують сусідні станції. Таким чином, кожна станція зв'язана зі своєю попередньою і наступною станцією і може безпосередньо обмінюватися даними тільки з ними. Для забезпечення доступу станцій до фізичного середовища по кільцю циркулює кадр спеціального формату і призначення — *маркер* [2]. У мережі Token Ring будь-яка станція завжди безпосередньо одержує дані тільки від однієї станції — тієї, котра є попередньою в кільці. Така станція називається *найближчим активним сусідом, розташованим вище по потоку* (даних) — *Nearest Active Upstream Neighbor, NAUN*. Передачу ж даних станція завжди здійснює своєму найближчому сусіду вниз по потоку даних.

Одержавши маркер, станція аналізує його і при відсутності в неї 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 встановленого формату послідовно по бітах. Дані, що передаються, проходять по кільцю завжди в одному напрямку від однієї станції до іншої. Кадр містить адресу призначення й адресу джерела.

Усі станції кільця ретранслюють кадр побітно, як повторювачі. Якщо кадр проходить через станцію призначення, то, розпізнавши свою адресу, ця станція копіює кадр у свій внутрішній буфер і вставляє в кадр ознаку підтвердження прийому. Станція, що видала кадр даних у кільце, при зворотному його одержанні з підтвердженням прийому вилучає цей кадр із кільця і передає в мережу новий маркер для забезпечення можливості іншим станціям мережі передавати дані. Такий алгоритм доступу застосовується в мережах Token Ring зі швидкістю роботи 4 Мбіт/с, описаний у стандарті 802.5.

На рис. 2.12 описаний алгоритм доступу до середовища ілюструється тимчасовою діаграмою [3]. Тут показана передача пакета А в кільці, що складається з 6 станцій, від **станції 1** до **станції 3**. Після проходження станції призначення **3** у пакеті **А** встановлюються дві ознаки — ознака розпізнавання адреси й ознака копіювання пакета в буфер (що на малюнку відзначено зірочкою усередині пакета). Після повернення пакета в **станцію 1** відправник розпізнає свій пакет за адресою джерела і видаляє пакет з кільця. Встановлені **станцією 3** ознаки говорять станції-відправнику про те, що пакет дійшов до адресата і був успішно скопійований їм у свій буфер.

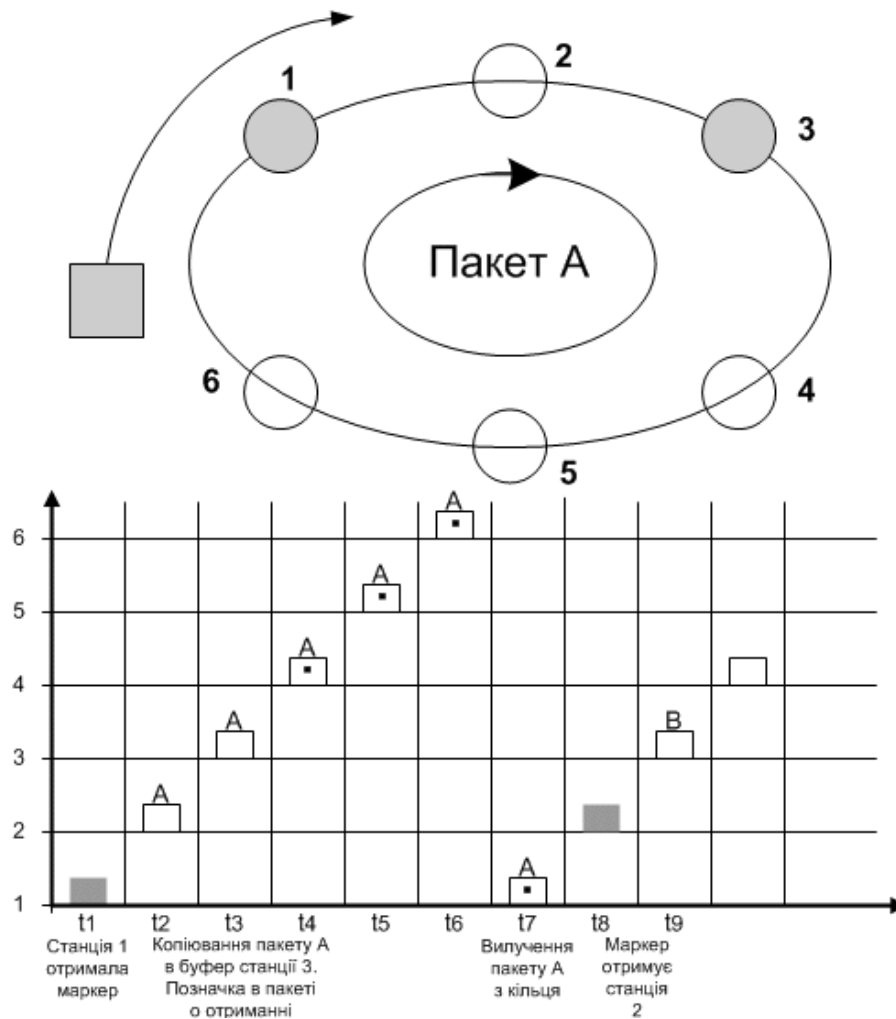


Рис. 2.12 Принцип маркерного доступу

Час володіння поділюваним середовищем у мережі Token Ring обмежується часом утримання маркера (*token holding time*), після закінчення якого станція зобов'язана припинити передачу власних даних (поточний кадр дозволяється завершити) і передати маркер далі по кільцю. Станція може встигнути передати за час утримання маркера один чи кілька кадрів в залежності від розміру кадрів і величини часу утримання маркера. Звичайний час утримання маркера за замовчуванням дорівнює 10 мс, а максимальний розмір кадру в стандарті 802.5 не визначений. Для мереж 4 Мбіт/с він звичайно дорівнює 4 Кбайт, а для мереж 16 Мбіт/с — 16 Кбайт. Це зв'язано з тим, що за час утримання маркера станція повинна встигнути передати хоча б один кадр. При швидкості 4 Мбіт/с за час 10 мс можна передати 5000 байт, а при швидкості 16 Мбіт/с — відповідно 20 000 байт. Максимальні розміри кадру обрані з деяким запасом.

У мережах Token Ring 16 Мбіт/с використовується також трохи інший алгоритм доступу до кільця, яки називається алгоритмом *раннього звільнення маркера* (*Early Token Release*). Відповідно до нього станція передає маркер доступу наступної 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, тому що по кільцю одночасно просуваються кадри декількох станцій. Проте свої кадри в кожен момент часу може генерувати тільки одна станція — та, котра в даний момент володіє маркером доступу. Інші станції в цей час тільки повторюють чужі кадри, так що принцип поділу кільця в часі зберігається, прискорюється тільки процедура передачі володіння кільцем [3].

Для різних видів повідомлень, переданим кадрам, можуть призначатися різні *пріоритети*: від **0 (нижчий)** до **7 (вищий)**. Рішення про пріоритет конкретного кадру приймає передавальна станція (протокол Token Ring одержує цей параметр через міжрівневі інтерфейси від протоколів верхнього рівня, наприклад прикладного). Маркер також завжди має деякий рівень поточного пріоритету. Станція має право захопити переданий їй маркер тільки в тому випадку, якщо пріоритет кадру, що вона хоче передати, вище (чи дорівнює) пріоритету маркера. У протилежному випадку станція зобов'язана передати маркер наступної по кільцю станції.

За наявність у мережі маркера, причому єдиної його копії, відповідає активний монітор. Якщо активний монітор не одержує маркер протягом тривалого часу (наприклад, 2,6 с), то він породжує новий маркер.

2.3.3. Формати кадрів Token Ring

У Token Ring існують три різних формати кадрів:

- маркер;
- у кадр даних;
- послідовність, що перериває.

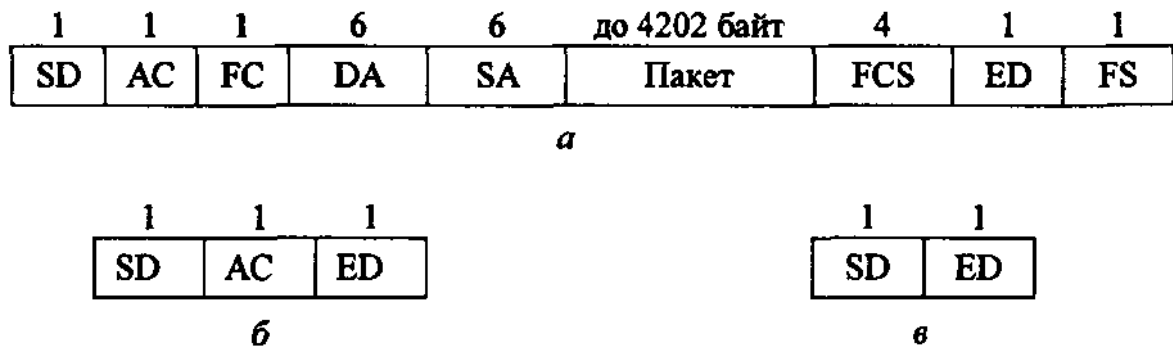


Рис. 2.13. Формат кадрів Token Ring

Маркер

Кадр маркера складається з трьох полів, кожне довжиною в один байт [4]:

- *Початковий обмежник (Start Delimiter, SD)* з'являється на початку маркера, а також на початку будь-якого кадру, що проходить по мережі. Поле являє собою наступну унікальну послідовність символів манчестерського коду: **JK0JK000**. Тому початковий обмежник не можна поплутати ні з якою бітовою послідовністю усередині кадру.

- *Керування доступом (Access Control)* складається з чотирьох підполів: **PPP**, **T**, **M** і **RRR**, де **PPP** — біти пріоритету, **T** — біт маркера, **M** — біт монітора, **RRR** — резервні біти пріоритету. Біт **T**, встановлений у **1**, вказує на те, що даний кадр є маркером доступу. Біт монітора встановлюється в **1** активним монітором і в **0** будь-якою іншою станцією, що передає маркер чи кадр. Якщо активний монітор бачить маркер чи кадр, що містить біт монітора зі значенням **1**, то активний монітор знає, що цей кадр чи маркер вже один раз обійшов кільце і не був оброблений станціями. Якщо це кадр, то він видаляється з кільця. Якщо це маркер, то активний монітор передає його далі по кільцю. Використання полів пріоритетів буде розглянуто нижче.

- *Кінцевий обмежник (End Delimeter, ED)* — останнє поле маркера. Так само як і поле початкового обмежника, це поле містить унікальну послідовність манчестерських кодів **JK1JK1**, а також дві одно бітових ознаки: **I** і **E**. Ознака **I** (*Intermediate*) показує, чи є кадр останнім у серії

кадрів ($I=0$) чи проміжним ($I=1$). Ознака **E** (*Error*) — це ознака помилки. Він встановлюється в **0** станцією-відправником, і будь-яка станція кільця, через яку проходить кадр, повинна встановити цю ознаку в **1**, якщо вона знайде помилку по контрольній сумі чи іншу некоректність кадру.

Кадр даних

Кадр даних включає ті ж три полів, що і маркер, і має крім них ще кілька додаткових полів. Таким чином, кадр даних складається з наступних полів:

- початковий обмежник (Start Delimiter, SD);
- керування кадром (Frame Control, EC);
- адреса призначення (Destination Address, DA);
- адреса джерела (Source Address, SA)
- дані (INFO);
- контрольна сума (Frame Check Sequence, PCS);
- кінцевий обмежник (End Delimiter, ED);
- статус кадру (Frame Status, FS).

Кадр даних може переносити або службові дані для керування кільцем (дані MAC-рівня), або користувацькі дані (LLC-рівня). Стандарт Token Ring визначає 6 типів керуючих кадрів MAC-рівня. Поле **FC** визначає тип кадру (MAC чи LLC), і якщо він визначений як MAC, те поле також вказує, який із шести типів кадрів представлений даним кадром.

Призначення цих шести типів кадрів описано нижче.

- Щоб упевнитися, що її адреса унікальна, станція, коли вперше приєднується до кільця, посилає кадр *Тест дублювання адреси (Duplicate Address Test, DAT)*.

- Щоб повідомити іншим станціям, що він працездатний, активний монітор періодично посилає в кільце кадр *Існує активний монітор (Active Monitor Present, AMP)*.

- Кадр *Існує резервний монітор (Standby Monitor Present, SMP)* відправляється будь-якою станцією, що не є активним монітором.

- Резервний монітор відправляє кадр *Маркер заявки (Claim Token, CT)*, коли підозрює, що активний монітор відмовив, потім резервні монітори домовляються між собою, який з них стане новим активним монітором.

- Станція відправляє кадр *Сигнал (Beacon, BCN)* у випадку виникнення серйозних мережних проблем, таких як обрив кабелю, виявлення станції, що передає кадри без чекання маркера, вихід станції з ладу. Визначаючи, яка станція відправляє кадр сигналу, що діагностує програма (її існування і функції не визначаються стандартами Token Ring) може локалізувати проблему. Кожна станція періодично передає кадри **BCN** доти, поки не прийме кадр **BCN** від свого попереднього (NAUN) сусіда. У результаті в кільці тільки одна станція продовжує передавати кадри **BCN** — та, у якої маються проблеми з попереднім сусідом. У мережі Token Ring кожна станція знає MAC-адресу свого попереднього сусіда, тому *Beacon*-процедура приводить до виявлення адреси некоректно працюючої станції.

- Кадр *Очищення (Purge, PRG)* використовується новим активним монітором для того, щоб перевести всі станції у вихідний стан і очистити кільце від всіх раніше посланих кадрів.

У стандарті 802.5 використовуються адреси тієї ж структури, що й у стандарті 802.3. Адреси призначення і джерела можуть мати довжину або 2, або 6 байтів. Перший біт адреси призначення визначає групова чи індивідуальна адреса як для 2-байтових, так і для 6-байтових адрес. Другий біт у 6-байтових адресах говорить про те, призначена адреса чи локально глобальна. Адреса, що складається з всіх одиниць, є широкомовною.

Адреса джерела має той же розмір і формат, що й адреса призначення. Однак ознака групової адреси використовується в ньому особливим способом. Тому що адреса джерела не може бути груповою, то наявність одиниці в цьому розряді говорить про те, що в кадрі мається спеціальне *поле маршрутної інформації (Routing Information Field, RIF)*. Ця інформація потрібно при роботі

мостів, що зв'язують декілька кілець Token Ring, у режимі маршрутизації від джерела.

Поле даних **INFO** кадру може містити дані одного з описаних керуючих кадрів рівня MAC чи користувальцькі дані, упаковані в кадр рівня LLC. Це поле, як уже відзначалося, не має визначеної стандартом максимальної довжини, хоча існують практичні обмеження на його розмір, засновані на тимчасових співвідношеннях між часом утримання маркера і часом передачі кадру. Поле статусу **FS** має довжину 1 байт і містить 4 резервних біти і 2 підполя, біт розпізнавання адреси **A** і біт копіювання кадру **C**. Тому що це поле не супроводжується сумою, що обчислюється, **CRC**, ті використовувані біти для надійності дублюються: поле статусу **FS** має вид ACxxACxx. Якщо біт розпізнавання адреси не встановлений під час одержання кадру, це означає, що станція призначення більше не є присутньою в мережі (можливо, унаслідок неполадок, а можливо, станція знаходиться в іншому кільці, зв'язаному з даним за допомогою моста). Якщо обидва біти впізнання адреси і копіювання кадру встановлений і біт виявлення помилки також встановлений, то вихідна станція знає, що помилка трапилася після того, як цей кадр був коректно отриманий.

Послідовність, що перериває, складається з двох байтів, які містять початковий і кінцевий обмежники. Послідовність, що перериває, може з'явитися в будь-якій місці потоку бітів і сигналізує про те, що поточна передача кадру чи маркера скасовується.

Пріоритетний доступ до кільця

Кожен кадр даних чи маркер має пріоритет, встановлюваний бітами пріоритету (значення від **0** до **7**, причому **7** — найвищий пріоритет). Станція може скористатися маркером, якщо тільки в неї є кадри для передачі з пріоритетом, який дорівнює чи більше, ніж пріоритет маркера. Мережевий адаптер станції з кадрами, у яких пріоритет нижче, ніж пріоритет маркера, не може захопити маркер але може помістити найбільший пріоритет своїх передачі кадрів, що очікують, є резервні біти маркера, але тільки в тому випадку, якщо записаний у резервних бітах пріоритет нижче його власного. В

результаті у резервних бітах пріоритету встановлюється найвищий пріоритет станції, яка намагається одержати доступ до кільця, але не може цього зробити через високий пріоритет маркера.

Станція, що зуміла захопити маркер, передає свої кадри з пріоритетом маркера, а потім передає маркер наступному сусіду. При цьому вона переписує значення резервного пріоритету в поле пріоритету маркера, а резервний пріоритет зводиться до нуля. Тому при наступному проході маркера по кільцю його захопить станція, що має найвищий пріоритет. При ініціалізації кільця основний і резервний пріоритет маркера встановлюються в 0 [5].

Хоча механізм пріоритетів у технології Token Ring мається, але він починає працювати тільки в тому випадку, коли додаток чи прикладний протокол вирішують його використовувати. Інакше всі станції будуть мати рівні права доступу до кільця, що в основному і відбувається на практиці, тому що велика частина додатків цим механізмом не користується. Це зв'язано з тим, що пріоритети кадрів підтримуються не у всіх технологіях, наприклад у мережах Ethernet вони відсутні, тому додаток буде поводитися по-різному, в залежності від технології нижнього рівня, що небажано. У сучасних мережах пріоритетність обробки кадрів звичайно забезпечується комутаторами чи маршрутизаторами, які підтримують їх незалежно від використовуваних протоколів канального рівня.

2.3.4. Фізичний рівень технології Token Ring

Стандарт Token Ring фірми IBM споконвічно передбачав побудову зв'язків у мережі за допомогою концентраторів, які назвуться MAU (Multistation Access Unit) чи MSAU (Multi-Station Access Unit), тобто пристроями багатостанціоного доступу (рис. 2.14). Мережа Token Ring може включати до 260 вузлів.

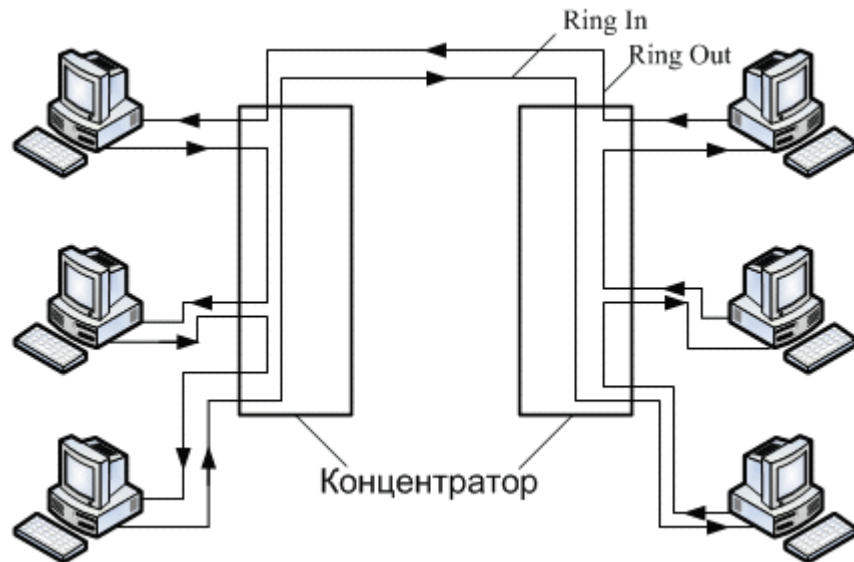


Рис.2.14. Фізична конфігурація мережі Token Ring

Концентратор Token Ring може бути активним чи пасивним [6]. Пасивний концентратор просто з'єднує порти внутрішніми зв'язками так, щоб станції, що підключаються до цих портів, утворили кільце. Ні посилення сигналів, ні їх ресинхронізацію пасивний MSAU не виконує. Такий пристрій можна вважати простим кросовим блоком за одним виключенням — MSAU забезпечує обхід якого-небудь порту, коли приєднаний до цього порту комп'ютер виключають. Така функція необхідна для забезпечення зв'язності кільця поза залежністю від стану підключених комп'ютерів. Звичайно обхід порту виконується за рахунок релейних схем, що харчуються постійним струмом від мережного адаптера, а при вимиканні мережного адаптера нормально замкнуті контакти реле з'єднують вхід порту з його виходом.

Активний концентратор виконує функції регенерації сигналів і тому іноді називається повторювачем, як у стандарті Ethernet. Роль підсилювача сигналів у цьому випадку бере на себе кожен мережний адаптер, а роль ресинхронізуючого блоку виконує мережний адаптер активного монітора кільця.

Кожен мережний адаптер Token Ring має блок повторення, що вміє регенерувати і ресинхронізувати сигнали, однак останню функцію виконує в кільці тільки блок повторення активного монітора.

Блок ресинхронізації складається з 30-бітного буфера, що приймає манчестерські сигнали з трохи перекрученими за час обороту по кільцю

інтервалами проходження. При максимальній кількості станцій у кільці (260) варіація затримки циркуляції біта по кільцю може досягати 3-бітових інтервалів. Активний монітор "вставляє" свій буфер у кільце і синхронізує бітові сигнали, видаючи їх на вихід з необхідною частотою.

В загальному випадку мережа Token Ring має комбіновану зірково-кільцеву конфігурацію. Кінцеві вузли підключаються до MSAU по топології зірки, а самі MSAU поєднуються через спеціальні порти **Ring In (RI)** і **Ring Out (RO)** для утворення магістрального фізичного кільця.

Усі станції в кільці повинні працювати на одній швидкості — або 4 Мбіт/с, або 16 Мбіт/с. Кабелі, що з'єднують станцію з концентратором, називаються *відповідаючими (lobe cable)*, а кабелі, що з'єднують концентратори, — *магістральними (trunk cable)*.

Технологія Token Ring дозволяє використовувати для з'єднання кінцевих станцій і концентраторів різні типи кабелю: STP Type 1, UTP Type 3, UTP Type 6, а також волоконно-оптичний кабель.

При використанні екранованої крученої пари STP Type 1 з номенклатури кабельної системи IBM у кільці допускається поєднувати до 260 станцій при довжині кабелів до 100 метрів, а при використанні неекранованої кручений пари максимальна кількість станцій скорочується до 72 при довжині відповідних кабелів до 45 метрів [5].

Відстань між пасивними MSAU може досягати 100 м при використанні кабелю STP Type 1 і 45 м при використанні кабелю UTP Type 3. Між активними MSAU максимальна відстань збільшується відповідно до 730 м чи 365 м в залежності від типу кабелю.

Максимальна довжина кільця Token Ring складає 4 000 м. Обмеження на максимальну довжину кільця і кількість станцій у кільці в технології Token Ring не є такими твердими, як у технології Ethernet. Тут ці обмеження багато в чому зв'язані з часом оберту маркера по кільцю (але не тільки — є й інші моменти, що диктують вибір обмежень). Так, якщо кільце складається з 260 станцій, то при часі утримання маркера в 10 мс маркер повернеться до активного монітору у гіршому випадку через 2,6 с, а цей час саме складає тайм-

аут контролю обороту маркера. В принципі, усі значення тайм-аутів у мережних адаптерах вузлів мережі Token Ring можна задати, тому можна побудувати мережу Token Ring з великою кількістю станцій і з більшою довжиною кільця.

Існує велика кількість апаратури для мереж Token Ring, яка поліпшує деякі стандартні характеристики цих мереж: максимальну довжину мережі, відстань між концентраторами, надійність (шляхом використання подвійних кілець).

Не так давно компанія IBM запропонувала новий варіант технології Token Ring, названий High-Speed Token Ring, HSTR. Ця технологія підтримує бітові швидкості в 100 і 155 Мбіт/с, зберігаючи основні особливості технології Token Ring 16 Мбіт/с.

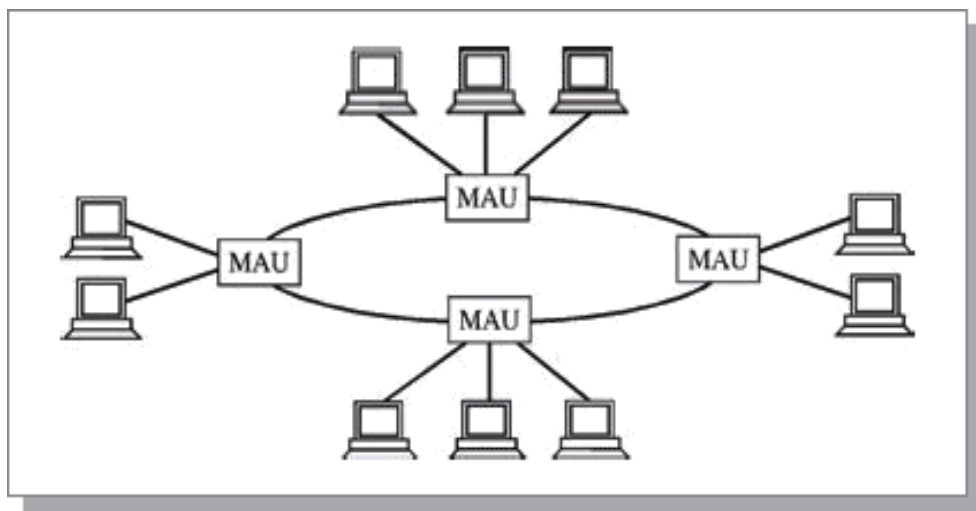


Рис.2.15. Зірково-кільцева топологія мережі Token-Ring

Фізично мережа створює зірково-кільцеву топологію. В дійсності ж абоненти об'єднуються все-таки в кільце, тобто кожний з них передає інформацію одному сусідньому абоненту, а приймає інформацію від іншого.

З'єднання абонентів мережі Token-Ring в кільце за допомогою концентратора (MAU)

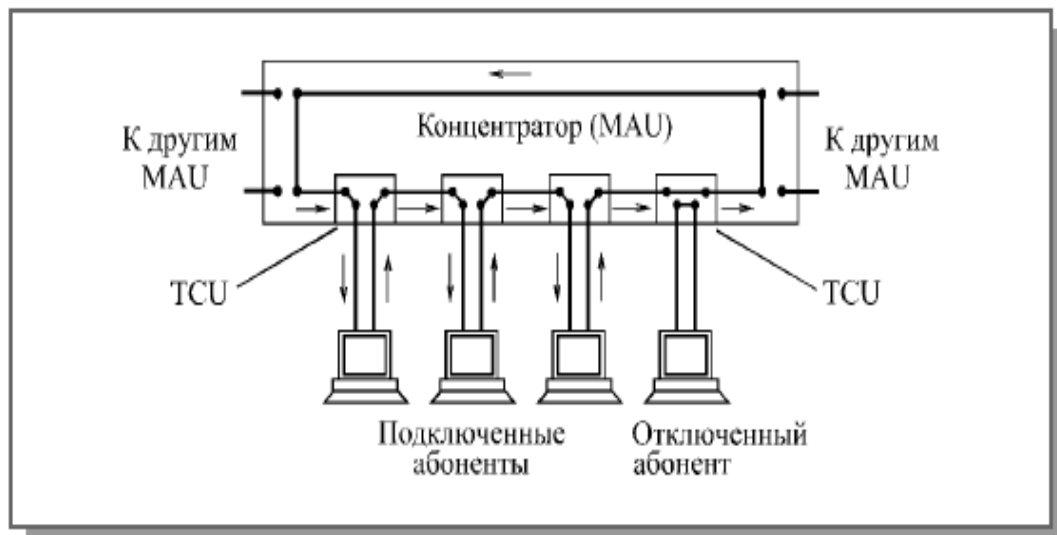


Рис.2.16. З'єднання абонентів мережі Token-Ring в кільце за допомогою концентратора (MAU)

Концентратор (MAU) при цьому дозволяє централізувати завдання конфігурації, відключення несправних абонентів, *контроль* роботи мережі і т.д. Ніякої обробки інформації він не проводить.

Для кожного абонента в складі концентратора застосовується спеціальний блок підключення до магістралі (ТСУ - Trunk Coupling Unit), який забезпечує автоматичне включення абонента в кільце, якщо він підключений до концентратора і справний. Якщо абонент відключається від концентратора або ж він несправний, то блок ТСУ автоматично відновлює цілісність кільця без участі даного абонента. Спрацьовує ТСУ по сигналу постійного струму (так званий "фантомний" ток), який приходить від абонента, який бажає включитися в кільце. Абонент може також відключитися від кільця і провести процедуру самотестування (крайній правий абонент на рис. 2.16). "Фантомний" ток ніяк не впливає на інформаційний сигнал, тому що сигнал в кільці не має постійної складової.

Існують як пасивні, так і активні концентратори MAU. Активний концентратор відновлює сигнал, що приходить від абонента (тобто працює, як концентратор Ethernet). Пасивний концентратор не виконує відновлення сигналу, тільки перекомутірует лінії зв'язку.

Концентратор в мережі може бути єдиним (як на рис. 2.16), в цьому випадку в кільце замикаються тільки абоненти, підключені до нього. Зовні така

топология виглядає, як зірка. Якщо ж потрібно підключити до мережі більше восьми абонентів, то кілька концентраторів з'єднуються магістральними кабелями й утворюють зірково-кільцеву топологію.

Як уже зазначалося, кільцева топологія дуже чутлива до обривів кабелю кільця. Для підвищення живучості мережі, в Token-Ring передбачений режим так званого згортання кільця, що дозволяє обійти місце обриву.

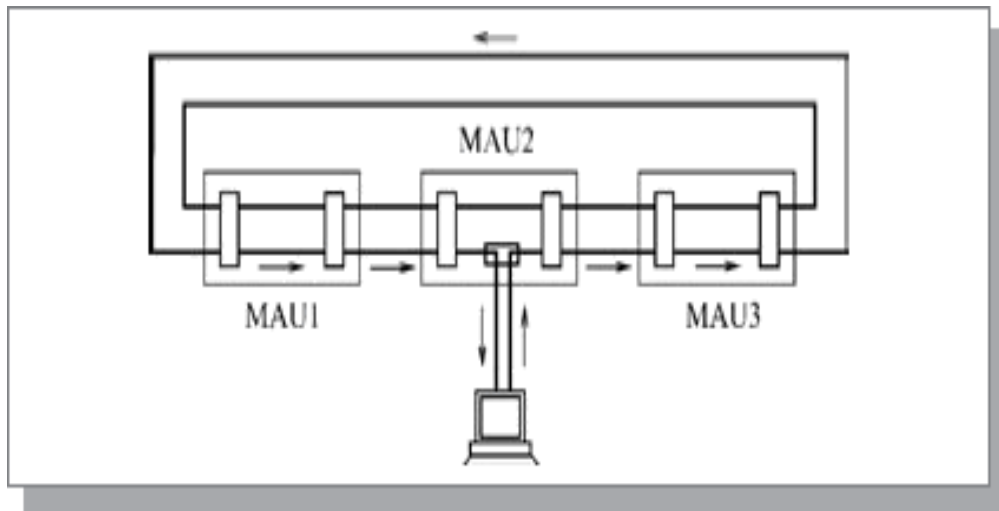


Рис. 2.17. Об'єднання концентраторів MAU в нормальному режимі

В нормальному режимі концентратори з'єднані в кільце двома паралельними кабелями, але передача інформації відбувається при цьому тільки по одному з них.

У разі одиночного ушкодження (обриву) кабелю мережу здійснює передачу по обом кабелям, обходячи тим самим пошкоджену ділянку. При цьому навіть зберігається порядок обходу абонентів, підключених до концентраторів (рис. 2.18). Правда, збільшується сумарна довжина кільця.

У разі множинних ушкоджень кабелю мережа розпадається на кілька частин (сегментів), не пов'язаних між собою, але зберігають повну працездатність (рис. 2.19). Максимальна частина мережі залишається при цьому пов'язаною, як і раніше. Звичайно, це вже не рятує мережу в цілому, але дозволяє при правильному розподілі абонентів по концентраторів зберігати значну частину функцій пошкодженої мережі.

Кілька концентраторів може конструктивно об'єднуватися в групи, кластер (cluster), всередині якого абоненти також з'єднані в кільце. Застосування

кластерів дозволяє збільшувати кількість абонентів, підключених до одного центру, наприклад, до 16 (якщо в кластер входить два концентратора).

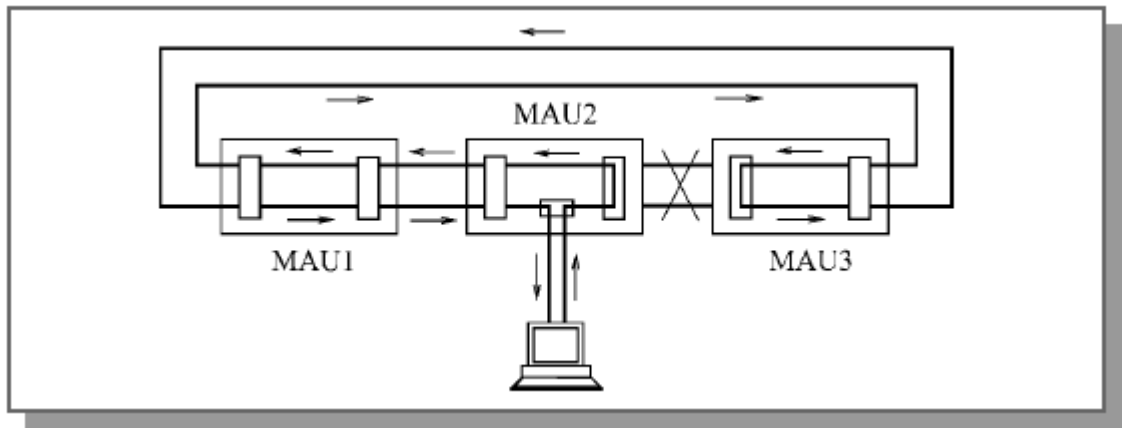


Рис. 2.18. Згорання кільця при пошкодженні кабелю.

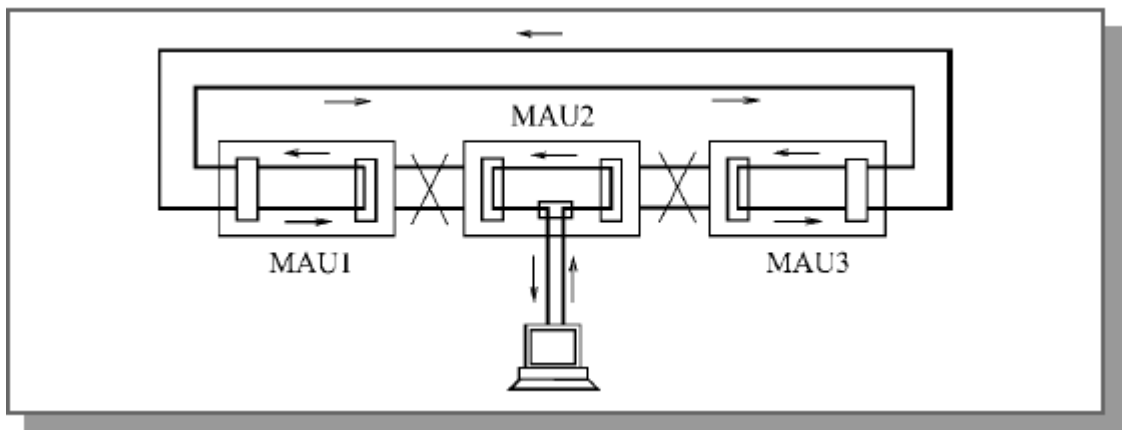


Рис. 2.19. Розпад кільця при множинних пошкодженнях кабелю

Як середовище передачі в мережі IBM Token-Ring спочатку застосовувалася кручена пара, як неекранована (UTP), так і екранована (STP), але потім з'явилися варіанти апаратури для коаксіального кабелю, а також для оптоволоконного кабелю в стандарті FDDI.

Основні технічні характеристики класичного варіанта мережі Token-Ring:

- максимальна кількість концентраторів типу IBM 8228 MAU - 12;
- максимальна кількість абонентів у мережі - 96;
- максимальна довжина кабелю між абонентом і концентратором - 45 метрів;
- максимальна довжина кабелю між концентраторами - 45 метрів;
- максимальна довжина кабелю, що з'єднує всі концентратори - 120 метрів;

- швидкість передачі даних - 4 Мбіт / с і 16 Мбіт / с.

Всі наведені характеристики відносяться до випадку використання неекранованої кручений пари. Якщо застосовується інше середовище передачі, характеристики мережі можуть відрізнятись. Наприклад, при використанні екранованої кручений пари (STP) кількість абонентів може бути збільшено до 260 (замість 96), довжина кабелю - до 100 метрів (замість 45), кількість концентраторів - до 33, а повна довжина кільця, що з'єднує концентратори - до 200 метрів. Оптоволоконний кабель дозволяє збільшувати довжину кабелю до двох кілометрів [2].

Для передачі інформації в Token-Ring застосовується біфазної код (точніше, його варіант з обов'язковим переходом в центрі бітового інтервалу). Як і в будь-якій зіркоподібній топології, ніяких додаткових заходів по електричному погодженням і зовнішньому заземлення не потрібне. Узгодження виконується апаратурою мережевих адаптерів і концентраторів.

Для приєднання кабелів в Token-Ring використовуються роз'єми RJ-45 (для неекранованої кручений пари), а також MIC і DB9P. Провід в кабелі з'єднують однойменні контакти роз'ємів (тобто використовуються так звані "прямі" кабелі).

Мережа Token-Ring в класичному варіанті поступається мережі Ethernet як по допустимому розміру, так і по максимальній кількості абонентів. Що стосується швидкості передачі, то в даний час є версії Token-Ring на швидкість 100 Мбіт / с (High Speed Token-Ring, HSTR) і на 1000 Мбіт / с (Gigabit Token-Ring). Компанії, що підтримують Token-Ring (серед яких IBM, Olicom, Madge), не мають наміру відмовлятися від своєї мережі, розглядаючи її як гідного конкурента Ethernet.

У порівнянні з апаратурою Ethernet апаратура Token-Ring помітно дорожче, так як використовується більш складний метод управління обміном, тому мережа Token-Ring не отримала такого широкого поширення.

Однак на відміну від Ethernet мережу Token-Ring значно краще тримає високий рівень навантаження (понад 30-40%) і забезпечує гарантований час доступу. Це необхідно, наприклад, в мережах виробничого призначення, в яких

затримка реакції на зовнішню подію може привести до серйозних аварій.

У мережі Token-Ring використовується класичний маркерний метод доступу, тобто по кільцю постійно циркулює маркер, до якого абоненти можуть приєднувати свої пакети даних (рис. 2.19). Звідси випливає таке важливе гідність даної мережі, як відсутність конфліктів, але є і недоліки, зокрема необхідність контролю цілісності маркера і залежність функціонування мережі від кожного абонента (в разі несправності абонент обов'язково повинен бути виключений з кільця).

Граничний час передачі пакета в Token-Ring 10 мс. При максимальній кількості абонентів 260 повний цикл роботи кільця складе $260 \times 10 \text{ мс} = 2,6 \text{ с}$. За цей час всі 260 абонентів зможуть передати свої пакети (якщо, звичайно, їм є чого передавати). За цей же час вільний маркер обов'язково дійде до кожного абонента. Цей же інтервал є верхньою межею часу доступу Token-Ring.

Кожен абонент мережі (його мережевий адаптер) повинен виконувати наступні функції:

- виявлення помилок передачі;
- контроль конфігурації мережі (відновлення мережі при виході з ладу того абонента, який передує йому в кільці);
- контроль численних тимчасових співвідношень, прийнятих в мережі.

Велика кількість функцій, звичайно, ускладнює і здорожує апаратуру мережевого адаптера.

Висновки

• Технологія Token Ring розвивається в основному компанією ІВМ і має також статус стандарту IEEE 802.5, що відображає найбільш важливі удосконалення, внесені в технологію ІВМ.

• У мережах Token Ring використовується маркерний метод доступу, який гарантує для кожної станції одержання доступу до поділюваного кільця протягом часу обороту маркера. Через цю властивість цей метод іноді називають детермінованим.

- Метод доступу заснований на пріоритетах: від 0 (нижчий) до 7 (вищий). Станція сама визначає пріоритет поточного кадру і може захопити кільце тільки в тому випадку, коли в кільці немає більш пріоритетних кадрів.

- Мережі Token Ring працюють на двох швидкостях: 4 і 16 Мбіт/с і можуть використовувати як фізичне середовище екрановану кручену пару, неекрановану кручену пару, а також волоконно-оптичний кабель. Максимальна кількість станцій у кільці — 260, а максимальна довжина кільця — 4 км.

- Технологія Token Ring має елементи відмовостійкості. За рахунок зворотного зв'язку кільця одна зі станцій — активний монітор — безупинно контролює наявність маркера, а також час обороту маркера і кадрів даних. При некоректній роботі кільця запускається процедура його повторної ініціалізації, а якщо вона не допомагає, то для локалізації несправної ділянки кабелю чи несправної станції використовується процедура beaconsing.

- Максимальний розмір поля даних кадру Token Ring залежить від швидкості роботи кільця. Для швидкості 4 Мбіт/с він дорівнює близько 5 000 байт, а при швидкості 16 Мбіт/с — близько 16 Кбайт. Мінімальний розмір поля даних кадру не визначений, тобто може дорівнювати 0.

- У мережі Token Ring станції в кільці поєднують за допомогою концентраторів, що називаються MSAU. Пасивний концентратор MSAU виконує роль кросової панелі, яка з'єднує вихід попередньої станції в кільці з входом наступної. Максимальна відстань від станції до MSAU — 100 м для STP і 45 м для UTP.

- Активний монітор виконує в кільці також роль повторювача — він ресинхронізує сигнали, що проходять по кільцю.

- Кільце може бути побудовано на основі активного концентратора MSAU, яке в цьому випадку називають повторювачем.

- Мережа Token Ring може будуватися на основі декількох кілець, розділених мостами, маршрутизуючими кадри за принципом "від джерела", для чого в кадр Token Ring додається спеціальне поле з маршрутом проходження кілець.

Контрольні питання до розділу

1. В якому році і якою компанією була розроблена технологія Token Ring?
2. Які з наступних технологій мають кільцеву топологію:
 - a. *Ethernet*;
 - b. *FDDI*;
 - c. *xPON*;
 - d. *FNNx*;
 - e. *Token Ring*;
 - f. *ZigBee*.
3. В яких технологіях використовується маркерний метод доступу до середовища передачі:
 - a. *Ethernet*;
 - b. *Fast Ethernet*;
 - c. *FDDI*;
 - d. *Wi-Fi*;
 - e. *Token Ring*;
 - f. *xDSL*.
4. Що собою представляє маркерний метод доступу до середовища передачі? Переваги та недоліки.
5. Які існують формати кадрів в мережі Token Ring?
6. На які швидкостях працює мережа Token Ring:
 - a. *10 Мбіт/с*;
 - b. *16 Мбіт/с*;
 - c. *100 Мбіт/с*;
 - d. *20 Мбіт/с*;
 - e. *4 Мбіт/с*.
7. Яким чином відбувається пріоритетний доступ до кільця? Скільки класів пріоритетів використовується?
8. Яким чином працює мережа Token Ring при поодинокому пошкодженні кабелю?
9. Яким чином працює мережа Token Ring при множинних пошкодженнях кабелю?
10. Що собою представляє пасивний концентратор MSAU мережі Token Ring?
11. Наведіть структуру кадру даних Token Ring?
12. Наведіть структуру кадру послідовності, що перериває Token Ring?
13. Наведіть структуру кадру маркера Token Ring?

14. Що собою представляє алгоритмом раннього звільнення маркера?

Список рекомендованої літератури

1. *Олифер В. Г., Олифер Н. А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — [ISBN 978-5-49807-389-7](https://www.isbn-international.org/product/978-5-49807-389-7).
2. *Кудінов В.А., Хахановський В.Г., Смаглюк В.М., Пакриш О.Є., Тоневицький А.М.* Комп'ютерні мережі та телекомунікаційні технології Навчально-методичний комплекс навчальної дисципліни. К.: НАВС, 2013 – 256 с.
3. *Новиков Ю. В., Кондратенко С. В.* Основы локальных сетей. Курс лекций. [Электронный ресурс] – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступа до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/57/57/info>.
4. Компьютерные сети. 4-е изд./ *И. Таненбаум.* – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
5. *Берлин А.* Абонентские сети доступа и технологии высокоскоростных сетей Курс лекций. [Электронный ресурс] – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2010. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступа до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/986/212/info>

2.4. Технологія Fast Ethernet

2.4.1. Історія створення

Класичний 10-мегабітний Ethernet влаштував більшість користувачів протягом 15 років. Однак на початку 90-х років почала відчуватися його недостатня пропускна здатність. Для комп'ютерів на процесорах Intel 80286 чи 80386 із шинами ISA (8 Мбайт/с) чи EISA (32 Мбайт/с) пропускна здатність сегмента Ethernet складала 1/8 чи 1/32 каналу "пам'ять-диск", і це добре узгоджувалося зі співвідношенням обсягів даних, що оброблялися локально, і даних, які передавалися по мережі. Для більш могутніх клієнтських станцій із шиною PCI (133 Мбайт/с) ця частка впала до 1/133, що було явно недостатньо. Тому багато сегментів 10-мегабітного Ethernet стали перевантаженими, реакція серверів у них значно упала, а частота виникнення колізій істотно зросла, ще більш знижуючи корисну пропускну здатність.

Назріла необхідність у розробці "нового" Ethernet, тобто технології, що була б такому ж ефективною по співвідношенню ціна/якість при продуктивності 100 Мбіт/с. В результаті пошуків і досліджень фахівці розділилися на два табори, що зрештою привело до появи двох нових технологій — *Fast Ethernet* і *100VG-AnyLAN*. Вони відрізняються ступенем наступності з класичним Ethernet.

У 1992 році група виробників мережного устаткування, включаючи таких лідерів технології Ethernet, як *SynOptics*, *3Com* і ряд інших, утворили некомерційне об'єднання *Fast Ethernet Alliance* для розробки стандарту нової технології, яка повинна була в максимально можливому ступені зберегти особливості технології Ethernet [1].

Другий табір очолили компанії *Hewlett-Packard* і *AT&T*, які запропонували скористатися зручним випадком для усунення деяких відомих недоліків технології Ethernet. Через якийсь час до цих компаній приєдналася компанія IBM, що внесла свій внесок пропозицією забезпечити в новій технології деяку сумісність з мережами Token Ring [2].

У комітеті 802 інституту IEEE у цей же час була сформована дослідницька група для вивчення технічного потенціалу нових високошвидкісних технологій. За період з кінця 1992 року і по кінець 1993 року група IEEE вивчила 100-мегабітні рішення, запропоновані різними виробниками. Поряд із пропозиціями Fast Ethernet Alliance група розглянула також і високошвидкісну технологію, запропоновану компаніями **Hewlett-Packard** і **AT&T**.

У центрі дискусій була проблема збереження випадкового методу доступу CSMA/CD. Пропозиція Fast Ethernet Alliance зберігала цей метод і тим самим забезпечувала наступність і погодженість мереж 10 Мбіт/с і 100 Мбіт/с. Коаліція **HP** і **AT&T**, яка мала підтримку значно меншого числа виробників у мережевій індустрії, чим **Fast Ethernet Alliance**, запропонувала зовсім новий метод доступу, що назвався *Demand Priority* — пріоритетний доступ за вимогою. Він істотно змінював картину поведження вузлів у мережі, тому не зміг вписатися в технологію Ethernet і стандарт 802.3, і для його стандартизації був організований новий комітет IEEE 802.12.

Восени 1995 року обидві технології стали стандартами IEEE. Комітет IEEE 802.3 прийняв специфікацію **Fast Ethernet** як стандарт 802.3c, що не є самостійним стандартом, а являє собою доповнення до існуючого стандарту 802.3 у виді глав з 21 по 30. Комітет 802.12 прийняв технологію **100VG-AnyLAN**, що використовує новий метод доступу *Demand Priority* і підтримує кадри двох форматів — *Ethernet* і *Token Ring*.

2.4.2. Фізичний рівень технології Fast Ethernet

Всі відмінності технології Fast Ethernet від Ethernet зосереджені на фізичному рівні (рис. 2.20). Рівні MAC і LLC у Fast Ethernet залишилися абсолютно тими ж, і їх описують колишні глави стандартів 802.3 і 802.2. Тому розглядаючи технологію Fast Ethernet, ми будемо вивчати тільки кілька варіантів її фізичного рівня [1].

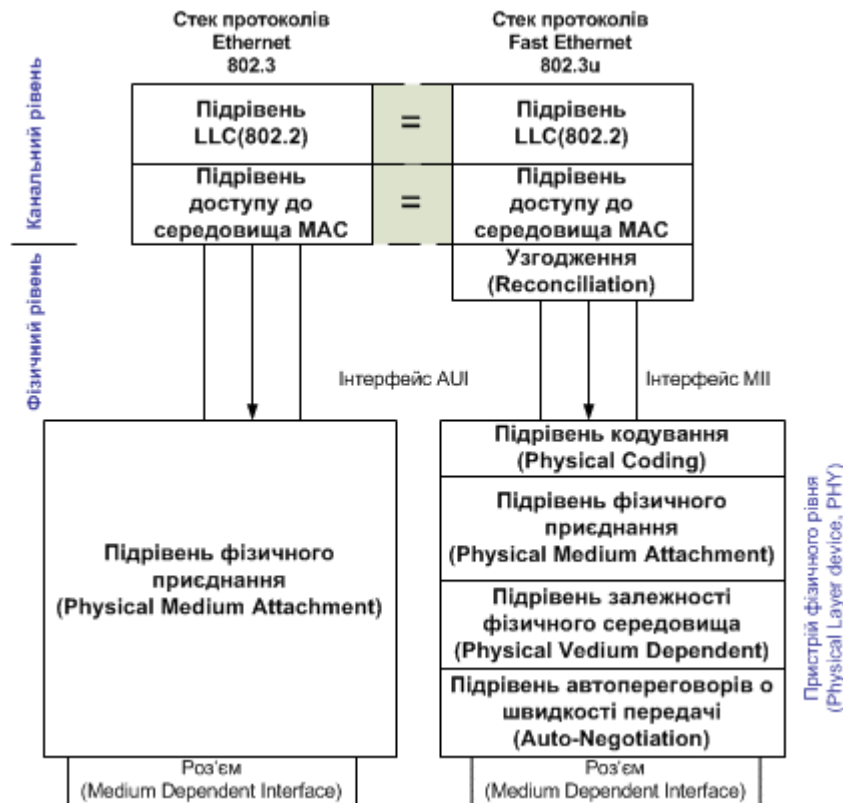


Рис. 2.20. Відмінності технології Fast Ethernet від Ethernet

Більш складна структура фізичного рівня технології Fast Ethernet викликана тим, що в ній використовуються три варіанти кабельних систем [3]:

- волоконно-оптичний багатомодовий кабель, використовуються два волокна;
- кручена пари категорії 5, використовуються дві пари;
- кручена пари категорії 3, використовуються чотири пари.

Коаксіальний кабель, що дав світу першу мережу Ethernet, у число дозволених середовищ передачі даних нової технології Fast Ethernet не потрапив. Це загальна тенденція багатьох нових технологій, оскільки на невеликих відстанях кручена пара категорії 5 дозволяє передавати дані з тією же швидкістю, що і коаксіальний кабель, але мережа виходить більш дешевою і зручною в експлуатації. На великих відстанях оптичне волокно володіє набагато більш широкою смугою пропускання, чим коаксіал, а вартість мережі виходить ненабагато вище, особливо якщо врахувати високі витрати на пошук і усунення несправностей у великій кабельній коаксіальній системі.

Відмова від коаксіального кабелю привела до того, що мережі *Fast Ethernet* завжди мають ієрархічну деревоподібну структуру, побудовану на концентраторах, як і мережі 10-Base-T/10Base-F. Основною відмінністю конфігурацій мереж *Fast Ethernet* є скорочення діаметра мережі приблизно до 200 м, що порозумівається зменшенням часу передачі кадру мінімальної довжини в 10 разів за рахунок збільшення швидкості передачі в 10 разів у порівнянні з 10-мегабітним *Ethernet*.

Проте ця обставина не дуже перешкоджає побудові великих мереж на технології *Fast Ethernet*. Справа в тому, що середина 90-х років відзначена не тільки широким розповсюдженням недорогих високошвидкісних технологій, але і бурхливим розвитком локальних мереж на основі комутаторів. При використанні комутаторів протокол *Fast Ethernet* може працювати в повнодуплексному режимі, у який немає обмеження на загальну довжину мережі, а залишаються тільки обмеження на довжину фізичних сегментів, що з'єднують сусідні пристрої (адаптер - комутатор чи комутатор - комутатор). Тому при створенні магістралей локальних мереж великої довжини технологія *Fast Ethernet* також активно застосовується, але тільки в повнодуплексному варіанті, разом з комутаторами.

У порівнянні з варіантами фізичної реалізації *Ethernet* (а їх нараховується шість), у *Fast Ethernet* відмінності кожного варіанта від інших глибше — міняється як кількість провідників, так і методи кодування. А тому що фізичні варіанти *Fast Ethernet* створювалися одночасно, а не еволюційно, як для мереж *Ethernet*, то маласть можливість детально визначити ті підрівні фізичного рівня, що не змінюються від варіанта до варіанта, і ті підрівні, що специфічні для кожного варіанта фізичного середовища [3].

Офіційний стандарт 802.3u встановив три різних специфікації для фізичного рівня *Fast Ethernet* і дав їм наступні назви (рис. 2.21) [3]:

- **100Base-TX** для двопарного кабелю на неекранованій кручений парі UTP категорії 5 чи екранованій кручений парі STP Type 1;
- **100Base-T4** для кабелю з чотирьох пар на неекранованій кручений парі UTP категорії 3, 4 чи 5;

• *100Base-FX* для багатомодового оптоволоконного кабелю, використовуються два волокна.

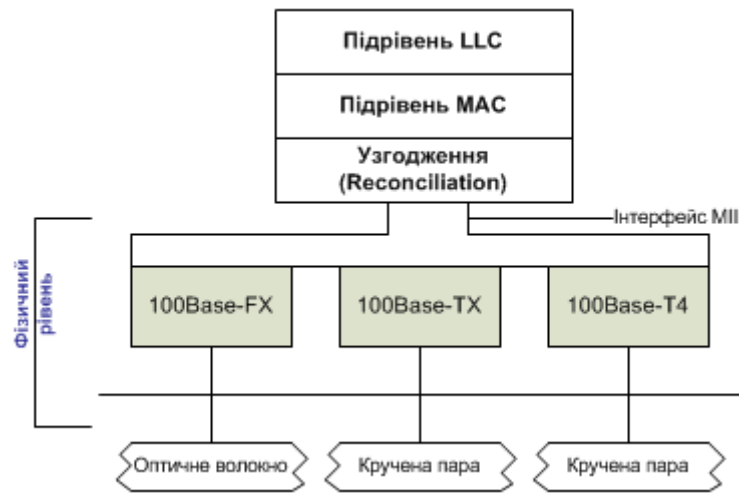


Рис.2.21. Структура фізичного рівня Fast Ethernet

Для всіх трьох стандартів справедливі наступні твердження і характеристики.

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

- Міжкадровий інтервал (IPG) дорівнює 0,96 мкс, а бітовий інтервал дорівнює 10 нс. Усі тимчасові параметри алгоритму доступу (інтервал відстрочки, час передачі кадру мінімальної довжини і т.п.), вимірюються в бітових інтервалах, залишилися старими, тому зміни в розділі стандарту, що стосуються рівня MAC, не вносилися.

- Ознакою вільного стану середовища є передача по ньому символу **Idle** відповідного надлишкового коду (а не відсутність сигналів, як у стандартах Ethernet 10 Мбіт/с).

Фізичний рівень включає три елементи:

- рівень узгодження (*reconciliation sublayer*);
- незалежний від середовища інтерфейс (*Media Independent Interface, MII*);
- пристрій фізичного рівня (*Physical layer device, PHY*).

Рівень узгодження потрібний для того, щоб рівень MAC, розрахований на інтерфейс AUI, зміг працювати з фізичним рівнем через інтерфейс MII.

Пристрій фізичного рівня (PHY) складається, у свою чергу, з декількох підрівнів (див. рис. 2.21):

- підрівня логічного кодування даних, що перетворює поступаючи від рівня MAC байти в символи коду 4B/5B чи 8B/6T (обидва коди використовуються в технології Fast Ethernet);

- підрівні фізичного приєднання і підрівня залежності від фізичного середовища (PMD), що забезпечують формування сигналів відповідно до методу фізичного кодування, наприклад NRZI чи MLT-3;

- підрівня автопереговорів, що дозволяє двом взаємодіючим портам автоматично вибрати найбільш ефективний режим роботи, наприклад, напівдуплексний чи повнодуплексний (цей підрівень є факультативним).

Інтерфейс МП підтримує незалежний від фізичного середовища спосіб обміну даними між підрівнем MAC і підрівнем PHY. Цей інтерфейс аналогічний по призначенню інтерфейсу АUI класичного Ethernet за винятком того, що інтерфейс АUI розташовувався між підрівнем фізичного кодування сигналу (для будь-яких варіантів кабелю використовувався однаковий метод фізичного кодування — манчестерський код) і підрівнем фізичного приєднання до середовища, а інтерфейс МП розташовується між підрівнем MAC і підрівнями кодування сигналу, яких у стандарті *Fast Ethernet* три — FX, TX і T4.

Роз'єм МП на відміну від рз'єму АUI має 40 контактів, максимальна довжина кабелю МП складає один метр. Сигнали, передані по інтерфейсі МП, мають амплітуду 5 В.

Фізичний рівень 100Base-FX - багатомодове оптоволокно, два волокна

Ця специфікація визначає роботу протоколу Fast Ethernet по багатомодовому оптоволокну в напівдуплексному і повнодуплексному режимах на основі добре перевіреної схеми кодування FDDI. Як і в стандарті FDDI, кожен вузол з'єднується з мережею двома оптичними волокнами, що йдуть від приймача (R_x) і від передавача (T_x) [3].

Між специфікаціями 100Base-FX і 100Base-TX є багато загального, тому загальні для двох специфікацій властивості будуть даватися під узагальненою назвою 100Base-FX/TX.

У той час як Ethernet зі швидкістю передачі 10 Мбіт/с використовує манчестерське кодування для представлення даних при передачі по кабелю, у стандарті Fast Ethernet визначений інший метод кодування — 4В/5В. Цей метод уже показав свою ефективність у стандарті FDDI і без змін перенесений у специфікацію 100Base-FX/TX. При цьому методі кожен 4 біти даних підрівня MAC (що зветься символами) представляються 5 бітами. Надлишковий біт дозволяє застосувати потенційні коди при представленні кожного з п'яти біт у виді електричних чи оптичних імпульсів. Існування заборонених комбінацій символів дозволяє відбракувати помилкові символи, що підвищує стійкість роботи мереж з 100Base-FX/TX.

Для відділення кадру Ethernet від символів **Idle** використовується комбінація символів Start Delimiter (пара символів **J** (11000) і **K** (10001) коду 4В/5В, а після завершення кадру перед першим символом **Idle** вставляється символ **T** (рис. 2.22) [3].

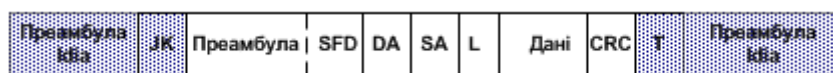


Рис. 2.22. Неперервний потік даних специфікації 100Base-FX/TX

Після перетворення 4-бітових порцій кодів MAC у 5-бітові порції фізичного рівня їх необхідно представити у вигляді оптичних чи електричних сигналів у кабелі, що з'єднує вузли мережі. Специфікації 100Base-FX і 100Base-TX використовують для цього різні методи фізичного кодування — NRZI і MLT-3 відповідно (як і в технології FDDI при роботі через оптоволокно і кручену пару).

Фізичний рівень 100Base-TX - кручена пара UTP Cat 5 чи STP Type 1, дві пари

Як середовище передачі даних специфікація 100Base-TX використовує

кабель UTP категорії 5 чи кабель STP Type 1. Максимальна довжина кабелю в обох випадках — 100 м.

Основні відмінності від специфікації 100Base-FX — використання методу MLT-3 для передачі сигналів 5-бітових порцій коду 4В/5В по крученій парі, а також наявність функції *автопереговорів* (Auto-negotiation) для вибору режиму роботи порту. Схема автопереговорів дозволяє двом з'єднаним фізично пристроям, що підтримують кілька стандартів фізичного рівня, які відрізняються бітовою швидкістю і кількістю кручених пар, вибрати найбільш вигідний режим роботи. Звичайно процедура автопереговорів відбувається при приєднанні мережного адаптера, що може працювати на швидкостях 10 і 100 Мбіт/с, до концентратора чи комутатора [4].

Описана нижче схема Auto-negotiation сьогодні є стандартом технології 100Base-T. До цього виробники застосовували різні власні схеми автоматичного визначення швидкості роботи взаємодіючих портів, які не були сумісні. Прийняту як стандарт схему Auto-negotiation запропонувала спочатку компанія National Semiconductor за назвою NWay.

Всього в даний час визначено 5 різних режимів роботи, що можуть підтримувати пристрої 100Base-TX чи 100Base-T4 на кручених парах:

- 10Base-T — 2 пари категорії 3;
- 10Base-T full-duplex - 2 пари категорії 3;
- 100Base-TX - 2 пари категорії 5 (чи Type 1A STP);
- 100Base-T4 - 4 пари категорії 3;
- 100Base-TX full-duplex - 2 пари категорії 5 (чи Type 1A STP).

Режим 10Base-T має самий низький пріоритет у переговорному процесі, а повнодуплексний режим 100Base-T4 — найвищий. Переговорний процес відбувається при включенні живлення пристрою, а також може бути ініційований у будь-який момент модулем керування пристрою.

Пристрій, що почав процес auto-negotiation, посилає своєму партнеру пачку спеціальних імпульсів Fast Link Pulse burst (FLP), у якому міститься 8-бітне слово, що кодує запропонований режим взаємодії, починаючи із самим пріоритетним, який підтримується даним вузлом.

Якщо вузол-партнер підтримує функцію auto-negotiation і також може підтримувати запропонований режим, він відповідає пачкою імпульсів FLP, у якій підтверджує даний режим, і на цьому переговори закінчуються. Якщо ж вузол-партнер може підтримувати менш пріоритетний режим, то він вказує його у відповіді, і цей режим вибирається як робочий. Таким чином, завжди вибирається найбільш пріоритетний загальний режим вузлів.

Вузол, що підтримує тільки технологію 10Base-T, кожні 16 мс посилає манчестерські імпульси для перевірки цілісності лінії, що зв'язує його із сусіднім вузлом. Такий вузол не розуміє запит FLP, що робить йому вузол з функцією Auto-negotiation, і продовжує посилати свої імпульси. Вузол, що одержав у відповідь на запит FLP тільки імпульси перевірки цілісності лінії, розуміє, що його партнер може працювати тільки по стандарті 10Base-T, і встановлює цей режим роботи і для себе.

Фізичний рівень 100Base-T4 - кручена пара UTP Cat 3, чотири пари

Специфікація 100Base-T4 була розроблена для того, щоб можна було використовувати для високошвидкісного Ethernet наявну проводку на кручений парі категорії 3. Ця специфікація дозволяє підвищити загальну пропускну здатність за рахунок одночасної передачі потоків біт по всім 4 парам кабелю.

Специфікація 100Base-T4 з'явилася пізніше інших специфікацій фізичного рівня *Fast Ethernet*. Розробники цієї технології в першу чергу хотіли створити фізичні специфікації, найбільш близькі до специфікацій 10Base-T і 10Base-F, що працювали на двох лініях передачі даних: двох парах чи двох волокнах. Для реалізації роботи з двох кручених пар довелося перейти на більш якісний кабель категорії 5 [5].

У той же час розробники конкуруючої технології *100VG-AnyLAN* зробили ставку на роботу з крученою парою категорії 3; сама головна перевага складалася не стільки у вартості, а в тому, що вона була вже прокладена в великій кількості будинків. Тому після випуску специфікацій 100Base-TX і

100Base-FX розробники технології *Fast Ethernet* реалізували свій варіант фізичного рівня для крученої пари категорії 3.

Замість кодування 4В/5В в цьому методі використовується кодування 8В/6Т, що має більш вузький спектр сигналу і при швидкості 33 Мбіт/с укладається в смугу 16 Мгц крученої пари категорії 3 (при кодуванні 4В/5В спектр сигналу в цю смугу не вкладається). Кожні 8 біт інформації рівня MAC кодуються 6-ю трійковими цифрами (ternary symbols), тобто цифрами, що мають три стани. Кожна трійкова цифра має тривалість 40 нс. Група з 6-ти трійкових цифр потім передається на одну з трьох передавальних кручених пар, незалежно і послідовно.

Четверта пара завжди використовується для прослуховування несучої частоти з метою виявлення колізії. Швидкість передачі даних по кожній із трьох передавальних пар дорівнює 33,3 Мбіт/с, тому загальна швидкість протоколу 100Base-T4 складає 100 Мбіт/с. У той же час через прийнятий спосіб кодування швидкість зміни сигналу на кожній парі дорівнює всього 25 Мбод, що і дозволяє використовувати кручену пару категорії 3 [5].

На рис. 2.23 показане з'єднання порту MDI мережного адаптера 100Base-T4 з портом MDI-X концентратора (приставка X говорить про те, що в цього роз'єму приймача і передавача міняються парами кабелю в порівнянні з роз'ємами мережного адаптера, що дозволяє простіше з'єднувати пари проводів у кабелі — без перехрещування). Пари 1-2 завжди потрібні для передачі даних від порту MDI до порту MDI-X, пари 3-6 для прийому даних портом MDI від порту MDI-X, а пари 4-5 і 7-8 є двонаправленими і використовуються як для прийому, так і для передачі, в залежності від потреби.

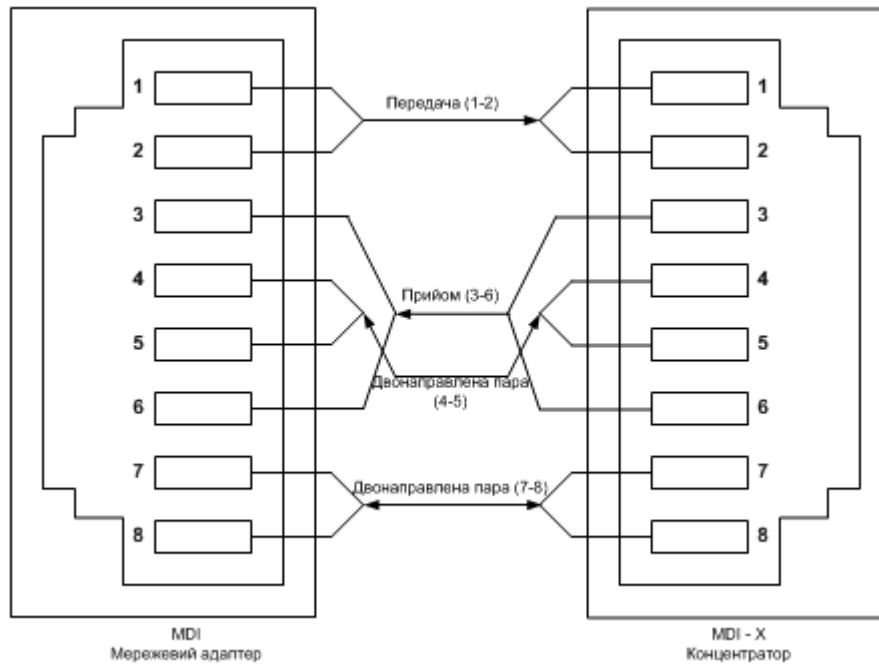


Рис. 2.23. З'єднання порту MDI мережного адаптера 100Base-T4 з портом MDI-X концентратора

2.4.3. Правила побудови сегментів Fast Ethernet при використанні повторювачів

Технологія Fast Ethernet, як і всі не коаксіальні варіанти Ethernet, розрахована на використання концентраторів-повторювачів для утворення зв'язків у мережі. Правила коректної побудови сегментів мереж Fast Ethernet включають:

- обмеження на максимальні довжини сегментів, що з'єднують DTE з DTE;
- обмеження на максимальні довжини сегментів, що з'єднують DTE з портом повторювача;
- обмеження на максимальний діаметр мережі;
- обмеження на максимальне число повторювачів і максимальну довжину сегмента, що з'єднує повторювачі.

Обмеження довжин сегментів DTE-DTE

У якості DTE (*Data Terminal Equipment*) може виступати будь-як джерело кадрів даних для мережі: мережний адаптер, порт моста, порт маршрутизатора, модуль керування мережею й інші подібні пристрої. Відмінною рисою DTE є те, що він виробляє новий кадр для поділюваного сегмента (міст чи комутатор,

хоча і передають через вихідний порт кадр, що виробив у свій час мережний адаптер, але для сегмента мережі, до якого підключений вихідний порт, цей кадр є новим). Порт повторювача не є DTE, тому що він побітно повторює в сегменті кадр, який вже з'явився [6].

У типовій конфігурації мережі *Fast Ethernet* декілька DTE підключається до портів повторювача, утворюючи мережу зіркоподібної топології. З'єднання DTE-DTE у поділюваних сегментах не зустрічаються (якщо виключити екзотичну конфігурацію, коли мережеві адаптери двох комп'ютерів з'єднані прямо один з одним кабелем), а от для мостів/комутаторів і маршрутизаторів такі з'єднання є нормою — коли мережний адаптер прямо з'єднаний з портом одного з цих пристроїв, або ці пристрої з'єднуються один з одним.

Специфікація IEEE 802.3u визначає наступні максимальні довжини сегментів DTE-DTE, приведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5. Максимальні довжини сегментів DTE-DTE

Стандарт	Тип кабелю	Максимальна довжина сегмента
100Base-TX	Категорія 5 UTP	100 м
100Base-FX	Багатомодовое оптоволокну 62,5/125 мкм	412 м (напівдуплекс) 2 км (повний дуплекс)
100Base-T4	Категорія 3,4 чи 5 UTP	100м

Обмеження мереж Fast Ethernet, побудованих на повторювачах

Повторювачі Fast Ethernet поділяються на два класи. Повторювачі класу I підтримують всі типи логічного кодування даних: як 4В/5В, так і 8В/6Т. Повторювачі класу II підтримують тільки який-небудь один тип логічного кодування — або 4В/5В, або 8В/6Т. Тобто повторювачі класу I дозволяють виконувати трансляцію логічних кодів з бітовою швидкістю 100 Мбіт/с, а повторювачам класу II ця операція недоступна [7].

Тому повторювачі класу I можуть мати порти всіх трьох типів фізичного рівня: 100Base-TX, 100Base-FX і 100Base-T4. Повторювачі класу II мають або всі порти 100Base-T4, або порти 100Base-TX і 100Base-FX, тому що останні використовують один логічний код 4В/5В.

В одному домені колізій допускається наявність тільки одного повторювача класу I. Це зв'язано з тим, що такий повторювач вносить велику затримку при поширенні сигналів через необхідність трансляції різних систем сигналізації — 70 bt.

Повторювачі класу II вносять меншу затримку при передачі сигналів: 46 bt для портів TX/FX і 33,5 bt для портів T4. Тому максимальне число повторювачів класу II у домені колізій — 2, причому вони повинні бути з'єднані між собою кабелем не довше 5 метрів.

Невелика кількість повторювачів Fast Ethernet не є серйозною перешкодою при побудові великих мереж, тому що застосування комутаторів і маршрутизаторів поділяє мережу на декілька доменів колізій, кожний з яких буде будуватися на одному чи двох повторювачах. Загальна довжина мережі не буде мати у цьому випадку обмежень.

У табл. 2.6 приведені правила побудови мережі на основі повторювачів класу I.

Таблиця 2.6. *Параметри мереж на основі повторювачів класу I*

Тип кабелів	Максимальний діаметр мережі, м	Максимальна довжина сегмента, м
Тільки кручена пари (TX)	200	100
Тільки оптоволокно (FX)	272	136
Кілька сегментів на кручений парі й один на оптоволокні	260	100 (TX) 160 (FX)
Кілька сегментів на кручений парі і кілька сегментів на оптоволокні	272	100 (TX) 136 (FX)

Ці обмеження проілюстровані типовими конфігураціями мереж, показаними на рис. 2.24.

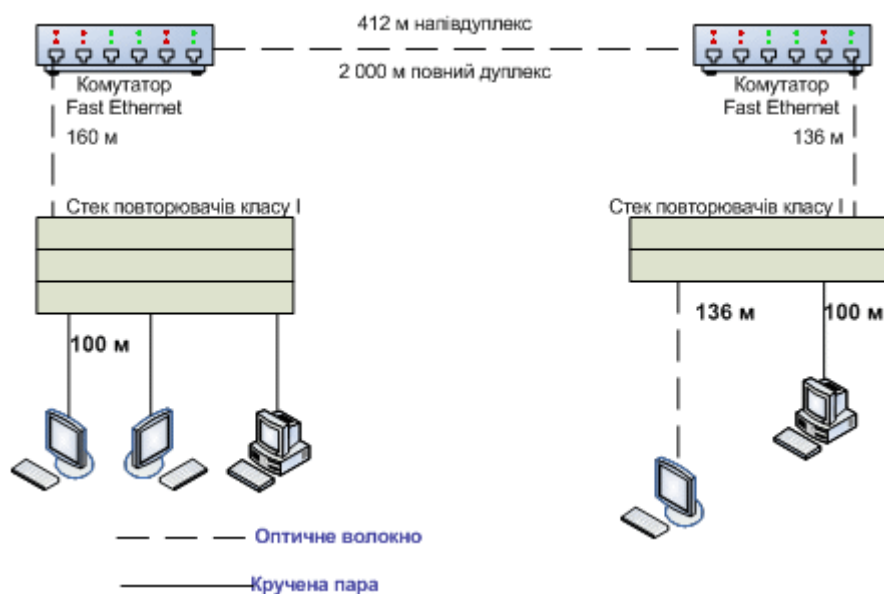


Рис. 2.24. Прикладі побудови мережі Fast Ethernet з використанням повторювачів класу I

Таким чином, правило 4-х хабів перетворилося для технології Fast Ethernet у правило одного чи двох хабів, в залежності від класу хаба.

При визначенні коректності конфігурації мережі можна не керуватися правилами одного чи двох хабів, а розраховувати час подвійного оберту мережі, як це було показано вище для мережі Ethernet 10 Мбіт/с.

Висновки

- Потреби у високошвидкісній і в той же час недорогій технології для підключення до мережі потужних робочих станцій привели на початку 90-х років до створення ініціативної групи, яка зайнялася пошуками нового Ethernet — такою же простою і ефективною технологією, але яка працює на швидкості 100 Мбіт/с.
- Фахівці розбилися на два табори, що зрештою привело до появи двох стандартів, прийнятих восени 1995 року: комітет 802.3 затвердив

стандарт Fast Ethernet, яка майже цілком повторює технологію Ethernet 10 Мбіт/с, а спеціально створений комітет 802.12 затвердив стандарт технології 100VG-AnyLAN, що зберігає формат кадру Ethernet, але істотно змінювала метод доступу.

- Технологія Fast Ethernet зберегла в недоторканності метод доступу CSMA/CD, залишивши в ньому той же алгоритм і ті ж тимчасові параметри в бітових інтервалах (сам бітовий інтервал зменшився в 10 разів). Усі відмінності Fast Ethernet від Ethernet виявляються на фізичному рівні.
- У стандарті Fast Ethernet визначені три специфікації фізичного рівня: 100Base-TX для 2-х пар UTP категорії 5 чи 2-х пар STP Type 1 (метод кодування 4В/5В), 100Base-FX для багатомодового оптоволокна волокна з двома оптичними волокнами (метод кодування 4В/5В) і 100Base-T4, що працює на 4-х парах UTP категорії 3, але використовуючого одночасно тільки три пари для передачі, а пара, що залишилася — для виявлення колізії (метод кодування 8В/6Т).
- Стандарти 100Base-TX/FX можуть працювати в повнодуплексному режимі.
- Максимальний діаметр мережі Fast Ethernet дорівнює приблизно 200 м, а більш точні значення залежать від специфікації фізичного середовища. У домені колізій Fast Ethernet допускається не більш одного повторювача класу I (що дозволяє транслювати коди 4В/5В в коди 8В/6Т та назад) і не більш двох повторювачів класу II (не дозволяють виконувати трансляцію кодів).
- Технологія Fast Ethernet при роботі на кручений парі дозволяє за рахунок процедури автопереговорів двом портам вибирати найбільш ефективний режим роботи - швидкість 10 Мбіт/с чи 100 Мбст/с, а також напівдуплексний чи повнодуплексний режим.

Контрольні питання до розділу

1. Коли і ким була розроблена технологія Fast Ethernet?
2. Яка допустима відстань для технології 100Base-FX:
 - a. 20 км;
 - b. 5 км;
 - c. 2 км;
 - d. 32 км;
 - e. 40 км
3. Fast Ethernet має наступні типи фізичних інтерфейсів середовища:
 - a. 1000Base-FX;
 - b. 100Base-LX;
 - c. 100Base-TX;
 - d. 100Base-T4;
 - e. 100Base-CX;
 - f. 100Base-FX;
 - g. 100Base-SX.
4. Яке середовище передачі використовується для технології 100Base-T4:
 - a. коаксіальний кабель;
 - b. симетричний кабель;
 - c. неекранована кручена пара (UTP);
 - d. екранована кручена пара (STP) ;
 - e. UTP та STP.
5. Яке середовище передачі використовується для технології 100Base-T2:
 - a. коаксіальний кабель;
 - b. симетричний кабель;
 - c. неекранована кручена пара (UTP);
 - d. екранована кручена пара (STP) ;
 - e. UTP та STP.
6. Метод доступу технології Fast Ethernet. Переваги та недоліки.
7. Скільки специфікацій фізичного рівня визначено у стандарті Fast Ethernet?
8. Який метод кодування визначений для специфікації Fast Ethernet 100Base-TX:
 - a. 5B/6B;
 - b. 4B/5B;
 - c. 3B/2T;
 - d. 2B1Q ;

- e. 8B/6T.
9. Який метод кодування визначений для специфікації Fast Ethernet 100Base-FX:
- a. 5B/6B;
 - b. 4B/5B;
 - c. 3B/2T;
 - d. 2B1Q ;
 - e. 8B/6T.
10. Який метод кодування визначений для специфікації Fast Ethernet 100Base-T4:
- a. 5B/6B;
 - b. 4B/5B;
 - c. 3B/2T;
 - d. 2B1Q ;
 - e. 8B/6T.
11. Наведіть структуру фізичного рівня Fast Ethernet?
12. У чому полягають правила побудови сегментів Fast Ethernet при використанні повторювачів?
13. Які існують обмеження мереж Fast Ethernet, побудованих на повторювачах?
14. Фізичний рівень 100Base-T4. Особливості, переваги, недоліки.
15. Фізичний рівень 100Base-TX. Особливості, переваги, недоліки.
16. Фізичний рівень 100Base-FX. Особливості, переваги, недоліки.

Список рекомендованої літератури

1. *Олифер В. Г., Олифер Н. А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — [ISBN 978-5-49807-389-7](#).
2. *Кудінов В.А., Хахановський В.Г., Смаглюк В.М., Пакриш О.Є., Тоневицький А.М.* Комп'ютерні мережі та телекомунікаційні технології Навчально-методичний комплекс навчальної дисципліни. К.: НАВС, 2013 – 256 с.
3. [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалу: https://wiki.cuspu.edu.ua/index.php/Fast_Ethernet_%D1%96_100VG_%E2%80%93_%93_AnyLAN.
4. *Новиков Ю. В., Кондратенко С. В.* Основы локальных сетей. Курс лекций. [Електронний ресурс] – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступу до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/57/57/info>.

5. *Филимонов А.* Построение мультисервисных сетей Ethernet. – М.: ВНУ, 2007. [ISBN 978-5-9775-0007-4](#). – 592 с.
6. Компьютерные сети. 4-е изд./ *И. Таненбаум.* – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
7. [Электронный ресурс] Режим доступа до материалу:
<http://kunegin.com/ref1/ethernet/>

2.5. Стандарт високошвидкісних мереж 100VG-AnyLAN

2.5.1. Історія створення

В липні 1993 року з ініціативи компанії *AT&T* і *Hewlett Packard* був створений новий комітет IEEE 802.12, який був призначений стандартизувати нову технологію 100 Base – VG. Ця технологія являє собою високошвидкісне розширення стандарту IEEE 802.3 (Ethernet на крученій парі).

Компанія *IBM* запропонувала об'єднати в новому стандарті підтримку *Ethernet* і *Token Ring (TR)*. Змінилась і назва нової технології - **100VG-AnyLAN**.

Технологія повинна підтримувати, як вже існуючі мережві технології, так і нові. На це направлені одночасно підтримка форматів кадрів даних Ethernet і Token Ring, яка забезпечує прозорість мереж, які побудовані по новій технології, для існуючих програм.

Стандарт 100VG-AnyLAN орієнтований як на кручені пари, так і на оптоволоконні лінії.

2.5.2. Топологія

Оскільки 100VG призначена замінити собою *Ethernet* і *Token Ring*, то вона підтримує топології, які використовуються для цих мереж (загальна шина і мережне кільце, відповідно. Фізична топологія – обов'язково зірка) [1].

При каскадному підключенні хабів, між ними допускається лише одна лінія зв'язку. Утворення резервних ліній можливе лише при умові, що в кожному момент активна лише одна.

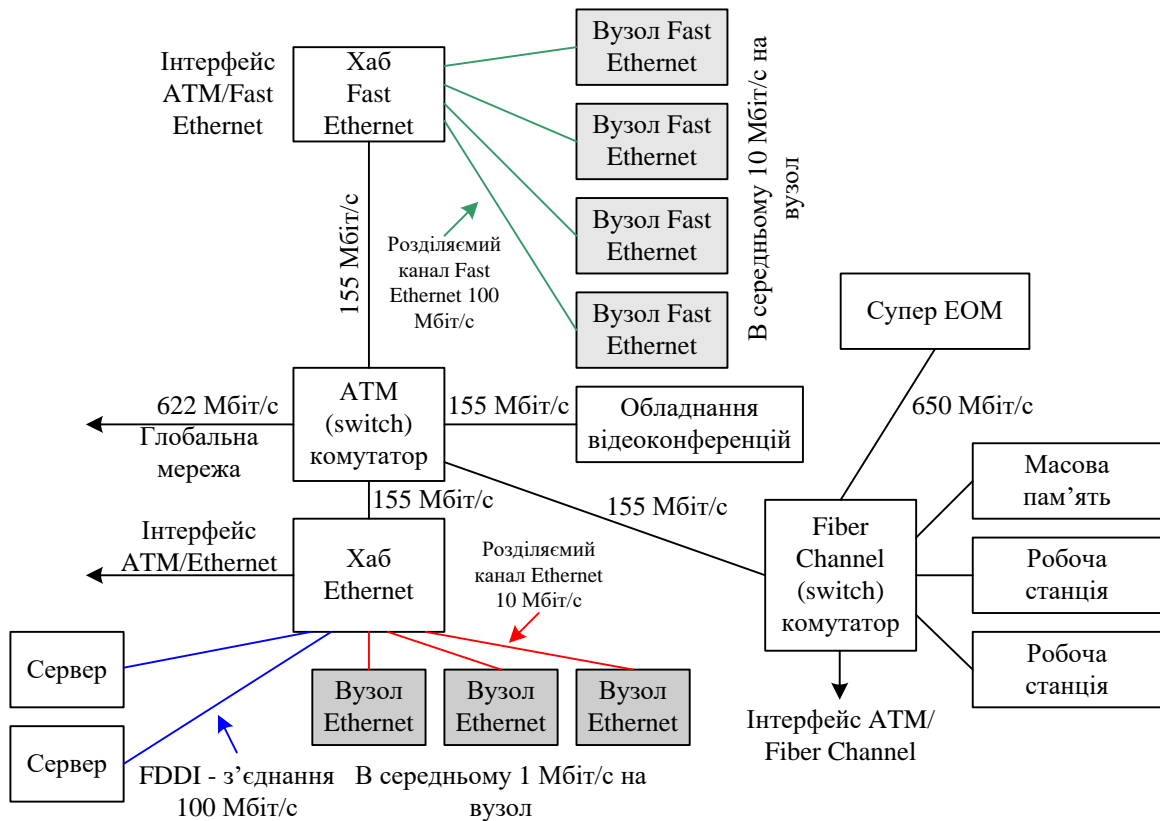


Рис. 2.25. Організація корпоративної мережі з використанням сучасних мережевих технологій.

Стандартом передбачено до 1024 вузлів в одному сегменті систем, які використовують одночасно формати Ethernet і Token Ring. Для таких мереж призначені спеціальні 100VG – AnyLAN мости TR – Ethernet. Але у випадку конфігурації 100VG – Ethernet сегмент Ethernet з звичайною швидкістю обміну (10 Мбіт/с) може бути приєднаний за допомогою звичайного перетворювача швидкості. У відповідності з рекомендаціями IEEE 802.1D між двома вузлами однієї мережі не може бути більше семи мостів.

2.5.3. Обладнання

В якості передаючого середовища для 10 Base – T Ethernet використовуються кабелі, які мають чотири неекрановані кручені пари. Одна пара служить для передачі даних, одна – для вирішення конфліктів, дві інші не використовуються. Передача даних по всім чотирьом парам дає вигреш вчетверо. Заміна стандартного “манчестерського” коду на більш ефективний 5B6B NRZ – дає вигреш ще майже вдвічі (за рахунок передачі двох бітів даних

за такт). Таким чином, при лише незначному підвищенні несучої частоти (біля 20 %), ефективність лінії зв'язку підвищується в десять разів. При роботі з екранованими кабелями, характерними для мереж TR, використовуються дві кручені пари, але при вдвічі більшій частоті (завдяки тому, що кабель екранований). При передачі по такому кабелю кожна пара використовується у якості фіксованого однонаправленого каналу. По одній парі передаються вхідні дані, по іншій парі – вихідні. Стандартне віддалення вузлів, на якому гарантуються параметри передачі – 100 м. для пар третьої та четвертої категорій і 200 м. для п'ятої [2].

Допускається використання оптоволоконних пар. Завдяки такому носію відстань покриття збільшується до 2-х кілометрів. Як і у випадку екранованого кабеля, використовується двонаправлене з'єднання.

Хаби 100VG можуть з'єднуватися каскадом, що забезпечує максимальну відстань між вузлами в одному сегменті на неекранованих кабелях до 2,5 км.

Хаби

Головним діючим обладнанням при побудові мережі 100VG – AnyLAN є хаб (або концентратор). Усі пристрої мережі, незалежно від їх призначення, приєднуються до хабів. Виділяють два типи з'єднань: для зв'язку “вгору” і “вниз”. Під зв'язком “вгору” розуміють з'єднання з хабом більш високого рівня. “Вниз” – це з'єднання з кінцевими вузлами і хабами більш низького рівня (по одному порту на кожний пристрій або хаб).

Щоб захистити дані від несанкціонованого доступу, реалізовано два режими роботи кожного порта: *конфіденційний* і *публічний*. У конфіденційному режимі кожен порт отримує повідомлення, адресовані виключно йому, в публічному – всі повідомлення. Публічний режим використовується для підключення мостів і маршрутизаторів, а також різного роду діагностичної апаратури [3].

Для підвищення ефективності системи, дані передаються тільки конкретному вузлу. Дані, що призначені для широкого мовлення, буферізуються до закінчення передачі, а потім розсилаються всім абонентам.

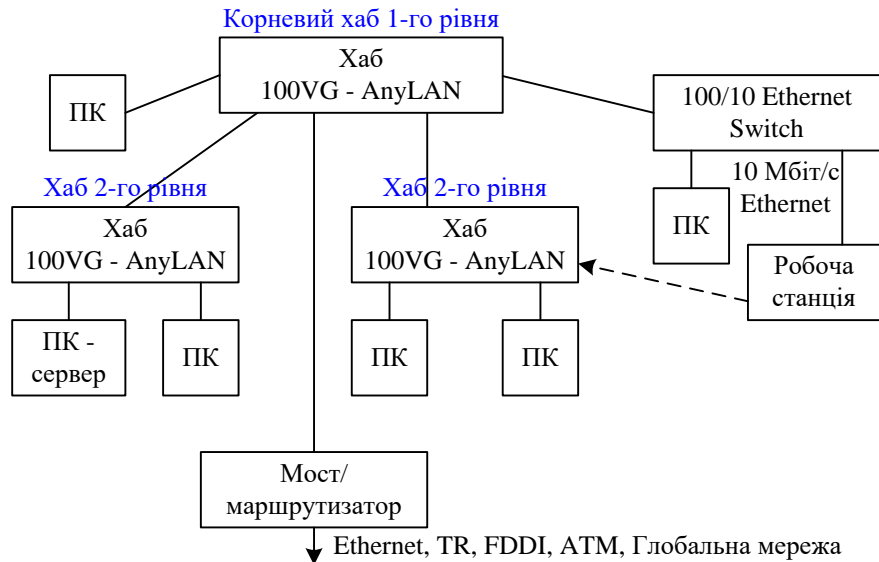


Рис. 2.26. Топологія мереж 100VG – AnyLAN.

2.5.4. 100VG – AnyLAN і модель OSI

У стандарті IEEE 802.12, 100VG – AnyLAN визначається на рівні передачі даних (2-й рівень семирівневої моделі OSI) і на фізичному рівні (1-й рівень OSI).

Рівень передачі даних розбитий на два підрівня: логічного контролю з'єднання (LLC – Local Link Control) і контролю доступу до середовища (MAC – Medium Access Control).

Рівень передачі даних

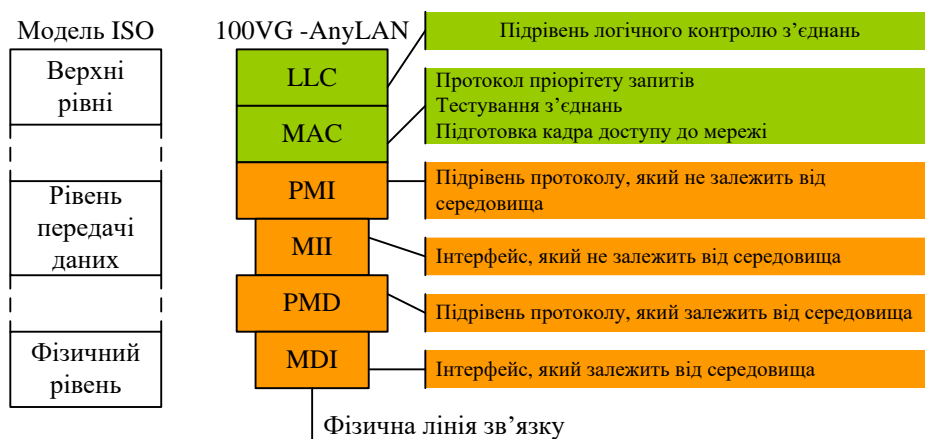


Рис. 2.27. Рівні протоколу 100VG – AnyLAN.

Стандартом OSI на рівень передачі даних покладається відповідальність за забезпечення надійної передачі даних між двома вузлами мережі. Отримуючи пакет для передачі від більш високого мережного рівня, рівень передачі даних приєднує до цього пакету адресу отримувача і відправника, формує з нього набір кадрів для передачі і забезпечує надлишковість, необхідну для виявлення і виправлення помилок. Рівень передачі даних забезпечує підтримку форматів кадрів Ethernet і TR.

Верхній підрівень – *логічного контролю з'єднань* – забезпечує режими передачі даних як з встановленням, так і без встановлення з'єднання.

Нижній підрівень – *контролю доступу до мережі* – при передачі забезпечує кінцеве формування кадру передачі у відповідності до протоколу, який реалізований в даному сегменті (IEEE 802.3 або 802.5). Підрівень виявляє відповідність адреси, виконує перевірку контрольної суми та виявляє помилки передачі.

Задачі цього підрівня у хабі і кінцевому вузлі дещо відрізняються.

Задачі у вузлі:

1. Приєднання специфічних атрибутів до даних у відповідності з середовищем перед передачею їх на фізичному рівні.
2. Перевірка отриманих кадрів для виявлення помилок передачі.
3. Ініціалізація контролю доступу до фізичного рівня передачі даних.
4. Обробка отриманих від фізичного рівня кадрів і відсіювання специфічних для передаючого середовища атрибутів.

У MAC – підрівня у хабі наступні функції:

1. Отримання запитів на передачу від кінцевих вузлів.
2. Інтерпритація адреси відправника.
3. Пересилка пакетів на відповідні порти для відправки.

Логічно MAC – підрівень можливо поділити на три основних компонента: протокол пріоритета запитів, система тестування з'єднань і система підготовки кадрів передачі.

Протокол пріоритетів запитів – Demand Priority Protocol (DPP) –

тракується стандартом 100VG – AnyLAN, як складова частина MAC – підрівня DPP виявляє порядок обробки запитів і встановлення з'єднань.

Коли кінцевий вузол готовий передати пакет, він відправляє хабу запит звичайного або високого пріоритету. Якщо вузлу нема чого передавати, він відправляє сигнал “вільний”. Якщо вузол не активний (наприклад, комп'ютер вимкнений), то він, вочевидь, нічого не посилає.

У випадку каскадного з'єднання хабів при запиті вузлом передачі у хаба нижнього рівня останній транслює запит “вгору”.

Хаб циклічно опитує порти, з'ясовуючи їх готовність до передачі. Якщо до передачі приготувалися одночасно декілька вузлів, хаб аналізує їх запити, зипраючись на два критерія – пріоритет запиту і фізичний номер порта, до якого приєднаний передаючий вузол [4].

Спочатку обробляються запити високого пріоритету. Такі пріоритети використовуються додатками, критичними до часу реакції, наприклад, повноформатними системами мультимедіа. Адміністратор мережі може асоціювати відокремлені порти з високими пріоритетами. Для того, щоб уникнути втрат ефективності праці, вводиться спеціальний механізм, який не допускає присвоєння високого пріоритету всім запитам, які виходять з одного вузла. Зроблені одночасно декілька запитів високого пріоритета обробляються у відповідності з фізичною адресою порта.

Після того, як оброблені всі високопріоритетні запити, обробляються запити нормального пріоритету, в порядку, який визначається фізичною адресою порта. Щоб забезпечити гарантований час відклику, нормальному запиту, який прочекав 200 – 300 мілісекунд, надається високий пріоритет [4].

При опитуванні порта, до якого підключений хаб нижнього рівня, ініціюється опитування його портів і тільки після того поновлюється опитування портів старшого хаба. Таким чином, всі кінцеві вузли опитуються послідовно, незалежно від рівня хаба, з яким вони з'єднані.

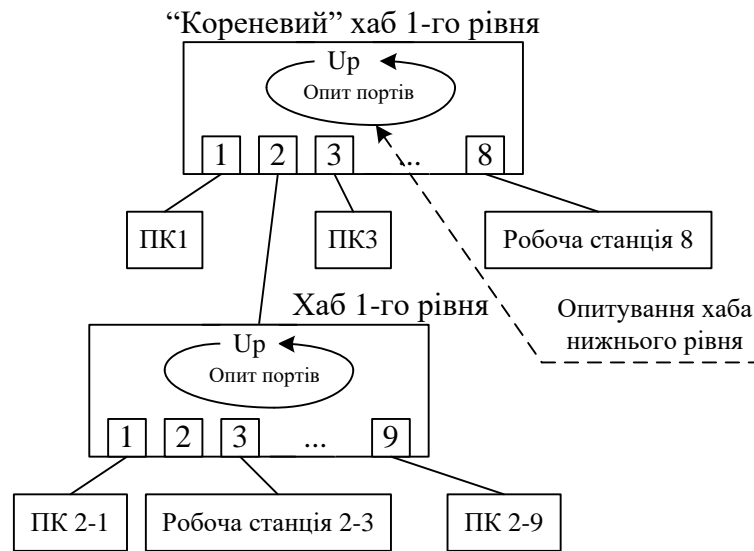


Рис. 2.28. Послідовність опитування портів в сегменті 100VG – AnyLAN

Система тестування з'єднань

При тестуванні з'єднань станція та її хаб обмінюються спеціальними тестовими пакетами. Одночасно всі інші хаби отримують повідомлення про те, що десь в мережі проходить тестування. Крім верифікації з'єднань можливо отримати інформацію про типи пристроїв, які підключені до мережі (хаби, мости, шлюзи і кінцеві вузли), режимах їх функціонування і адресах.

Тестування з'єднань проходить при кожній ініціалізації вузла і при кожному завищенні заданого рівня помилок передачі. Тестування з'єднань між хабами аналогічне тестуванню з'єднань кінцевого вузла.

Підготовка кадра передачі. До того, як передати дані на фізичний рівень, необхідно доповнити його службовими заголовком та закінченням, які включають в себе заповнення поля даних (якщо це необхідно), адрес абонентів і контрольні послідовності.

2.5.5. Кадр передачі 100VG – AnyLAN

Стандарт IEEE 802.12 підтримує три типи форматів кадрів передачі даних:

1. IEEE 802.3 (Ethernet).
2. IEEE 802.5 (TR).
3. Спеціальний формат кадрів тестування з'єднань IEEE 802.12 (AnyLAN).

Стандарт забороняє використання різних форматів кадрів в рамках одного сегмента мережі. Кожний сегмент може підтримувати тільки один логічний стандарт, а для побудови гетерогенних мереж предписується використання спеціальних мостів.

Порядок передачі даних для форматів Ethernet і TR однаковий (першим передається байт старшого розряду, останнім - молодшого). Розрізняють лише порядок бітів в байтах: в форматі Ethernet першими передаються молодші біти, а в TR – старші.

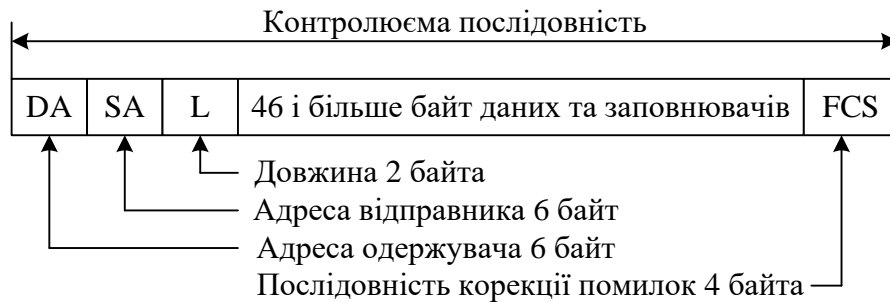


Рис. 2.29. Формат кадра IEEE 802.3 (Ethernet)

Кадр Ethernet (IEEE 802.3) повинен складатися з наступних полів:

- DA – адреса отримувача пакета (6 байт);
- SA – адреса відправника (6 байт);
- L – вказівник довжини даних (2 байта);
- дані користувача та заповнювачі;
- FCS – контрольна послідовність.

Довжина поля даних не може бути меншою 46 байт. Якщо дані не заповнюють цей простір, їм в кінець дописується спеціальний заповнювач. Блок даних не може бути більшим за 1500 байт.

Поле адреси крім 46 біт адреси несе в собі два біта керування, перший визначає групова ця адреса, чи індивідуальна, а інший задає її глобальність чи локальність. Якщо ця адреса відправника перемикач індивідуальний/груповий встановлюється в 0.

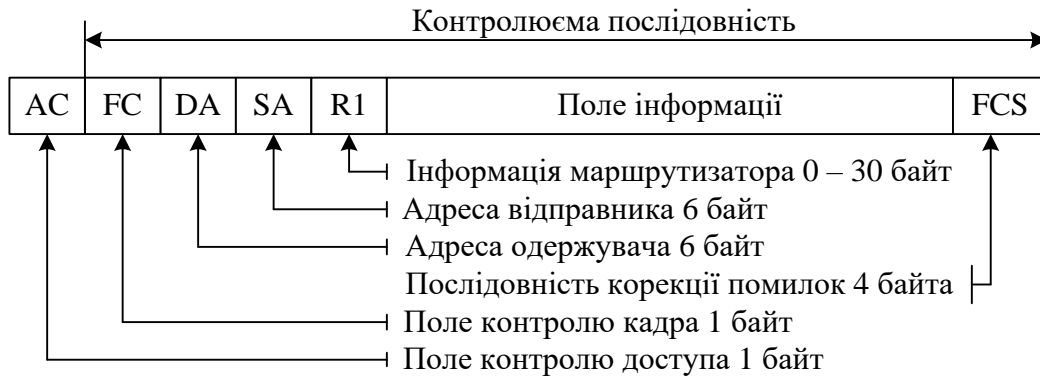


Рис. 2.30. Формат кадра IEEE 802.5 (TR)

Кадр TR має більше число полів. Деякі з них протоколом 100VG – AnyLAN не використовуються, а збережені лише для того, щоб забезпечити сумісність даних з сегментами 4 і 16 Мбіт/с (при обміні через відповідні мости).

- AC – поле контролю доступу (1 байт, не використовується);
- FC – поле контролю кадра (1 байт, не використовується);
- DA – адреса отримувача пакета (6 байт);
- SA – адреса відправника (6 байт);
- RI – інформаційне поле маршрутизатора (0 - 30 байт);
- поле інформації;
- FCS – контрольна послідовність (4 байта).

Формат адреси отримувача відповідний формату адреси, яка використовується в стандарті Ethernet, а в адресі відправника замість нульового вказівника на індивідуальність адреси, встановлюється біт, який визначає наявність інформаційного поля маршрутизатора.

Поле інформації вміщує дані для керування мережею і логічного контролю з'єднань і дані користувача, та може складатися з будь – якої кількості байт, при умові, що їх загальна кількість в цьому полі маршрутизатора не перевищує 4502 байта.

Кадр тестування з'єднань стандарту IEEE 802.12 нагадує звичайний кадр Ethernet, трохи модифікований у відповідності з задачею, яка поставлена перед ним.

Усі біти адреси завжди встановлені в 0 – дійсно конкретний отримувач відсутній. Обмін спеціальними пакетами відбувається між кінцевим вузлом і

його хабом, а через нього – з вищерозташованими хабами. Нульова адреса вказує на те, що пакет цей тестовий, не дає йому передаватися будь – якому вузлу.

У якості адреси відправника фігурує фізична адреса кінцевого вузла. Якщо тестування ініційовано хабом нижнього рівня, його адреса нульова.

Поле, що вказує на довжину пакета, в тестовому пакеті за непотрібністю замінюється на поле конфігурації, в якому використовуються перші чотири біти, які визначають параметри вузла чи хаба, що виступає ініціатором тестування. Перший біт визначає, чи є відправник кінцевим вузлом або хабом нижнього рівня, другий – публічний/конфіденційний режим, третій встановлюється, коли той, що запрошує є мостом. Четвертий визначає формат, який використовується мережею протокола – Ethernet/TR.

Поле даних тестового пакета складається з 596 нульових байт.

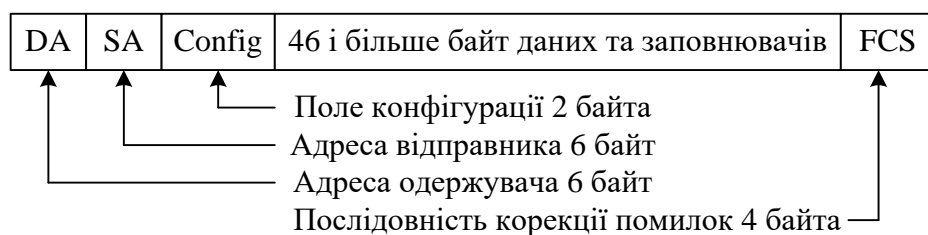


Рис. 2.31. Формат кадра тестування з'єднань IEEE 802.12 (AnyLAN)

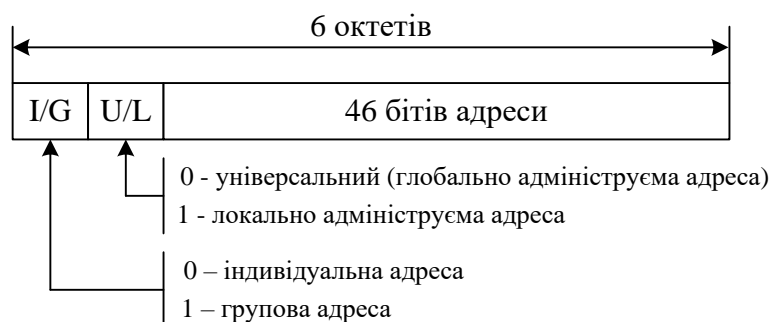


Рис. 2.32. Формат поля адреси IEEE 802.5 (TR) і IEEE 802.3 (Ethernet)



Рис. 2.33. Формат інформаційного поля кадра тестування з'єднань IEEE 802.12 (AnyLAN)

2.5.6. Фізичний рівень мереж 100VG – AnyLAN

В моделі ISO фізичний рівень визначає передачу бітів даних від одного вузла до іншого. Він описує роз'єми, кабелі, рівні сигналів, частоти та інші фізичні характеристики.

У стандарті 100VG – AnyLAN визначається два підрівня фізичного рівня: незалежний і залежний від фізичного середовища.

Підрівень протоколу, незалежний від передаючого середовища, зайнятий підготовкою даних, отриманих “згори” для відправки їх на рівень передаючого середовища. Окрім того, необхідно зробити дані придатними до відправки по декільком каналам одночасно.

При цьому кадр, отриманий “згори”, розбивається на кванти по п'ять бітів, потім біти в кожному кванті перемішуються скремблером, в кожному каналі по – різному, а потім 5 – бітові кванти перетворюються в 6 – бітові, так, щоб число нулів і одиниць в двох послідовних квантах кожного каналу було однаковим (5B6B - кодування). Потім кадри доповнюються заголовком і закінченням, та отправляються на залежний від середовища підрівень, який забезпечує взаємодію з середовищем.

Фізичний спосіб передачі

В якості електричного стандарту передачі даних використовують спосіб прямого двохрівневого кодування (NRZ - коду), де високий рівень сигналу відповідає логічній одиниці, а низький – нулю [3].

Використання кодування 5B6B визначає рівну кількість нулів та одиниць

в передаваних даних, дозволяє отримати достатню синхронізацію. Навіть наявність трьох бітів одного рівня підряд (а велика їх кількість заборонена кодом і інтерпретується як помилка), не встигає призвести до розсинхронізації передатчика з приймачем.

Таким чином, при надлишковості коду 20 % пропускна здатність каналу збільшується вдвічі. При тактовій частоті 30 МГц забезпечується передача 25 Мбіт/с вихідних даних по одній парі, сумарний об'єм передачі по чотирьом парам одного кабелю складає 100 Мбіт/с.

Керування передачею даних в мережах

Мережі, побудовані на неекранованій крученій парі використовують всі чотири пари кабелю і можуть функціонувати як в повнодуплексному (для передачі сигналів керування), так і в напівдуплексному режимі, коли всі чотири пари використовуються для передачі даних в одному напрямку.

В мережах на екранованій парі чи оптоволокну реалізовані два однонаправлених канали: один на прийом, інший на передачу. Прийом і передача даних може відбуватися одночасно.

Для визначення статусу з'єднань в мережах на неекранованій крученій парі використовуються два спеціальні тонові сигнали – низький тон, який складається з чергування 16 – ти нулів і 16 – ти одиниць (для тактової частоти 30 МГц після NRZ – перетворення частоти цього тону – 0,937 МГц) і високий, який складається з восьми нулів і восьми одиниць (1,875 МГц). Паруванням цих тонів передається режим роботи чи стан готовності вузлів і хабів.

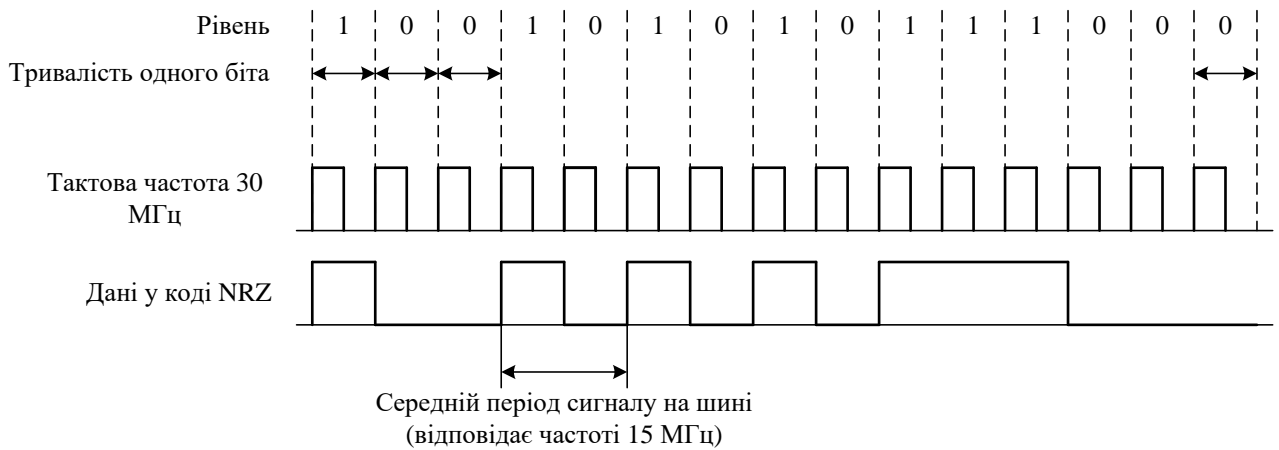


Рис. 2.34. NRZ – кодування сигналу.

Для передачі статус – сигналів використовується повнодуплексний режим роботи. Дві пари використовуються для отримання статус – сигнала, дві інші – для передачі. Наприклад, низький тон, що передається по двом вихідним лініям означає, що вузол чи хаб вільний, а обидва високі тона означають тестування з’єднань (табл. 2.7).

Процес передачі даних

Передача даних в мережах, побудованих на крученій парі, навіть після того, як кадр передачі підготовлений, каналізований і направлений на фізичний рівень, він повинен бути відправлений отримувачу. Цей процес можливо розбити на декілька стадій (рис. 2.35):

1. Отримавши сигнал “вільний” від свого хаба, вузол посилає йому сигнал нормального пріоритета. Натрапивши на цей сигнал під час циклічного сканування портів, хаб перестає передавати сигнал “вільний” цьому порту, звільнивши тим самим лінії зв’язку для використання при передачі.
2. Хаб сигналізує всім потенційним отримувачам пакета, що їм може бути переданий пакет. Потенціальні адресати припиняють передавати “вільний”, вивільняючи лінії зв’язку і надаючи хабу можливість передачі по усім чотирьом каналам. Одночасно з цим, відправник знайшовши

вільні лінії починає процес обробки повідомлення і підготовки його до відправки. Кадр розбивається на чотири канали, обробляється скремблером, кодується, супроводжується преамбулою і обмежувачами зпереду і ззаду, а потім передається на підрівень, який залежить від фізичного середовища.

3. Фізичний рівень відправляє пакет хабу.
4. Хаб отримує пакет і дешифрує адресу отримувача.
5. Пакет передається отримувачу. Одночасно хаб починає надсилати сигнал “вільний” всім вузлам, які не беруть участь в процесі передачі.

В мережах на оптоволоконні чи екранованій парі передача даних відбувається аналогічно. Невеликі відмінності пояснюються наявністю діючих в обидві сторони каналів. Вузол, наприклад, може отримувати пакет і одночасно відправляти запит на обслуговування.

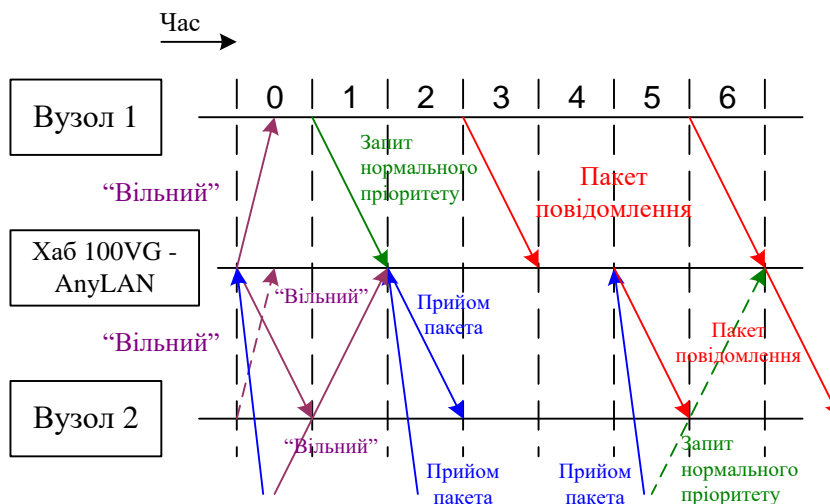


Рис. 2.35. Процес передачі повідомлення на неекранованій крученій парі.

Таблиця 2.7. Управляючі сигнали в мережах на неекранованій крученій парі

Тонові пари		При передачі кінцевим вузлом	При передачі кореневим вузлом	При передачі хабом 2-го рівня
Тон 1	Тон 1	“Вільний”	“Вільний”	“Вільний”
Тон 1	Тон 2	Запит нормального пріоритету	Передача пакету	Запит нормального пріоритету
Тон 2	Тон 1	Запит високого пріоритету	Опит хаба нижнього рівня	Запит високого пріоритету
Тон 2	Тон 2	Тестування з’єднань	Тестування з’єднань	Тестування з’єднань

Таблиця 2.8. Результати порівняння технології 100VG-AnyLAN з технологіями 100Base-T та FDDI [3]

Характеристика	100VG-AnyLAN	100Base-T	FDDI
Максимальний діаметр мережі, м	8000	412	200 км (100 км на кільце)
Каскадування концентраторів	3 рівня	2 рівня і менш	2 рівня
Максимальна довжина СКМ, м:			
UTP категорій 3,4	100	100	100
UTP категорії 5	200	100	100
STP типа 1	100	100	10000
Оптоволокно	2080	412	
Продуктивність, %, при довжині мережі, м:			
100	95	80	95
2500	80	Не підтримується	90
Підтримка кадрів:			
802.3	Так	Так	Ні
802.5	Так	Ні	так
Метод доступу	Demand Pnority	CSMA/CD +підрівень узгодження	Demand Pnority (Частка від часу оберту маркера)

Висновки

• У технології 100VG-AnyLAN арбітром, який вирішує питання про надання станціям доступу до поділюваного середовища, є концентратор, що підтримує метод Demand Priority — пріоритетні вимоги. Метод *Demand Priority* оперує з двома рівнями пріоритетів, що виставляються станціями, причому пріоритет станції, що довго не одержує обслуговування, підвищується динамічно.

• Концентратори VG можуть поєднуватися в ієрархію, причому порядок доступу до середовища не залежить від того, до концентратора якого рівня підключена станція, а залежить тільки від пріоритету кадру і часу подачі заявки на обслуговування.

• Технологія 100VG-AnyLAN підтримує кабель UTP категорії 3, причому для забезпечення швидкості 100 Мбіт/с передає дані одночасно по 4-м парах.

Існують також фізичні стандарти для кабелю UTP категорії 5, кабелю STP Type 1 і волоконно-оптичного кабелю.

Контрольні питання до розділу

1. Якою компанією і коли була створена технологія 100VG-AnyLAN?
2. Яку топологію має технологія 100VG-AnyLAN?
3. Середовище передачі і обладнання, яке використовується в технології 100VG-AnyLAN.
4. Особливості побудови рівня передачі даних моделі OSI технології 100VG-AnyLAN.
5. Який метод доступу використовується в технології 100VG-AnyLAN?
6. Що собою представляє система тестування з'єднань ?
7. Які типи форматів кадрів передачі даних підтримує технологія 100VG-AnyLAN?
8. Поясніть процес передачі даних технології 100VG-AnyLAN?
9. Скільки рівнів пріоритетів використовується в технології 100VG-AnyLAN ?
10. Які типи кодів використовуються в 100VG-AnyLAN?

Список рекомендованої літератури

1. *Олифер В. Г., Олифер Н. А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — [ISBN 978-5-49807-389-7](#).
2. *Новиков Ю. В., Кондратенко С. В.* Основы локальных сетей. Курс лекций. [Електронний ресурс] – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступу до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/57/57/info>.
3. *Щербинская Т.Н.* Технология локальных сетей 100 VG-AnyLAN. [Електронний ресурс]. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ". Режим доступу до матеріалу: <https://studfile.net/preview/932931/page:1/>
4. [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалу: https://wiki.cuspu.edu.ua/index.php/Fast_Ethernet_%D1%96_100VG_%E2%80%93_%E2%80%93_AnyLAN
5. *Жураковський Б.Ю.* [Системи доступу](#). Навчальний посібник. [Електронний ресурс] / Б. Ю. Жураковский, Н. В. Коршун // Київ, Державний університет телекомунікацій. – 2015. – 58 с.– Режим доступу до ресурсу: http://ir.nmapo.edu.ua:8080/jspui/bitstream/lib/277/1/1_841_81364872.pdf

2.6 Технологія FDDI

Технологія **FDDI (Fiber Distributed Data Interface)** — оптоволоконний інтерфейс розподілених даних — це перша технологія локальних мереж, в якій середовищем передачі даних є волоконно-оптичний кабель. Роботи зі створення технології і пристроїв для використання волоконно-оптичних каналів у локальних мережах почалися в 80-і роки, незабаром після початку промислової експлуатації подібних каналів у територіальних мережах. Проблемна група ХЗТ9.5 інституту ANSI розробила в період з 1986 по 1988 р. початкові версії стандарту FDDI, що забезпечує передачу кадрів зі швидкістю 100 Мбіт/с по подвійному волоконно-оптичному кільцю довжиною до 100 км [1].

2.6.1. Основні характеристики технології

Технологія FDDI багато в чому ґрунтується на технології Token Ring, розвиваючи й удосконалюючи її основні ідеї. Розробники технології FDDI ставили перед собою в якості найважливіших пріоритетів наступні цілі:

- підвищити бітову швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с;
- підвищити відмовостійкість мережі за рахунок стандартних процедур відновлення її після відмовлень різного роду — ушкодження кабелю, некоректної роботи вузла, концентратора, виникнення високого рівня перешкод на лінії і т.п.;
- максимально ефективно використовувати потенційну пропускну здатність мережі як для асинхронного, так і для синхронного (чуттєвого до затримок) трафіків [2].

Мережа FDDI будується на основі двох оптоволоконних кілець, що утворюють основний і резервний шляхи передачі даних між вузлами мережі. Наявність двох кілець — це основний спосіб підвищення відмовостійкості в мережі FDDI, і вузли, що хочуть скористатися цим підвищеним потенціалом надійності, повинні бути підключені до обох кілець.

У нормальному режимі роботи мережі дані проходять через всі вузли і всі ділянки кабелю тільки *первинного (Primary) кільця*, цей режим названий режимом *Thru* — "транзитним". *Вторинне кільце (Secondary)* в цьому режимі не використовується [2].



Рис. 2.36. Реконфігурація кільця FDDI при відмові

У випадку якого-небудь виду відмовлення, коли частина первинного кільця не може передавати дані (наприклад, обрив кабелю чи відмовлення вузла), первинне кільце поєднується з вторинним (рис. 2.36), знову утворити єдине кільце. Цей режим роботи мережі називається *Wrap*, тобто "згортання" кілець. Операція згортання здійснюється засобами концентраторів чи мережних адаптерів FDDI. Для спрощення цієї процедури дані по первинному кільцю завжди передаються в одному напрямку (на діаграмах цей напрямок зображується проти годинникової стрілки), а по вторинному — у зворотному (зображується по годинній стрілці). Тому при утворенні загального кільця з двох кілець передавачі станцій як і раніше залишаються підключеними до приймачів сусідніх станцій, що дозволяє правильно передавати і приймати інформацію сусідніми станціями.

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

Технологія FDDI доповнює механізми виявлення відмовлень технології Token Ring механізмами реконфігурації шляху передачі даних у мережі, заснованими на наявності резервних зв'язків, забезпечуваних другим кільцем.

Кільця в мережах FDDI розглядаються як загальне поділюване середовище передачі даних, тому для неї визначений спеціальний метод доступу. Цей метод дуже близький до методу доступу мереж Token Ring і також називається методом маркерного (чи токеного) кільця — token ring [3].

Відмінності методу доступу полягають в тому, що час утримання маркера в мережі FDDI не є постійною величиною, як у мережі Token Ring. Цей час залежить від завантаження кільця — при невеликому завантаженні воно збільшується, а при великих перевантаженнях може зменшуватися до нуля. Ці зміни в методі доступу стосуються тільки асинхронного трафіка, що є не критичним до невеликих затримок передачі кадрів. Для синхронного трафіка час утримання маркера як і раніше залишається фіксованою величиною. Механізм пріоритетів кадрів, аналогічний прийнятій у технології Token Ring, у технології FDDI відсутній. Розробники технології вирішили, що розподіл трафіка на 8 рівнів пріоритетів надлишковий і достатньо розділити трафік на два класи — асинхронний і синхронний, останній з яких обслуговується завжди, навіть при перевантаженні кільця.

В решті, пересилання кадрів між станціями кільця на рівні MAC повністю відповідає технології Token Ring. Станції FDDI вживають алгоритм раннього звільнення маркера, як і в мережі Token Ring зі швидкістю 16 Мбіт/с.

Адреси рівня MAC мають стандартний для технологій IEEE 802 формат. Формат кадру FDDI близький до формату кадру Token Ring, основні відмінності полягають у відсутності полів пріоритетів. Ознаки розпізнавання адреси, копіювання кадру і помилки дозволяють зберегти наявні в мережах Token Ring процедури обробки кадрів станцією-відправником, проміжними станціями і станцією-одержувачем.

На рис. 2.37 приведена відповідність структури протоколів технології FDDI семірівневій моделі OSI. FDDI визначає протокол фізичного рівня і протокол підрівня доступу до середовища (MAC) каналного рівня. Як і в

багатьох інших технологіях локальних мереж, у технології FDDI використовується протокол підрівня керування каналом даних LLC, визначений у стандарті IEEE 802.2. Таким чином, незважаючи на те що технологія FDDI була розроблена і стандартизована інститутом ANSI, а не комітетом IEEE, вона цілком вписується в структуру стандартів 802 [3].

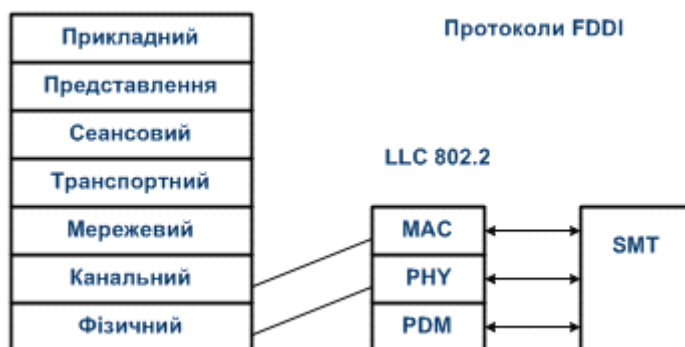


Рис. 2.37. Структура протоколів технології FDDI

Відмінною рисою технології FDDI є *рівень керування станцією* — *Station Management (SMT)*. Саме рівень SMT виконує всі функції по керуванню і моніторингу всіх інших рівнів стека протоколів FDDI. У керуванні кільцем бере участь кожен вузол мережі FDDI. Тому всі вузли обмінюються спеціальними кадрами SMT для керування мережею.

Відмовостійкість мереж FDDI забезпечується протоколами й іншими рівнями: за допомогою фізичного рівня усуваються відмовлення мережі по фізичних причинах, наприклад через обрив кабелю, а за допомогою рівня MAC — логічні відмовлення мережі, наприклад втрата потрібного внутрішнього шляху передачі маркера і кадрів даних між портами концентратора.

2.6.2. Особливості методу доступу FDDI

Для передачі синхронних кадрів станція завжди має право захопити маркер при його надходженні. При цьому час утримання маркера має заздалегідь задане фіксоване значення [2].

Якщо ж станції кільця FDDI потрібно передати асинхронний кадр (тип кадру визначається протоколами верхніх рівнів), то для з'ясування можливості

захоплення маркера при його черговій появі станція повинна вимірити інтервал часу, що пройшов з моменту попереднього приходу маркера. Цей інтервал називається *часом обороту маркера (Token Rotation Time, TRT)*. Інтервал TRT порівнюється з іншою величиною — *максимально припустимим часом обороту маркера по кільцю T_{Opr}* . Якщо в технології Token Ring максимально припустимий час обороту маркера є фіксованою величиною (2,6 с з розрахунку 260 станцій у кільці), то в технології FDDI станції домовляються про величину T_{Opr} під час ініціалізації кільця. Кожна станція може запропонувати своє значення T_{Opr} , у результаті для кільця встановлюється мінімальне значення часу з запропонованих станціями. Це дозволяє враховувати потреби додатків, що працюють на станціях. Звичайно синхронним додаткам (додаткам реального часу) потрібно частіше передавати дані в мережу невеликими порціями, а асинхронним додаткам краще одержувати доступ до мережі рідше, але великими порціями. Перевага віддається станціям, що передають синхронний трафік [4].

Таким чином, при черговому надходженні маркера для передачі асинхронного кадру порівнюється фактичний час обороту маркера TRT з максимально можливим T_{Opr} . Якщо кільце не перевантажене, то маркер приходить раніш, ніж минає інтервал T_{Opr} , тобто $TRT < T_{Opr}$. В цьому випадку станції дозволяється захопити маркер і передати свій кадр (чи кадри) у кільце. Час утримання маркера TRT дорівнює різниці $T_{Opr} - TRT$, і протягом цього часу станція передає в кільце стільки асинхронних кадрів, скільки встигає.

Якщо ж кільце перевантажено і маркер спізнився, то інтервал TRT буде більше T_{Opr} . В цьому випадку станція не має права захопити маркер для асинхронного кадру. Якщо всі станції в мережі хочуть передавати тільки асинхронні кадри, а маркер зробив оберт по кільцю занадто повільно, то всі станції пропускають маркер у режимі повторення, маркер швидко робить черговий оберт і на наступному циклі роботи станції вже мають право захопити маркер і передати свої кадри.

Метод доступу FDDI для асинхронного трафіка є адаптивним і добре регулює тимчасові перевантаження мережі.

Формат блока даних

PA	SD	FC	DA	SA	PDU	FCS	ED/FS
16 біт	8 біт	8 біт	48 біт	48 біт	up to 4478x8 біт	32 біт	16 біт

Рис.2.38. Формат фрейма FDDI

Формати блоку даних FDDI аналогічні форматам Token Ring.

Preamble (PA) - Тема готує кожну станцію для прийому прибуває блоку даних.

Start Delimiter (SD) - Обмежувач початку вказує на початок блоку даних. Він містить сигнальні структури, які відрізняють його від іншої частини блоку даних.

Frame control (FC) - Поле управління блоком даних вказує на розмір адресних полів, на вигляд даних, що містяться в блоці (синхронна або асинхронна інформація), і на іншу керуючу інформацію.

Destination address (DA), Source address (SA) - Також, як у Ethernet і Token Ring, розмір адрес дорівнює 6 байтам. Поле адреси призначення може містити односкладні (єдиний), багатоскладний (груповий) або ширококомвна (всі станції) адреса, в той час як адреса джерела ідентифікує тільки одну станцію, яка відправила блок даних.

Protocol data unit (PDU) - Інформаційне поле містить яку інформацію, призначену для протоколу вищого рівня, або керуючу інформацію.

Frame check sequence (FCS) - Також, як у Token Ring і Ethernet, поле перевірконої послідовності блоку даних (FCS) заповнюється величиною «перевірки надмірності циклу» (CRC), що залежить від змісту блоку даних, яку

обчислює станція-джерело. Станція пункту призначення перераховує цю величину, щоб визначити наявність можливого пошкодження блоку даних при транзиті. Якщо пошкодження є, то блок даних відкидається.

End delimiter (ED) - Обмежувач кінця містить неінформаційних символи, які означають кінець блоку даних.

Frame status (FS) - Поле стану блоку даних дозволяє станції джерела визначати, чи не з'явилася помилка, і чи був блок даних визнаний і скопійований приймаючою станцією [5].

2.6.3. Відмовостійкість технології FDDI

Для забезпечення відмовостійкості в стандарті FDDI передбачене створення двох оптоволоконних кілець — первинного і вторинного. У стандарті FDDI допускаються два види приєднання станцій до мережі. Одночасне підключення до первинного і вторинного кілець називається *подвійним підключенням - Dual Attachment, DA*. Підключення тільки до первинного кільця називається *одиначним підключенням — Single Attachment, SA* [6].

В стандарті FDDI передбачена наявність у мережі кінцевих вузлів — *станцій (Station)*, а також *концентраторів (Concentrator)*. Для станцій і концентраторів допустимих будь-як вид підключення до мережі — як одиначний, так і подвійний. Відповідно такі пристрої мають відповідні назви: *SAS (Single Attachment Station)*, *DAS (Dual Attachment Station)*, *SAC (Single Attachment Concentrator)* і *DAC (Dual Attachment Concentrator)*.

В більшості випадків, концентратори мають подвійне підключення, а станції — одинарне, хоча це і не обов'язково. Щоб пристрою легше було правильно приєднувати до мережі, їхні роз'єми маркуються. Роз'єми типу **A** і **B** повинні бути в пристроях з подвійним підключенням, роз'єм **M (Master)** призначений у концентратора для одиначного підключення станції, у якої відповідний роз'єм повинен мати тип **S (Slave)**.

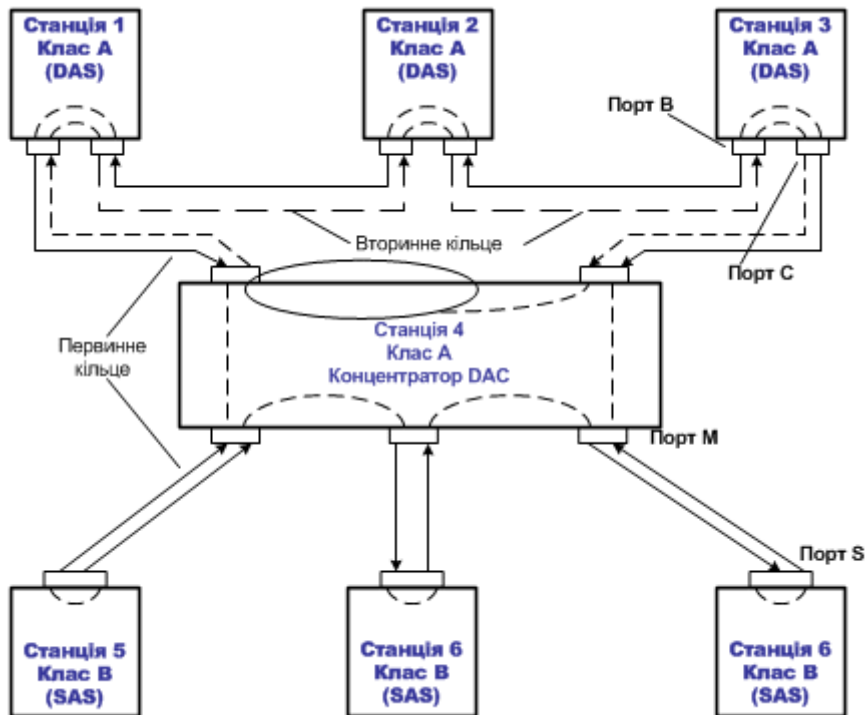


Рис.2.39. Підключення до кільця FDDI

У випадку одиночного обриву кабелю між пристроями з подвійним підключенням мережа FDDI зможе продовжити нормальну роботу за рахунок автоматичної реконфігурації внутрішніх шляхів передачі кадрів між портами концентратора (рис.2.40) . Подвійний обрив кабелю приведе до утворення двох ізольованих мереж FDDI. При обриві кабелю з'єднуючого станції з одиночним підключенням, вона стає відрізаною від мережі, а кільце продовжує працювати за рахунок реконфігурації внутрішнього шляху в концентраторів — порт М, до якого була підключена дана станція, буде виключений із загального шляху.

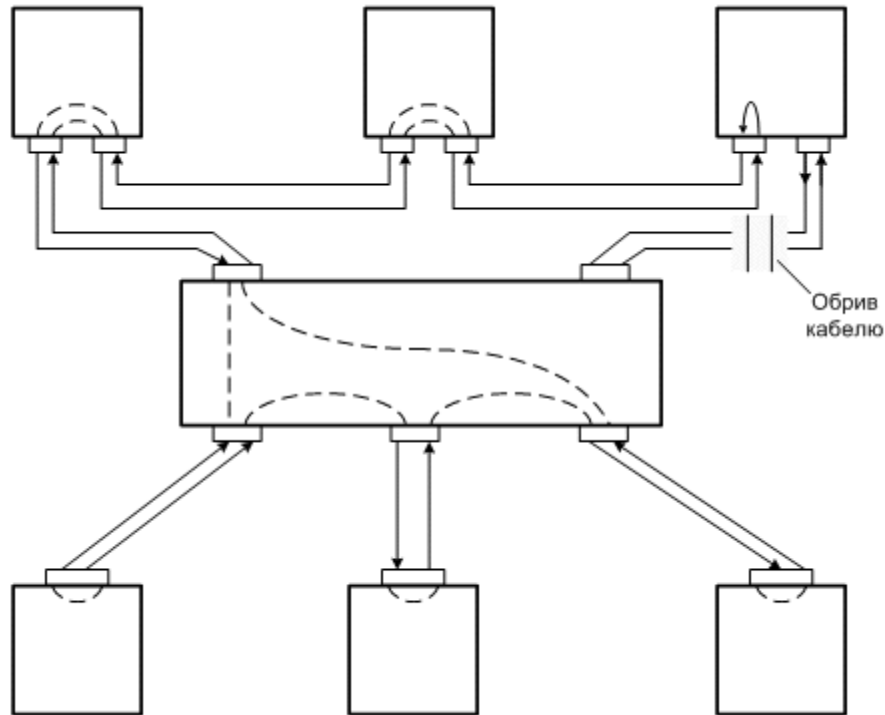


Рис. 2.30. Реконфігурація мережі FDDI при обриві кабелю

Для збереження працездатності мережі при відключенні живлення в станціях з подвійним підключенням, тобто станціях DAS, останні повинні бути оснащені *оптичними обхідними перемикачами (Optical Bypass Switch)*, що створюють обхідний шлях для світлових потоків при зникненні живлення, яке вони одержують від станції.

І нарешті, станції DAS чи концентратори DAC можна підключати до двох портів M одного чи двох концентраторів, створюючи деревоподібну структуру з основними і резервними зв'язками. За замовчуванням порт **B** підтримує основний зв'язок, а порт **A** — резервний. Така конфігурація називається *підключенням Dual Homing*.

Відмовостійкість підтримується за рахунок постійного спостереження рівня SMT концентраторів і станцій за тимчасовими інтервалами циркуляції маркера і кадрів, а також за наявністю фізичного з'єднання між сусідніми портами в мережі. У мережі FDDI немає виділеного активного монітора — усі станції і концентратори рівноправні, і при виявленні відхилень від норми вони починають процес повторної ініціалізації мережі, а потім і її реконфігурації.

Реконфігурація внутрішніх шляхів у концентраторах і мережних

адаптерах виконується спеціальними оптичними перемикачами, що перенаправляють світловий промінь і мають досить складну конструкцію.

2.6.4. Фізичний рівень технології FDDI

В технології FDDI для передачі світлових сигналів по оптичних волокнах реалізоване логічне кодування **4B/5B** в сполученні з фізичним кодуванням *NRZI*. Ця схема приводить до передачі по лінії зв'язку сигналів з тактовою частотою 125 МГц.

Тому що з 32 комбінацій 5-бітних символів для кодування вихідних 4-бітних символів потрібно тільки 16 комбінацій, тому з залишилися 16 обрано кілька кодів, що використовуються як службові. До найбільш важливих службових символів відноситься символ **Idle** — простий, що постійно передається між портами протягом пауз між передачею кадрів даних. За рахунок цього станції і концентратори мережі FDDI мають постійну інформацію про стан фізичних з'єднань своїх портів. У випадку відсутності потоку символів **Idle** фіксується відмовлення фізичного зв'язку і робить реконфігурацію внутрішнього шляху концентратора чи станції, якщо це можливо [3].

При первинному з'єднанні кабелем двох вузлів їхні порти спочатку виконують процедуру встановлення фізичного з'єднання. В такій процедурі використовуються послідовності службових символів коду 4B/5B, за допомогою яких створюється деяка мова команд фізичного рівня. Ці команди дозволяють портам з'ясувати друг у друга типи портів (A, B, M чи S) і вирішити, чи коректне дане з'єднання (наприклад, з'єднання S-S є некоректним і т.п.). Якщо з'єднання коректне, то далі виконується тест якості каналу при передачі символів кодів 4B/5B, а потім перевіряється працездатність рівня MAC з'єднаних пристроїв шляхом передачі декількох кадрів MAC. Якщо всі тести пройшли успішно, то фізичне з'єднання вважається встановленим. Роботу з встановлення фізичного з'єднання контролює протокол керування станцією SMT.

Фізичний рівень розділений на два підрівня: незалежний від середовища підрівень *PHY (Physical)* і залежний від середовища підрівень *PMD (Physical Media Dependent)*.

Технологія FDDI у даний час підтримує два підрівня PMD: для волоконно-оптичного кабелю і для неекранованої кручений пари категорії 5. Останній стандарт з'явився пізніше оптичного і зветься TP-PMD.

Оптоволоконний підрівень PMD забезпечує необхідні засоби для передачі даних від однієї станції до іншої по оптичному волокну. Його специфікація визначає [3]:

- використання в якості основного фізичного середовища багатомодового волоконно-оптичного кабелю 62,5/125 мкм;
- вимоги до потужності оптичних сигналів і максимального загасання між вузлами мережі. Для стандартного багатомодового кабелю ці вимоги приводять до граничної відстані між вузлами в 2 км, а для одномодового кабелю відстань збільшується до 10-40 км в залежності від якості кабелю;
- вимоги до *оптичних обхідних перемикачів (optical bypass switches)* і оптичних прийомопередавачів;
- параметри оптичних роз'ємів MISC (Media Interface Connector), їхнє маркірування;
- використання для передачі світла з довжиною хвилі в 1300 нм;
- представлення сигналів в оптичних волокнах відповідно до методу NRZI.

Підрівень TP-PMD визначає можливість передачі даних між станціями по кручений парі відповідно до методу фізичного кодування MLT-3, що використовує два рівні потенціалу: $+V$ і $-V$ для представлення даних у кабелі. Для одержання рівномірного по потужності спектра сигналу дані перед фізичним кодуванням проходять через скремблер. Максимальна відстань між вузлами у відповідності зі стандартом TP-PMD дорівнює 100 м.

Максимальна загальна довжина кільця FDDI складає 100 кілометрів, максимальне число станцій з подвійним підключенням у кільці — 500.

2.6.5. Порівняння FDDI с технологіями Ethernet і Token Ring

У табл. 2.9 представлені результати порівняння технології FDDI з технологіями Ethernet і Token Ring [7].

Таблиця 2.9. Характеристики технологій FDDI Ethernet, Token Ring

Характеристика	FDDI	Ethernet	Token Ring
Бітова швидкість	100 Мбіт/с	10 Мбіт/с	16 Мбіт/с
Топологія	Подвійне кільце дерев	Шина/зірка	Зірка/кільце
Метод доступу	Частка від часу оберту маркера	CSMA/CD	Пріоритетна система резервування
Середовище передачі даних	Оптоволокно, неекранована кручена пари категорії 5	Товстий коаксіал, тонкий коаксіал, кручена пара категорії 3	Екранована і неекранована кручена пара
Максимальна довжина мережі (без мостів)	200 км (100 км на кільце)	2500 м	4000м
Максимальна відстань між вузлами	2 км (не більше 11 дБ втрат між вузлами)	2500м	100м
Максимальна кількість вузлів	500 (1000 з'єднань)	1024	260 для екранованої кручений пари, 72 для неекранованої кручений пари
Тактування і відновлення після відмовлень	Розподілена реалізація тактування і відновлення після відмовлень	Не визначені	Активний монітор

Технологія FDDI розроблялася для застосування на відповідальних ділянках мереж — у магістральних з'єднаннях між великими мережами, наприклад мережами будинків, а також для підключення до мережі високопродуктивних серверів. Тому головним для розробників було забезпечити високу швидкість передачі даних, відмовостійкість на рівні протоколу і великі відстані між вузлами мережі. Всі ці характеристик були досягнуті. У результаті технологія FDDI вийшла якісною, але дуже дорогою. Навіть поява більш дешевого варіанта для крученої пари не набагато знизило вартість підключення одного вузла до мережі FDDI. Тому практика показала, що основною областю застосування технології FDDI стали магістралі мереж,

що складаються з декількох будинків, а також мережі масштабу великого міста, тобто класу MAN. Для підключення клієнтських комп'ютерів і навіть невеликих серверів технологія виявилася занадто дорогою. А оскільки устаткування FDDI випускається вже близько 10 років, значного зниження його вартості очікувати не приходиться.

У результаті фахівці з початку 90-х років стали шукати шлях створення порівняно недорогих і в той же час високошвидкісних технологій, які б так само успішно працювали на всіх поверхах корпоративної мережі, як це робили у 80-і роки технології Ethernet і Token Ring.

Висновки

- В технологія FDDI вперше стали використовувати волоконно-оптичний кабель у локальних мережах, а також роботу на швидкості 100 Мбіт/с.
- Існує значний взаємозв'язок між технологіями Token Ring і FDDI: для обох характерні кільцева топологія і маркерний метод доступу.
- Технологія FDDI є найбільше відмовостійкістю технологією локальних мереж. При однократних відмовленнях кабельної системи чи станції мережа, за рахунок "згорання" подвійного кільця в одинарне, залишається цілком працездатною.
- Маркерний метод доступу FDDI працює по-різному для синхронних і асинхронних кадрів (тип кадру визначає станція). Для передачі синхронного кадру станція завжди може захопити маркер, що прийшов, на фіксований час. Для передачі асинхронного кадру станція може захопити маркер тільки в тому випадку, коли маркер виконав оберт по кільцю досить швидко, що говорить про відсутність перевантажень кільця. Такий метод доступу, по-перше, віддає перевагу синхронним кадрам, а по-друге, регулює завантаження кільця, пригальмовуючи передачу нетермінових асинхронних кадрів.
- Як фізичне середовище технологія FDDI використовує волоконно-оптичні кабелі і UTP категорії 5 (цей варіант фізичного рівня називається TP-PMD).

• Максимальна кількість станцій подвійного підключення в кільці — 500, максимальний діаметр подвійного кільця — 100 км. Максимальні відстані між сусідніми вузлами для багатомодового кабелю на рівні 2 км, для кручений пари UPT категорії 5 — 100 м, а для одномодового оптичного волокна залежать від його якості.

Контрольні питання до розділу

1. Які цілі ставили перед собою розробники технології FDDI в якості найважливіших пріоритетів?
2. Яка топологія використовується в мережі FDDI?
3. Яким чином технологія FDDI доповнює механізми виявлення відмовлень технології Token Ring?
4. В чому полягає відмінність методу доступу технології FDDI від технології Token Ring?
5. Особливості фізичного рівня технології FDDI.
6. В чому полягають функції рівня керування станцією?
7. В чому полягає відмовостійкість технології FDDI?
8. Особливості підключення до середовища передачі первинного і вторинного кілець.
9. Які типи роз'ємів використовуються при підключенні до первинного та вторинного кілець?
10. Яким чином відбувається реконфігурація мережі FDDI при обриві кабелю?
11. В чому полягають відмінності залежного від середовища передачі підрівня PMD (Physical Media Dependent) технології FDDI для волоконно-оптичного кабелю і для неекранованої кручений пари категорії 5.
12. Зробіть порівняння технології FDDI с технологіями Ethernet і Token Ring.

Список рекомендованої літератури

1. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник для вищих навчальних закладів./ П.П.Воробієнко, Л.А.Нікітюк, П.І.Резніченко. – К.: САММІТ-КНИГА, 2010. -708 с.

2. *Олифер В. Г., Олифер Н. А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.:Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — ISBN 978-5-49807-389-7.
 3. *Новиков Ю. В., Кондратенко С. В.* Основы локальных сетей. Курс лекций. [Электронный ресурс] – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступа до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/57/57/info>.
 4. *Беркман Л.Н., Жураковський Б.Ю., Макаренко А.О.* Теорія передачі даних в інфокомунікаціях. [Навчальний посібник]. - К.: ДУТ, 2015.- 160 с. http://www.dut.edu.ua/uploads/p_1435_32907973.pdf
 5. *Жураковський Б.Ю.* Системи доступу. Навчальний посібник. [Електронний ресурс] / Б. Ю. Жураковський, Н. В. Коршун // Київ, Державний університет телекомунікацій. – 2015. – 58 с.– Режим доступу до ресурсу: http://ir.nmapo.edu.ua:8080/jspui/bitstream/lib/277/1/1_841_81364872.pdf
 6. Основы технологии FDDI // Citforum. [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалу: http://citforum.ru/nets/protocols2/2_08_02.shtml
-

2.7. Технологія Gigabit Ethernet

2.7.1. Загальні положення

Основні характеристики сучасного обладнання *Gigabit Ethernet*:

- наявність «далекобійних» оптичних інтерфейсів;
- повна сумісність з існуючими мережами *Ethernet*;
- масштабованість, забезпечення плавного розвитку мереж, створення транкових магістральних з'єднань;
- висока швидкість (вже вийшов стандарт *10 Gigabit Ethernet*);
- висока надійність мережі, що забезпечується резервними і транковими сполуками;
- простота і висока ефективність, в силу відсутності надмірності і складності, при передачі трафіку *Ethernet*;
- підтримка новітніх розробок в області забезпечення *QoS* таких як *DiffServ* і *MPLS*.

У березні 1996 року комітет *IEEE 802.3* схвалює проект стандартизації *Gigabit Ethernet 802.3z*. У травні 1996 року 11 компаній (*3Com Corp., Bay Networks Inc., Cisco Systems Inc., Compaq Computer Corp., Granite Systems Inc., Intel Corporation, LSI Logic, Packet Engines Inc., Sun Microsystems Computer Company, UB Networks i VLSI Technology*) організовують *Gigabit Ethernet Alliance*.

Альянс, об'єднуючи зусилля великого числа провідних виробників мережевого устаткування на шляху вироблення єдиного стандарту і випуску взаємосумісних продуктів *Gigabit Ethernet*, переслідує такі цілі:

- підтримка розширення технологій *Ethernet* і *Fast Ethernet* у відповідь на потребу в більш високій швидкості передачі;
- розробка технічних пропозицій з метою включення в стандарт;
- вироблення процедур і методів тестування продуктів від різних постачальників.

На початок 1998 року Альянс налічує вже понад 100 компаній. Через Альянс забезпечується зворотний зв'язок між технічним комітетом зі стандартизації *IEEE 802.3* і індустріальними виробниками мережевого

устаткування. Альянс збільшує ефективність роботи комітету і сприяє швидшому схваленню специфікацій стандартів Gigabit Ethernet IEEE 802.3z і IEEE 802.3ab. Найбільші труднощі викликає фізичний рівень, а саме адаптація многомодового волокна і кручений пари [1].

29 червня 1998 року, в затримкою приблизно на півроку від спочатку запланованого графіка, викликаної доопрацюванням стандарту по відношенню до використання багатомодового волокна (аномалія, що отримала назву DMD), приймається стандарт IEEE 802.3z (був схвалений в якості стандарту п'ятий драфт 802.3z / D5). Відповідні специфікації регламентують використання одномодового, многомодового волокна, а також кручений пари UTP cat.5 на короткі відстані (до 25 м).

Стандартизація системи передачі Gigabit Ethernet по неекранованій кручений парі на відстані до 100 м вимагала розробки спеціального завадостійкого коду, для чого створюється окремий підкомітет P802.3ab. 28 червня 1999 приймається відповідний стандарт (одноголосно схвалюється шостий драфт 802.3ab / D6).

2.7.2. Архітектура стандарту Gigabit Ethernet

На рисунку 2.41 показана структура рівнів Gigabit Ethernet. Як і в стандарті Fast Ethernet, в Gigabit Ethernet не існує універсальної схеми кодування сигналу, яка була б ідеальною для всіх фізичних інтерфейсів - так, з одного боку, для стандартів 1000Base-LX / SX / CX використовується кодування 8B / 10B, а з іншого боку, для стандарту 1000Base-T використовується спеціальний розширений лінійний код TX / T2. Функцію кодування виконує підрівень кодування PCS, розміщений нижче среданезавісімого інтерфейсу GMII.

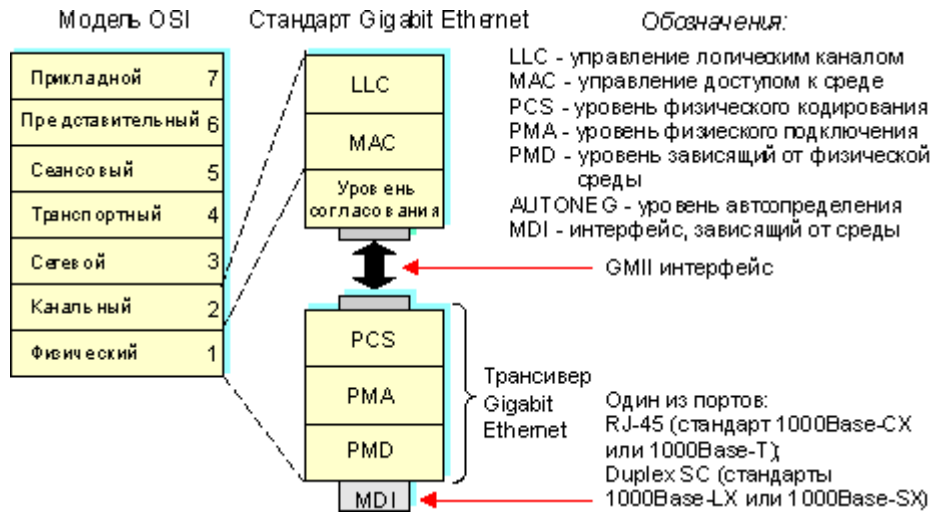


Рис. 2.41 - Структура уровней стандарта Gigabit Ethernet, ГМІ интерфейс і трансівер Gigabit Ethernet

ГМІ інтерфейс. Среднезалежный интерфейс ГМІ (gigabit media independent interface) забезпечує взаємодію між рівнем MAC і фізичним рівнем. ГМІ інтерфейс є розширенням інтерфейсу МІІ і може підтримувати швидкості 10, 100 і 1000 Мбіт / с. Він має окремі 8 бітні приймач і передавач, і може підтримувати як напівдуплексний, так і двобічний режими. Крім цього, ГМІ інтерфейс несе один сигнал, що забезпечує синхронізацію (clock signal), і два сигнали стану лінії - перший (в стані ON) вказує наявність несучої, а другий (в стані ON) говорить про відсутність колізій - і ще кілька інших сигнальних каналів і харчування. Трансиверний модуль, який охоплює фізичний рівень і забезпечує один з фізичних середозавісимих інтерфейсів, може підключати наприклад до комутатора Gigabit Ethernet за допомогою ГМІІ інтерфейсу.

Підрівень фізичного кодування PCS. При підключенні інтерфейсів групи 1000Base-X, підрівень PCS використовує блочне надлишкове кодування 8B10B, запозичене зі стандарту ANSI X3T11 Fibre Channel. Аналогічної розглянутому стандарту FDDI, тільки на основі більш складної кодової таблиці кожен 8 вхідних бітів, призначених для передачі на віддалений вузол, перетворюються в 10 бітні символи (code groups). Крім цього у вихідному послідовному потоці присутні спеціальні контрольні 10 бітні символи. Прикладом контрольних символів можуть служити символи, використовувані для розширення носія (доповнюють кадр Gigabit Ethernet до його мінімально розміру 512 байт). При

підключенні інтерфейсу 1000Base-T, підрівень PCS здійснює спеціальне завадостійке кодування, для забезпечення передачі по кручений парі UTP Cat.5 на відстань до 100 метрів -Лінійний код TX / T2, розроблений компанією Level One Communications [2].

Два сигналу стану лінії - сигнал наявність несучої і сигнал відсутність колізій - генеруються цим подуровнем.

Підрівні PMA і PMD. Фізичний рівень Gigabit Ethernet використовує кілька інтерфейсів, включаючи традиційну кручену пару категорії 5, а також многомодовое і одномодовое волокно. Підрівень PMA перетворює паралельний потік символів від PCS в послідовний потік, а також виконує зворотне перетворення (розпаралелювання) входить послідовного потоку від PMD. Підрівень PMD визначає оптичні / електричні характеристики фізичних сигналів для різних середовищ. Всього визначаються 4 різний типу фізичних інтерфейсу середовища, які відображені в специфікація стандарту 802.3z (1000Base-X) і 802.3ab (1000Base-T), (рис.2.42).

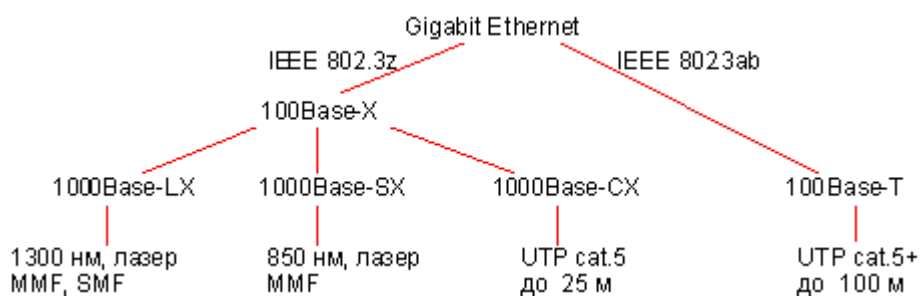


Рис. 2.42 - Фізичні інтерфейси стандарту Gigabit Ethernet

2.7.3. Інтерфейс 1000Base -X

Інтерфейс 1000Base-X ґрунтується на стандарті фізичного рівня *Fibre Channel*. *Fibre Channel* - це технологія взаємодії робочих станцій, суперкомп'ютерів, пристроїв зберігання і периферійних вузлів. *Fibre Channel* має 4-х рівневу архітектуру. Два нижніх рівні FC-0 (інтерфейси і середа) і FC-1 (кодування / декодування) перенесені в Gigabit Ethernet. Оскільки *Fibre Channel* є схваленої технологією, то таке перенесення сильно скоротило час на розробку оригінального стандарту Gigabit Ethernet.

Блоковий код *8B / 10B* аналогічний коду *4B / 5B*, прийнятому в стандарті *FDDI*. Однак код *4B / 5B* був відкинтий в *Fibre Channel*, тому що цей код не забезпечує балансу по постійному струму. Відсутність балансу потенційно може привести до залежного від переданих даних нагрівання лазерних діодів, оскільки передавач може передавати більше бітів "1" (випромінювання ϵ), ніж "0" (випромінювання немає), що може бути причиною додаткових помилок при високих швидкостях передачі.

1000Base-X поділяється на три фізичних інтерфейси, основні характеристики яких наведені нижче [3]:

- **Інтерфейс 1000Base-SX** визначає лазери з припустимою довжиною випромінювання в межах діапазону 770-860 нм, потужність випромінювання передавача в межах від -10 до 0 дБм, при відношенні ON / OFF (сигнал / немає сигналу) незгірш від 9 дБ. Чутливість приймача -17 дБм, насичення приймача 0 дБм;

- **Інтерфейс 1000Base-LX** визначає лазери з припустимою довжиною випромінювання в межах діапазону 1270-1355 нм, потужність випромінювання передавача в межах від -13,5 до -3 дБм, при відношенні ON / OFF (ϵ сигнал / немає сигналу) незгірш від 9 дБ. Чутливість приймача -19 дБм, насичення приймача -3 дБм;

- **1000Base-CX** екранована кручена пара (STP "twinaх") на короткі відстані.

При кодуванні *8B / 10B* бітова швидкість в оптичній лінії становить 1250 біт / с. Це означає, що смуга пропускання ділянки кабелю допустимої довжини повинна перевищувати 625 МГц. Через великі швидкості передачі Gigabit Ethernet, слід бути уважним при побудові протяжних сегментів. Безумовно перевага віддається одномодовому волокну. При цьому характеристики оптичних приймачів можуть бути значно вище. Наприклад компанія *NBase* випускає комутатори з портами Gigabit Ethernet, що забезпечують відстані до 40 км по одномодовому волокну без ретрансляції (використовуються узкоспектральніе DFB лазери, що працюють на довжині хвилі 1550 нм).

2.7.4. Інтерфейс 1000Base-T

1000Base-T - це стандартний інтерфейс Gigabit Ethernet передачі по неекранованій кручений парі категорії 5 і вище на відстані до 100 метрів. Для передачі використовуються всі чотири пари мідного кабелю, швидкість передачі по одній парі 250 Мбіт / с. Передбачається, що стандарт буде забезпечувати дуплексну передачу, причому дані по кожній парі будуть передаватися одночасно відразу в двох напрямках - подвійний дуплекс (dual duplex). 1000Base-T. Технічно реалізувати дуплексну передачу 1 Гбіт / с по кручений парі UTP cat.5 виявилось досить складно, значно складніше, ніж в стандарті 100Base-TX [5]. Вплив ближніх і дальніх перехідних перешкод від трьох сусідніх кручених пар на дану пару в чотирипарне кабелі вимагає розробки спеціальної ськрембліваний перешкодостійкою передачі, і інтелектуального вузла розпізнавання і відновлення сигналу на прийомі. Кілька методів кодування спочатку розглядалися як кандидати на затвердження в стандарті 1000Base-T, серед яких: 5-рівнева імпульсно-амплітудна кодування PAM-5; квадратурная амплітудна модуляція QAM-25, та ін. Нижче наведені коротко ідеї PAM-5, окончально затвердженого в якості стандарту [5].

Схема 4-х рівневого кодування PAM-4

Поширена чотирирівневої кодування обробляє вхідні біти парами. Всього існує 4 різні комбінації - 00, 01, 10, 11. Передавач може кожній парі біт встановити свій рівень напруги переданого сигнал, що зменшує в 2 рази частоту модуляції чотирирівневого сигналу, 125 МГц замість 250 МГц, (рис. 2.43), і отже частоту випромінювання. П'ятий рівень доданий для створення надмірності коду. В результаті чого стає можливою корекція помилок на прийомі [6]. Це дає додатковий резерв 6 дБ в співвідношенні сигнал / шум.

Таблиця 2.10. Технічні характеристики стандартів 1000Base-X

Стандарт	Тип кабелю	Смуга пропускання (не гірше), МГц*Км	Макс. відстань, м *
1000BASE-LX (лазерний діод 1300 нм)	Одномодове волокно (9 мкм)	-	5000 **
	Багатомодове волокно (50 мкм)	500	550
	Багатомодове волокно (62,5 мкм)	320	400
1000BASE-SX (лазерний діод 850 нм)	Багатомодове волокно (50 мкм)	400	500
	Багатомодове волокно (62,5 мкм)	200	275
	Багатомодове волокно (62,5 мкм)	160	220
1000BASE-CX	Екранована кручена пара STP (150 Ом)	-	25

* стандарти 1000BASE-SX і 1000BASE-LX припускають наявність дуплексного режиму

** Обладнання деяких виробників може забезпечувати більшу відстань, оптичні сегменти без проміжних ретрансляторів/підсилювачів можуть досягати 100 км.

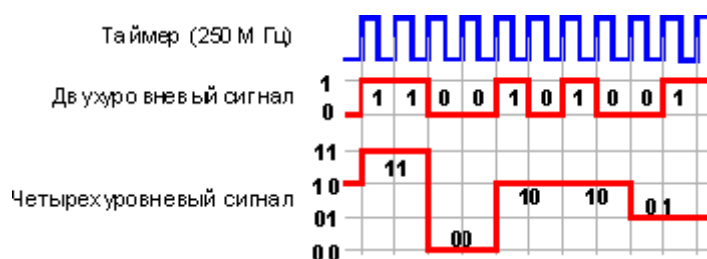


Рис. 2.43 - Схема 4-х рівневого кодування PAM-4

2.7.5. Рівень MAC

Рівень MAC стандарту Gigabit Ethernet використовує той же самий протокол передачі CSMA / CD що і його предки Ethernet і Fast Ethernet. Основні обмеження на максимальну довжину сегмента (або колізійного домену) визначаються цим протоколом.

У стандарті Ethernet IEEE 802.3 прийнятий мінімальний розмір кадру 64 байта. Саме значення мінімального розміру кадру визначає максимальне допустима відстань між станціями (діаметр колізійного домену). Час, якого станція передає такий кадр - час каналу - одно 512 ВТ або 51,2 мкс. Максимальна довжина мережі Ethernet визначається з умови вирішення колізій, а саме час, за який сигнал доходить до віддаленого вузла і повертається назад RDT не повинно перевищувати 512 ВТ (без урахування преамбули).

При переході від Ethernet до Fast Ethernet швидкість передачі зростає, а час трансляції кадру довжини 64 байта відповідно скорочується - воно дорівнює 512 ВТ або 5,12 мкс (в Fast Ethernet 1 ВТ = 0,01 мкс). Для того щоб можна було виявляти всі колізії до кінця передачі кадру, як і раніше необхідно задовольнити одну з умов [4]:

1. *зберегти колишню максимальну довжину сегмента, але збільшити час каналу (і отже збільшити мінімальну довжину кадру);*

2. *зберегти час каналу, (зберегти колишній розмір кадру), але зменшити максимальну довжину сегмента.*

В *Fast Ethernet* був залишений такий же мінімальний розмір кадру, як у Ethernet. Це зберегло сумісність, але привело до значного зменшення діаметра колізійного домену.

При переході до *Fast Ethernet* скористалися другим варіантом і скоротили діаметр сегмента.

В *Gigabit Ethernet* це було неприйнятно. Адже в цьому випадку стандарт, що успадковував такі складові *Fast Ethernet*, як мінімальний розмір кадру, *CSMA/CD* і час виявлення колізії (time slot), зможе працювати в колізійних доменах діаметром не більше 20 метрів. Тому було запропоновано збільшити час на передачу мінімального кадру.

З огляду на те, що для сумісності з попередніми *Ethernet* мінімальний розмір кадру був залишений колишнім - 64 байта, а до кадру додалося додаткове поле *carrier extension* (розширення носія), що доповнює кадр до 512 байт, але поле не додається у випадку, коли розмір кадру більше 512 байт. Таким чином, мінімальний розмір кадру вийшов рівним 512 байтам, час на

виявлення колізії зросло, і діаметр сегмента збільшився до тих же 200 метрів (у випадку *1000 BASE-T*)[4].

Символи в полі *carrier extension* не несуть значення, контрольна сума для них не обчислюється. При прийомі кадру це поле відкидається ще на рівні MAC, тому вище розташовані рівні продовжують працювати з мінімальними кадрами довжиною 64 байта.

Хоч розширення носія і дозволило зберегти сумісність із попередніми стандартами, воно призвело до невиправданої витрати смуги пропускання.

Втрати можуть досягати 448 байт (512-64) на кадр у випадку коротких кадрів.

Тому стандарт 1000BASE-T був модернізований - ввели поняття *Packet Bursting* (*пакетна перевантаженість*). Вона дозволяє набагато ефективніше використовувати поле розширення.

Працює це таким чином: якщо в адаптера або комутатора є кілька невеликих кадрів, що вимагають відправлення, то перший з них відправляється стандартно, з додаванням поля розширення до 512 байт. А всі наступні відправляються в оригінальному вигляді (без поля розширення), з мінімальним інтервалом між ними в 96 біт. Цей міжкадровий інтервал заповнюється символами розширення носія. Це відбувається доти, поки сумарний розмір кадрів, що відправляються, не досягне межі 1518 байт.

Таким чином, середовище не замовкає на всьому протязі передачі малих кадрів, тому колізія може виникнути тільки на першому етапі, при передачі першого правильного малого кадру з полем розширення носія (розміром 512 байт)[4].

Цей механізм дозволяє істотно підвищити продуктивність мережі, особливо при великих навантаженнях, за рахунок зменшення імовірності виникнення колізій.

Але і отут виникли підводні камені. Хоч розширення носія і дозволило зберегти сумісність із попередніми стандартами, воно призвело до невиправданої витрати смуги пропускання. Втрати можуть досягати 448 байт (512-64) на кадр у випадку коротких кадрів. Тому стандарт 1000BASE-T був

модернізований - ввели поняття Packet Bursting (пакетна перевантаженість). Вона дозволяє набагато ефективніше використовувати поле розширення. А працює це в таким чином: якщо в адаптера або комутатора є кілька невеликих кадрів, що вимагають відправлення, то перший з них відправляється стандартно, з додаванням поля розширення до 512 байт. А всі наступні відправляються в оригінальному виді (без поля розширення), з мінімальним інтервалом між ними в 96 біт. І, що саме головне, цей міжкадровий інтервал заповнюється символами розширення носія. Це відбувається доти, поки сумарний розмір кадрів, що відправляються, не досягне межі 1518 байт. Таким чином, середовище не замовкає на всьому протязі передачі малих кадрів, тому колізія може виникнути тільки на першому етапі, при передачі першого правильного малого кадру з полем розширення носія (розміром 512 байт). Цей механізм дозволяє істотно підвищити продуктивність мережі, особливо при великих навантаженнях, за рахунок зменшення імовірності виникнення колізій.

Але й цього виявилось мало. Спочатку Gigabit Ethernet підтримував тільки стандартні розміри кадрів Ethernet - від мінімального 64 (доповнюються до 512) до максимального 1518 байт. З них 18 байт займає стандартний службовий заголовок, а для даних залишається від 46 до 1500 байт відповідно. Але навіть пакет даних розміром 1500 байт занадто малий у випадку гігабітної мережі. Особливо для серверів, що передають великі обсяги даних. Давайте трохи порахуємо. Для передачі файлу розміром 1 гігабайт по незавантаженій Fast Ethernet мережі, сервер обробляє 8200 пакетів/сек і витрачає на це мінімум 11 секунд. В цьому випадку тільки на обробку переривань у комп'ютера потужністю 200 MIPS піде близько 10 відсотків часу. Адже центральний процесор повинен обробити (порахувати контрольну суму, передати дані на згадку) кожний пакет, що прийшов [6].

У гігабітних мережах ситуація ще складніша - навантаження на процесор зростає приблизно на порядок через скорочення тимчасового проміжку між кадрами і відповідно запитами на переривання до процесора.

Таблиця 2.11. *Характеристики передачі для різних швидкостей технології Ethernet*

Швидкість	10 Мбіт/сек		100 Мбіт/сек		1000 Мбіт/сек	
Розмір кадру	64 байта	1518 байт	64 байта	1518 байт	64 байта	1518 байт
Кадри/сек	14.8К	812	148К	8,1К	1,48М	81К
Швидкість передачі даних, Мбіт/сек	5,5	9,8	55	98	550	980
Проміжок між кадрами, мкс	67	1200	6,7	120	0,7	12

Навіть у найкращих умовах (використання кадрів максимального розміру) кадри відстоять один від одного на часовий інтервал, що не перевищує 12 мкс.

У випадку використання кадрів меншого розміру цей часовий інтервал тільки зменшується [4].

В гігабітних мережах вузьким місцем, як не дивно, став саме етап обробки кадрів процесором, тому на зорі становлення *Gigabit Ethernet* фактичні швидкості передачі були далекі від теоретичного максимуму - процесори просто не справлялися з навантаженням.

Очевидним виходом з такої ситуації є наступне:

- збільшення тимчасового проміжку між кадрами;
- перекладання частини навантаження обробки кадрів із центрального процесора на сам мережний адаптер.

У цей час реалізовані обидва методи. В 1999 році було запропоновано збільшити розмір пакета. Такі пакети одержали назву гіга-кадри (*Jumbo Frames*), і їх розмір міг бути від 1518 до 9018 байт (зараз обладнання від деяких виробників підтримує і більші розміри гіга-кадрів). *Jumbo Frames* дозволили зменшити навантаження на центральний процесор до 6 разів (пропорційно своєму розміру) і, таким чином, значно підвищити продуктивність. Наприклад, максимальний пакет *Jumbo Frame* в 9018 байт, крім 18-байтового заголовку, містить 9000 байт під дані, що відповідає шести стандартним максимальним кадрам Ethernet. Виграш у продуктивності досягається не через рятування від

декількох службових заголовків (трафік від їх передачі не перевищує декількох відсотків загальної пропускну здатності), а за рахунок зменшення часу на обробку такого кадру. Точніше, час на обробку кадру залишився колишнім, але замість декількох невеликих кадрів, кожний з яких зажадав би для себе N тактів процесора і одне переривання, ми обробляємо тільки один, великий кадр.

2.7.6. Специфікації фізичного середовища стандарту 802.3z

У стандарті 802.3z визначені наступні типи фізичного середовища:

- одномодовий волоконно-оптичний кабель;
- багатомодовий волоконно-оптичний кабель 62,5/125;
- багатомодовий волоконно-оптичний кабель 50/125;
- подвійний коаксіал з хвильовим опором 75 Ом

Для передачі даних по традиційному для комп'ютерних мереж багатомодовому волоконно-оптичному кабелю стандарт визначає застосування випромінювачів, що працюють на двох довжинах хвиль: 1300 і 850 нм

Застосування світлодіодів з довжиною хвилі 850 нм пояснюється тим, що вони набагато дешевші, ніж світлодіоди, які працюють на хвилі 1300 нм, хоча при цьому максимальна довжина кабелю зменшується, тому що загасання багатомодового оптоволокна на хвилі 850 м більш ніж у два рази вище, ніж на хвилі 1300 нм

Для багатомодового оптоволокна стандарт 802.3z визначив специфікації *1000Base-SX* і *1000Base-LX* [7].

У першому випадку використовується довжина хвилі 850 нм (*S* означає *Short Wavelength*, коротка хвиля), а в другому — 1300 нм (*L* — від *Long Wavelength*, довга хвиля)

Для специфікації *1000Base-SX* гранична довжина оптоволоконого сегмента для кабелю 62,5/125 залишається 220 м, а для кабелю 50/125 — 500 м

Для специфікації *1000Base-LX* як джерело випромінювання завжди застосовується напівпровідниковий лазер з довжиною хвилі 1300 нм

Основна область застосування стандарту *1000Base-LX* — це одномодове

оптоволокну. Максимальна довжина кабелю для одномодового волокна дорівнює 5 000 м

Специфікація *1000Base-LX* може працювати і на багатомодовому кабелі. У цьому випадку гранична відстань виходить невеликою — 550 м. Це зв'язано з особливостями поширення когерентного світла в широкому каналі багатомодового кабелю. Для приєднання лазерного трансівера до багатомодового кабелю необхідно використовувати спеціальний адаптер.

Як середовище передачі даних використовується високоякісний твінаксіальний кабель (*Twinax*) із хвильовим опором 150 Ом (2x75 Ом). Дані посилаються одночасно по парі провідників, кожний з яких оточений екрануючою опліткою. При цьому виходить режим напівдуплексної передачі. Для забезпечення повнодуплексної передачі необхідні ще дві пари коаксіальних провідників. Максимальна довжина твінаксіального сегмента складає всього 25 метрів, тому це рішення підходить для устаткування, розташованого в одній кімнаті.

2.7.7. 10 Gigabit Ethernet

Новий стандарт 10 Гігабіт Ethernet містить у собі сім стандартів фізичного середовища для LAN, MAN і WAN. У цей час він описується виправленням IEEE 802.3a і повинен ввійти у наступну ревізію стандарту IEEE 802.3 [7].

- **10GBASE-CX4** - Технологія 10 Гігабіт Ethernet для коротких відстаней (до 15 метрів), використовується мідний кабель CX4 і коннектори InfiniBand.

- **10GBASE-SR** - Технологія 10 Гігабіт Ethernet для коротких відстаней (до 26 або 82 метрів, залежно від типу кабелю), використовується багатомодове оптоволокну. Він також підтримує відстані до 300 метрів з використанням нового багатомодового птоволокну (2000 МГц/км).

- **10GBASE-LX4** - використовує ущільнення по довжині хвилі для підтримки відстаней від 240 до 300 метрів по багатомодовому

оптоволокну. Також підтримує відстані до 10 кілометрів при використанні одномодового оптоволокну.

- **10GBASE-LR i 10 GBASE-ER** - ці стандарти підтримують відстані до 10 і 40 кілометрів відповідно.

- **10GBASE-SW, 10 GBASE-LW i 10 GBASE-EW** - Ці стандарти використовують фізичний інтерфейс, сумісний по швидкості і формату даних з інтерфейсом OC-192 / STM-64 SONET/SDH. Вони подібні до стандартів 10GBASE-SR, 10GBASE-LR і 10 GBASE-ER відповідно, бо використовують ті ж самі типи кабелів і відстані передачі.

- **10GBASE-T, IEEE 802.3 an-2006** - прийнятий у червні 2006 року після 4 років розробки. Використовує екрановану кручену пару. Відстані - до 100 метрів.

2.7.8. Сімейство 40GBASE-R

Технології *40 i 100 Gigabit Ethernet* на даний момент є найбільш високошвидкісними технологіями комп'ютерних мереж. Остаточні версії специфікацій цих технологій були затверджені до 2012 року і стали частиною стандарту IEEE 802.3-2012.

- *40 Gigabit Ethernet* - загальний термін, що описує специфікації Ethernet для передачі даних на швидкості до 40 Гбіт / с.
- *100 Gigabit Ethernet* - загальний термін, що описує специфікації Ethernet для передачі даних на швидкості до 100 Гбіт / с.

У технологіях *40 i 100 Gigabit Ethernet* залишилися колишніми формат кадру, а також його мінімальний і максимальний розмір. Також як і технологія *10GE*, ці технології на MAC-підрівні підтримують роботу тільки в повнодуплексному режимі. Максимальна довжина сегмента становить 40 000 м при використанні одномодового волоконно-оптичного кабелю.

Одним з основних застосувань *технології 40 Гбіт / с* є організація ядра високошвидкісних мереж центрів обробки даних, яким потрібна велика смуга пропускання, а також створення магістральних каналів. *Технологію 100 Гбіт / с*

можна використовувати в ядрі мереж операторів зв'язку або мереж Metro Ethernet.

У сімейство *40GBASE-R* зараз входить п'ять специфікацій:

1. **40GBASE-KR4:** призначений для об'єднаних плат (*Backplane*) модульних комутаторів / маршрутизаторів. Виконується чотирьохпотокова передача і кодування *64B / 66B*. Сигнальна швидкість кожного потоку 10,3125 Гбод. Максимальна відстань передачі по мідному кабелю - 1 м. Підтримується автоузгодження.
2. **40GBASE-CR4:** використовується твінаксіальний кабель; максимальна довжина сегмента - 7 м. Виконується чотирьохпотокова передача і кодування *64B / 66B*. Сигнальна швидкість кожного потоку 10,3125 Гбод. Підтримується автоузгодження.
3. **40GBASE-SR4:** використовуються чотири волокна багатомодового волоконно-оптичного кабелю 50/125 мкм класу OM3 або OM4; довжина хвилі 850 нм. Виконується чотирьохпотокова передача і кодування *64B / 66B*. Сигнальна швидкість кожного потоку 10,3125 Гбод. Довжина сегмента - до 100 м при використанні кабелю класу OM3 і до 150 м при використанні кабелю класу OM4.
4. **40GBASE-FR:** використовується одномодовий волоконно-оптичний кабель; передача ведеться на довжині хвилі 1550 нм, прийом може виконуватися на довжинах хвиль 1310 нм і 1550 нм. Виконується однопотокова передача і кодування *64B / 66B*. Сигнальна швидкість 41,25 Гбод. Максимальна довжина сегмента - 2 000 м.
5. **40GBASE-LR4:** використовується одномодовий волоконно-оптичний кабель. Виконується чотирьохпотокова передача і кодування *64B / 66B*. Сигнальна швидкість кожного потоку 10,3125 Гбод. Для передачі і прийому використовуються 4 довжини хвилі: тисячі двісті сімдесят один нм, тисяча двісті дев'яносто одна нм, 1311 нм, 1331 нм. Кожна довжина хвилі передає один з чотирьох потоків даних. Потоки об'єднуються мультиплексором *WDM* на передавальній стороні перед подачею в

волоконно-оптичний кабель і демультіплексуються на приймальній стороні. Максимальна довжина сегмента - 10 000 м.

2.7.9. 100-Gigabit Ethernet (100-GE)

У квітні 2007 року, після зборів комітету IEEE 802.3 в Оттаві, дослідницькою групою *Higher Speed Study Group (HSSG)* була прийнята думка про технічні підходи у формуванні оптичних і мідних каналів 100-GE. На даний час остаточно сформована робоча група 802.3ba по розробці специфікації 100-GE.

Як і в попередніх розробках, стандарт 100-GE буде враховувати не тільки економічні і технічні можливості його здійснення, але і їх зворотну сумісність із наявними системами. На даний час потреба в таких швидкостях безумовно підтверджена провідними компаніями. Постійно зростаючі обсяги персоналізованого контенту, у тому числі при доставці відео з порталів типу *YouTube* і інших ресурсів, що застосовують технології IPTV і HDTV. Потрібно згадати також відео на вимогу. Все це визначає потребу в 100 Gigabit Ethernet операторів і сервісів-провайдерів.

У сімейство **100GBASE-R** зараз входить чотири специфікації:

1. **100GBASE-CR10**: використовується твінаксіальний кабель; максимальна довжина сегмента - 7 м. Виконується десятипотокова передача і кодування *64B / 66B*. Сигнальна швидкість кожного потоку 10,3125 Гбод. Підтримується автоузгодження.
2. **100GBASE-SR10**: використовуються десять волокон багатомодового волоконно-оптичного кабелю 50/125 мкм класу OM3 або OM4; довжина хвилі 850 нм. Виконується десятипотокова передача і кодування *64B / 66B*. Сигнальна швидкість кожного потоку 10,3125 Гбод. Довжина сегмента - до 100 м при використанні кабелю класу OM3 і до 150 м при використанні кабелю класу OM4.
3. **100GBASE-LR4**: використовується одномодовий волоконно-оптичний кабель. Виконується чотирьохпотокова передача і кодування *64B / 66B*. Сигнальна швидкість кожного потоку 25,7812 Гбод. Для передачі потоків

використовується технологія *WDM*. Передача і прийом ведуться на довжинах хвиль 1295,56 нм, 1300,05 нм, 1304,58 нм, 1309,14 нм. Максимальна довжина сегмента - 10 000 м.

4. **100GBASE- ER4:** використовується одномодовий волоконно-оптичний кабель. Виконується чотирьохпотокова передача і кодування *64B / 66B*. Сигнальна швидкість кожного потоку 25,7812 Гбод. Для передачі потоків використовується технологія *WDM*. Передача і прийом ведуться на довжинах хвиль 1295,56 нм, 1300,05 нм, 1304,58 нм, 1309,14 нм. Максимальна довжина сегмента - 40 000 м.

Gigabit Ethernet може повноцінно забезпечити роботу таких додатків, як потокове відео, відеоконференції, передача складних зображень що пред'являють підвищені вимоги до пропускної здатності каналу. Переваги підвищення швидкостей передачі в корпоративних і домашніх мережах стають все більш необхідними, з падінням вартості на обладнання такого класу.

Зараз одержав максимальну популярність стандарт IEEE. Прийнятий у червні 1998 року, він був затверджений як IEEE 802.3z. Але спочатку як середовище передачі використовувався тільки оптичний кабель. Із твердженням протягом наступного року доповнення стандарту 802.3ab середовищем передачі стала неекранована кручена пара п'ятої категорії.

Gigabit Ethernet є прямим нащадком *Ethernet* і *Fast Ethernet*, що добре зарекомендували себе за майже двадцятилітню історію, зберігши їх надійність і перспективність використання. Поряд з передбаченою зворотною сумісністю з попередніми рішеннями (кабельна структура залишається незмінною) він забезпечує теоретичну пропускну здатність в 1000 Мбіт/сек, що приблизно дорівнює 120 Мб у секунду. Варто відзначити, що такі можливості практично рівні швидкості 32-бітної шини PCI 33 МГц. Саме тому гігабітні адаптери випускаються як для 32-бітної PCI (33 і 66 МГц), так і для 64-бітної шини. Поряд з таким збільшенням швидкості *Gigabit Ethernet* успадкував всі попередні особливості *Ethernet*, такі як формат кадрів, технологію CSMA/CD (чутливий до передачі множинний доступ з виявленням колізій), повний

дуплекс і т.ін. Хоча високі швидкості внесли і свої нововведення, але саме в спадкуванні старих стандартів складається величезна перевага і популярність Gigabit Ethernet. Звичайно, зараз запропоновані і інші рішення, такі як ATM і Fibre Channel, але тут одразу губиться головна перевага для кінцевого споживача. Перехід на іншу технологію веде за собою масову переробку і переобладнання мереж підприємства, тоді як Gigabit Ethernet дозволить плавно нарощувати швидкість і не змінювати кабельне господарство. Такий підхід і дозволив Ethernet-технології зайняти домінуюче місце в області мережних технологій і завоювати більше 80 відсотків світового ринку передачі інформації.

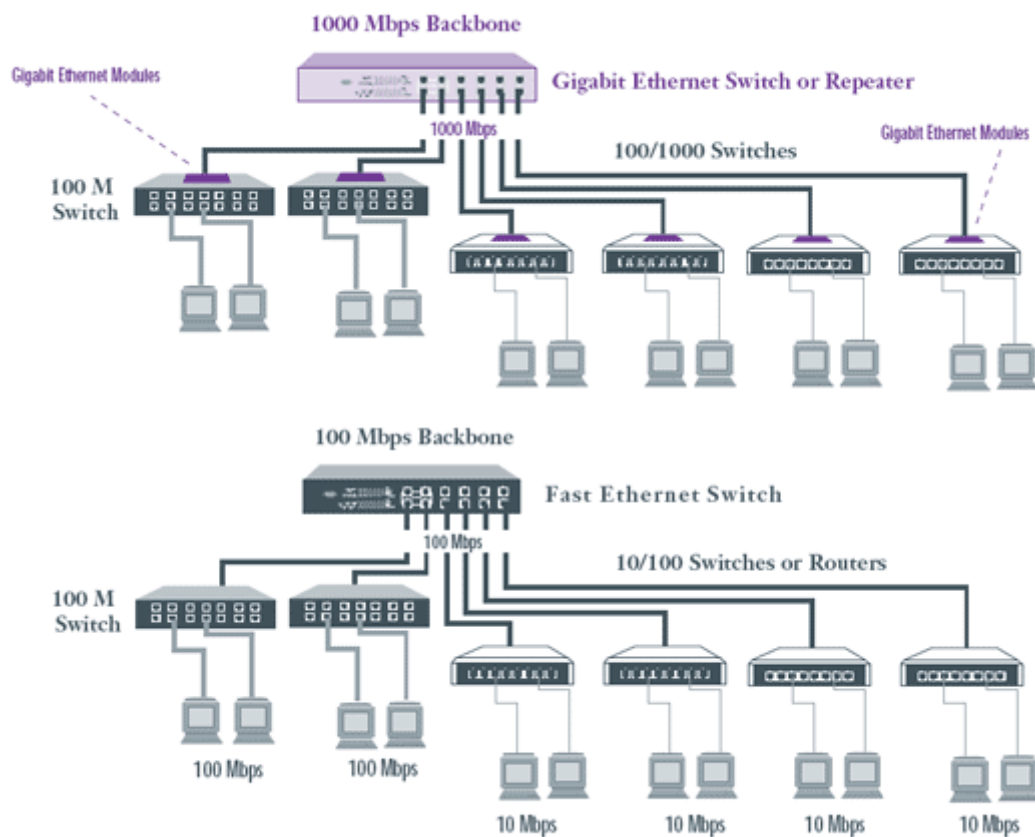


Рис. 2.44. Структура побудови мережі Ethernet із плавним переходом на більше високі швидкості передачі даних

2.7.10. Використання технології Ethernet для побудови мультисервісних мереж

До недавнього часу технологія Ethernet розглядалася тільки як транспортна технологія для передачі даних в локальних обчислювальних мережах. Однак, стрімке зростання швидкості від 10 Мбіт / с до 10 Гбіт / с при невисокій вартості одиниці переданої інформації, відносна простота дизайну і обслуговування, забезпечують неминучий стійкий інтерес до технології Ethernet. У тому числі і з боку операторів зв'язку і провайдерів послуг Інтернет.

Однак, поява концепції мультисервісних послуг на базі протоколу IP, що має на увазі інтеграцію даних, телефонії і, можливо, трафіку відео, пред'явило більш серйозні вимоги до мережі по надійності і забезпечення QoS, ніж вимоги, які існували раніше. Крім передачі звичайного трафіку даних, некритичного до затримок і кількості втрачених пакетів, технології Ethernet треба було вирішити задачу передачі інтегрованого трафіку.

Першим кроком «на вірному шляху» стала поява стандарту IEEE 802.1Q / р, що описує розподілені віртуальні мережі (*tag switching VLAN*) і визначає механізм пріоритетності трафіку на каналному рівні. Незважаючи на те, що стандарт був спрямований на зміну ситуації в секторі ЛВС і корпоративних мережах, обладнання, що підтримує 802.1Q / р, вже тоді дозволило «операторам-першопроходців» створювати групи VLAN і забезпечувати прийнятну якість обслуговування шляхом присвоєння пріоритетів віртуальних мереж (відповідно з вісьмома класами) [5].

Однак, поява мереж з маршрутизацією і пріоритезацією між VLAN не могло повністю задовольнити вимоги, що пред'являються до мережі оператора. Щоб впоратися з потенційними проблемами передачі телефонної розмови по пакетній мережі, необхідно було забезпечити якість послуг «від краю до краю» та ще більшу гнучкість в управлінні пропускнуою здатністю.

Якість обслуговування (Quality of Service, QoS)

Під якістю обслуговування (*Quality of Service, QoS*) в загальному випадку прийнято розуміти надання користувачам і додаткам в мережі передбачуваного

сервісу по доставці даних. Конкретне ж визначення і параметри якості обслуговування головним чином визначаються типом програми. Так, наприклад, для передачі голосового трафіку, найважливішими параметрами QoS є затримка і варіація затримки на певному інтервалі часу, в той час як втрата деякої частини пакетів допустима. Параметри якості обслуговування можна розбити на три групи:

- параметри пропускнуої здатності (мінімальна, середня і максимальна швидкість передачі)
- параметри затримок передачі пакетів (середні та максимальні величини затримок і варіацій затримок)
- параметри надійності передачі (рівень втрат і спотворень пакетів)

Вимірювання зазначених параметрів проводиться на певному інтервалі часу. Чим менше цей часовий інтервал, тим жорсткіші вимоги пред'являються до мережі, а отже до всіх її елементів, оскільки забезпечення QoS «від краю до краю» вимагає взаємодії всіх вузлів на шляху трафіку і визначається надійністю, функціональністю і продуктивністю самого «слабкої ланки». Наприклад, очевидно, що неможливо гарантувати забезпечення пріоритетного обробки VLAN в розподіленій комутованій мережі Ethernet, якщо за маршрутом поширення даних встановлено хоча б один концентратор (hub Ethernet).

Між клієнтом, споживачем послуг транспортної мережі, і провайдером даних послуг може бути укладено «угоду про рівень обслуговування» (Service Level Agreement, SLA), в якому визначаються:

- плата за обслуговування в залежності від обраного рівня обслуговування;
- параметри QoS для даного рівня (максимальна затримка і варіації, пропускна здатність, максимальний час відновлення мережі після аварій і т. Д.)
- методи вимірювань вищевказаних параметрів;
- штрафні санкції за не забезпечення необхідного QoS;
- будь-які інші додаткові статті за обоюдною згодою.

Для надання різним користувачам індивідуальної якості обслуговування потрібно реалізовувати в мережі різні механізми управління QoS. Для IP-мереж

це, наприклад, RSVP і DiffServ, що підтримують, відповідно, якість обслуговування для мікро-потоків додатків і агрегованих потоків.

Технологія DiffServ в мережах Ethernet

Основна ідея технології *DiffServ (Differential Services)* полягає в поділі трафіку в мережі на кілька великих класів, для кожного з яких буде забезпечуватися певний QoS в рамках деякої області, званої доменом DiffServ. На кордонах домену відбувається кондиціонування трафіку, тобто його класифікація, що передбачає аналіз вхідних пакетів, зіставлення отриманої інформації з таблицею потоків, а також маркування пакетів спеціальним кодовим словом *DSCP (DiffServ Code Point)*. Дані функції виконує так званий порт доступу в домен (port-access).

Далі обробка трафіку на проміжних вузлах, прийняття рішення про направлення пакету в ту чи іншу чергу здійснюється виключно за кодовим словом DSCP, розташованому в заголовку пакета IP (поле TOS). Обробка класифікованого трафіку всередині домену здійснюється зі швидкістю комутації - досить вважати 6 біт кодового слова і відправити пакет в відповідну чергу, після чого вступає в дію алгоритм «зваженого справедливого обслуговування», рис. 2.45

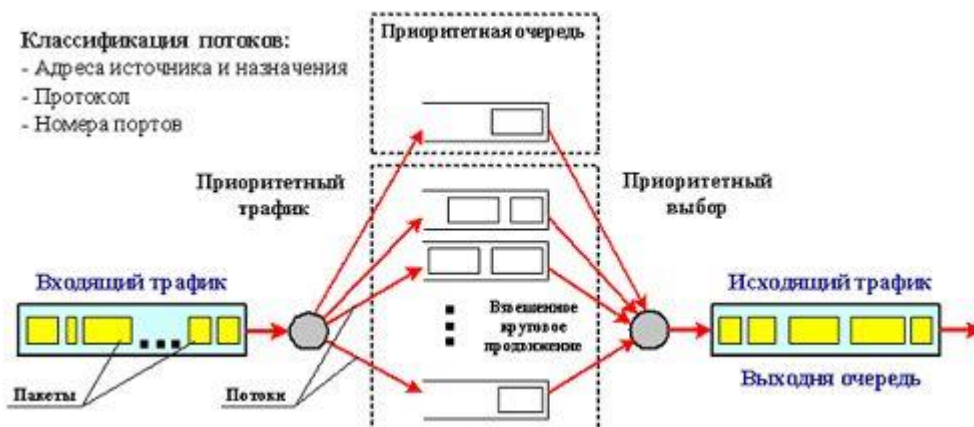


Рис. 2.45. Механізм зваженого справедливого обслуговування

Можуть бути різні реалізації даного алгоритму в обладнанні різних виробників. Наприклад, в маршрутизаторах Cisco компанії *Cisco Systems* для

класифікації використовується два молодших біта з трьохрозрядного підполя IP Precedence поля TOS. За замовчуванням, класу 0 виділяється 10% смуги пропускання, класу 1, 2 і 3 - 20%, 30% і 40% відповідно. Для черг, заснованих на класах QoS, пакети, які не призначені ні в одну групу, належать групі 0 і автоматично мають 1% від загальної пропускну здатності на всю групу. Загальна вага інших груп не може перевищувати 99%, а якщо після призначення всіх ваг залишається вільна смуга пропускання в каналі, вона автоматично відводиться під групу 0.

Інший приклад реалізації - комутатори *OptiSwitch* компанії *Optical Access*, які пропонують адміністратору при налаштуванні параметрів QoS вибрати один з режимів роботи з 4-ма чергами:

- зважене круговий обслуговування (*Weighted Round Robin, WRR*)
- змішане обслуговування 1/3
- змішане обслуговування 2/2
- обслуговування з прямим пріоритетом (*Strict Priority, SP*)

У першому випадку, кожної черги призначаються вагові коефіцієнти, що задаються в кількості пакетів або байтів (за замовчуванням 1, 2, 3 і 4), відповідно до яких відбувається просування пакетів з черг. Так, за замовчуванням, з високопріоритетних черзі в вихідний буфер перенаправлятиметься чотири пакети, а з фонові - один. У разі використання механізму прямого пріоритету (пункт 4) буде діяти досить грубе, але ефективне правило - черги з більш низьким пріоритетом не потребує обслуговування, якщо є хоча б один необроблений пакет в високопріоритетних черзі. Цей механізм аналогічний механізму, реалізованого в стандарті 802.1Q / р. У другому і третьому випадку має місце змішане обслуговування, коли частина черг працює по WRR-алгоритму, а частина - по SP.

Іншим важливим засобом забезпечення QoS в технології DiffServ є механізм формування трафіку. Даний механізм призначений для згладжування пульсацій «вибухового» трафіку, зменшення нерівномірності просування пакетів. В апаратній реалізації стандарту DiffServ використовується механізм, що працює за алгоритмом «*token bucket*» або «*маркерне відро*», рис. 2.46.



Рис. 2.46. Алгоритм "token bucket"

Сутність алгоритму «token bucket» полягає в наступному. Максимальна середня швидкість відправки потоку пакетів з керуючого вузла залежить від швидкості прибуття в нього дозволів на передачу N одиниць даних. Черговий пакет може бути відправлений тільки при отриманні числа дозволів, достатнього для передачі даних, обсяг яких більше або дорівнює розміру пакета. Якщо пакет надійде в керуючий пристрій, котра не володіє необхідною кількістю дозволів, він буде відкинутий також як і пакет, що надійшов в переповнений буфер-формував.

Контрольні питання до розділу

1. Які основні характеристики сучасного обладнання *Gigabit Ethernet*?
2. В архітектурі стандарту Gigabit Ethernet GMII інтерфейс:
 - a. перетворює паралельний потік символів від PCS в послідовний потік;
 - b. визначає оптичні/електричні характеристики фізичних сигналів для різних середовищ;
 - c. використовує блокове надлишкове кодування 8B10B;
 - d. виконує зворотнє перетворення вхідного послідовного потоку від PMD;
 - e. забезпечує взаємодію між рівнем MAC і фізичним рівнем.
3. В архітектурі стандарту Gigabit Ethernet підрівень фізичного кодування PCS:
 - a. формує сигнал відсутність колізій;
 - b. визначає оптичні/електричні характеристики фізичних сигналів

- для різних середовищ;
 - c. використовує блокове надлишкове кодування 8B10B;
 - d. виконує зворотнє перетворення вхідного послідовного потоку від PMD;
 - e. забезпечує взаємодію між рівнем MAC і фізичним рівнем.
4. В архітектурі стандарту Gigabit Ethernet підрівень PMA:
- a. перетворює паралельний потік символів від PCS в послідовний потік;
 - b. визначає оптичні/електричні характеристики фізичних сигналів для різних середовищ;
 - c. використовує блокове надлишкове кодування 8B10B;
 - d. виконує зворотнє перетворення вхідного послідовного потоку від PMD;
 - e. забезпечує взаємодію між рівнем MAC і фізичним рівнем.
5. В архітектурі стандарту Gigabit Ethernet підрівень PMD:
- a. перетворює паралельний потік символів від PCS в послідовний потік;
 - b. визначає оптичні/електричні характеристики фізичних сигналів для різних середовищ;
 - c. використовує блокове надлишкове кодування 8B10B;
 - d. виконує зворотнє перетворення вхідного послідовного потоку від PMD;
 - e. забезпечує взаємодію між рівнем MAC і фізичним рівнем.
6. Особливості інтерфейсу 1000Base-T.
7. Особливості інтерфейсу 1000Base-SX.
8. Особливості інтерфейсу 1000Base-LX.
9. Gigabit Ethernet має наступні типи фізичних інтерфейсів середовища:
- a. 1000Base-FX;
 - b. 1000Base-LX;
 - c. 1000Base-TX;
 - d. 1000Base-T4;
 - e. 1000Base-CX;
 - f. 100Base-FX;
 - g. 1000Base-SX.
10. Який метод доступу використовується в мережах Gigabit Ethernet?
11. Яка топологія мережі Gigabit Ethernet ?
12. Архітектура стандарту Gigabit Ethernet.
13. Які основні технічні характеристики стандартів 1000Base-X?
14. Що таке *пакетна перевантаженість* і для чого вона застосовується в Gigabit Ethernet ?

15. Специфікації фізичного середовища стандарту 802.3z.
16. Стандарти фізичного середовища *10 Gigabit Ethernet*.
17. Специфікації сімейства *40GBASE-R*.
18. Специфікації сімейства *100GBASE-R*.
19. Використання технології Ethernet для побудови мультисервісних мереж.
20. Якість обслуговування (*Quality of Service, QoS*).
21. Яке середовище передачі використовується для технології 1000Base-T:
 - a. коаксіальний кабель;
 - b. симетричний кабель;
 - c. неекранована кручена пара (UTP);
 - d. екранована кручена пара (STP);
 - e. UTP та STP.

Список рекомендованої літератури

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — [ISBN 978-5-49807-389-7](#).
2. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник для вищих навчальних закладів./ П.П.Воробієнко, Л.А.Нікітюк, П.І.Резніченко. – К.: САММІТ-КНИГА, 2010 - 708 с.
3. Берлин А. Абонентские сети доступа и технологии высокоскоростных сетей Курс лекций. [Електронний ресурс]. – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2010. Режим доступа до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/986/212/info>
4. Новиков Ю. В., Кондратенко С. В. Основы локальных сетей. Курс лекций. [Електронний ресурс]. – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступа до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/57/57/info>.
5. Филимонов А.. Построение мультисервисных сетей Ethernet. – М.: BHV, 2007. [ISBN 978-5-9775-0007-4](#). - 592 с.
6. Компьютерные сети. 4-е изд./ И. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
7. [Електронний ресурс]. Режим доступа до матеріалу: <http://kunegin.com/ref1/gigabit ethernet/>.

Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

3.1. Технологія цифрової абонентської лінії (xDSL)

3.1.1. Загальні принципи

Телефонна лінія з її елементами обмежує швидкість передачі, тому потрібно канал, що дозволяє обхід телефонних ланцюгів і в той же час, використовує фізичну абонентську лінію.

Тому була зроблена розробка досить недорогий високошвидкісний цифровий технології передачі даних по простому телефонному кабелю (включаючи виту пару), *DSL (Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія)* [1].

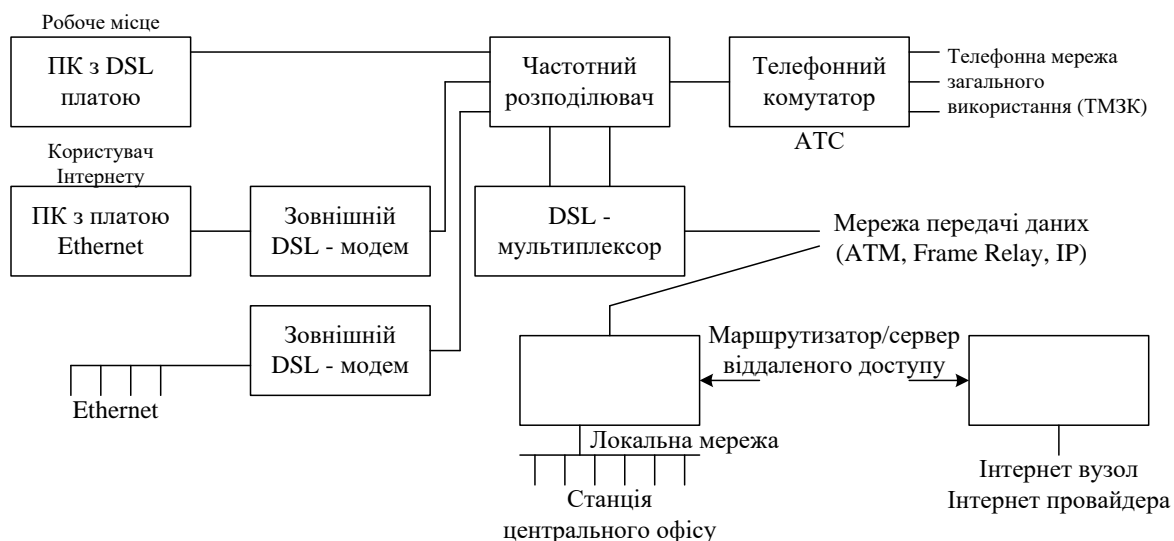


Рис. 3.1 Принцип організації зв'язку при використанні xDSL – технології

Ключові переваги технологій xDSL:

- використання існуючих абонентських ліній;
- значне збільшення швидкості передачі даних по мідній парі телефонних дротів без необхідності їх модернізації;
- передача по цій єдиній АЛ всього різноманітного трафіку масового

користувача - від традиційного телефонної розмови до доступу в Internet;

- передача всього трафіку даних користувача (включаючи і трафік Internet) в обхід комутованих мереж ТМЗК або ISDN безпосередньо в транспортну мережу передачі даних [2];

- набір технологій DSL забезпечує швидкість передачі даних від 32 Кбіт / с до 50 Мбіт / с, так що користувач може зробити вибір залежно від власних потреб;

- як засіб передачі даних обладнання xDSL займає проміжне положення між дешевими аналоговими модемами і дорогими виділеними лініями T1 або E1. Високі швидкості передачі при порівняно невеликих витратах роблять технології xDSL практично ідеальним засобом передачі даних для представників малого та середнього бізнесу;

- цифрові дані передаються на комп'ютер саме як цифрові дані, що дозволяє використовувати набагато ширшу смугу частот телефонної лінії;

- існує можливість одночасно використовувати й аналоговий телефонний зв'язок, і цифрову високошвидкісну передачу даних по одній і тій же лінії, розділяючи спектри цих сигналів. Використання DSL дозволяє розмовляти по телефону, не відключаючи від Internet [3].

Ці переваги визначили технології xDSL як найефективнішого засобу широкосмугового доступу до онлайн-служб.

Асиметричні варіанти xDSL зазвичай використовуються для зв'язку в Інтернет і забезпечують ціни, орієнтовані на квартирний сектор.

Симетрична xDSL затребувана в комерційному секторі і застосовується там, де потрібні робочі характеристики, подібні спеціалізованим каналам точка-точка, або для високошвидкісних служб.

У таблиці 3.1 наведені деякі з поширених технологій xDSL та їх основні характеристики [4].

З викладеного вище попереднього списку xDSL і таблиці, більшість xDSL переслідує різні цілі. Безліч варіантів існують, тому що є певний розподіл потреб користувачів, вимог до швидкостей, і готовність заплатити за реалізацію цих вимог.

Таблиця 3.1. Деякі з поширених технологій xDSL та їх основні характеристики

DSL Технологія	Максимальна швидкість передачі (на кінці користувача)	Максимальна швидкість прийому (на кінці користувача)	Максимальна відстань	Число ліній
ADSL	800 Кбіт/с	8 Мбіт/с	5500 м	1
ADSL-Lite (G.Lite)	512 Кбіт/с	1.536 Мбіт/с	5500 м	1
ADSL2	3,5 Мбіт/с	12 Мбіт/с	200 м	1
ADSL2+	1,2 Мбіт/с	24 Мбіт/с	1500 м	1
G.fast	500 мбіт/с	1 Гбіт/с	400 м	1
RADSL	1 Мбіт/с	7 Мбіт/с	5500 м	1
HDSL	1.54 до 2 Мбіт/с	1.54 до 2 Мбіт/с	3650 м	2
HDSL2	1.54 до 2 Мбіт/с	1.54 до 2 Мбіт/с	3650 м	1
SHDSL	192 Кбіт/с до 2.3 Мбіт/с	192 Кбіт/с до 2.3 Мбіт/с	7500 м	1
VDSL	16 Мбіт/с	52 Мбіт/с	1200 м	1
VDSL2	100 Мбіт/с	100 Мбіт/с	150 м	1
Vplus	100 Мбіт/с	300 Мбіт/с	250 м	1
SDSL	2.3 Мбіт/с	2.3 Мбіт/с	6700 м	1
MSDSL	2 Мбіт/с	2 Мбіт/с	8800 м	1
IDSL	144 Кбіт/с	144 Кбіт/с	10700 м	1

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line - асиметрична цифрова абонентська лінія): варіант DSL, що дозволяє передавати дані від станції користувачеві (напрямок "вниз") зі швидкістю до 8,192 Мбіт / с, а від користувача до станції (напрямок "вгору") - зі швидкістю до 800 Кбіт / с. ADSL застосовує цей метод, тому що більшість додатків Інтернету приймає "вниз" набагато більше інформації ніж передають. Інша версія ADSL - це цифрова абонентська лінія з Адаптацією Швидкості (RADSL -Rate Adaptive DSL). Це - популярний варіант ADSL, який, дозволяє модему коригувати швидкість підключення, залежить довжини і якості лінії [5].

ADSL G.lite - варіант ADSL, що має як асиметричний режим передачі з пропускнуою спроможністю зі швидкістю до 512 Кбіт / с від користувача до мережі і до 1,536 Мбіт / с від мережі до користувача. Ця технологія часто називається як ADSL без роздільник (splitterless ADSL). Технологія забезпечує характеристики ADSL зі зменшеною швидкістю передачі, що підтримує

аналогову телефонію. G.Lite простіша в підключенні, так як не вимагає підключення роздільник. Вона часто має меншу вартість для клієнта.

HDSL (High Speed Digital Subscriber Line) - високошвидкісна цифрова абонентська лінія): варіант xDSL з більш високою швидкістю передачі, який дозволяє організувати передачу зі швидкістю понад 1,5 4Мбіт / с (стандарт США T1) або більше 2 Мбіт / с (європейський стандарт E1). HDSL в обох напрямках отримує і передає дані на одній і тій же швидкості, але це вимагає двох виділених абонентських ліній. Ці лінії виділяються окремо від нормальних абонентських ліній. Чотирипроводова лінія HDSL часто використовується, як альтернатива лінії обладнаної ІКМ-30 для деяких видів комерційної діяльності та абонентів, які використовують високошвидкісний обмін даними. Установка HDSL зазвичай дешевше установки апаратури ІКМ-30 [4].

HDSL-2 (High Speed Digital Subscriber Line) - високошвидкісна цифрова абонентська лінія 2, використовує методику модуляції, звану амплітудно-імпульсною модуляцією 16 (PAM16), яка дозволяє швидкість передачі до 2 Мбіт / с в кожному напрямі по єдиною парі проводів. Двопроводний HDSL тепер може застосовуватися квартирними абонентами, яким необхідна однакова швидкість в обох напрямках.

SHDSL (Simple High Digital Subscriber Line) стандарт ITU, розроблений, щоб замінити або поліпшити багато існуючих технологій цифрової абонентської лінії в один стандарт, щоб поліпшити здатності до взаємодії і спростити обслуговування. SHDSL - забезпечує симетричну передачу різного роду даних від 192 Кбіт / с до 2.3 Мбіт / с. Головним чином вона використовується для користувачів офісного класу, SHDSL, як очікується, замінить SDSL.

VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line) - супершвидкісної цифрова абонентська лінія) - технологія xDSL, що забезпечує надзвичайно швидку передачу даних. VDSL включає:

- асиметричну передачу (до користувача до 52 Мбіт / с і 16Мбіт від користувача)
- симетричну версію (100 Мбіт / с в обидва боки VDSL-2).

VDSL надає високі швидкості обміну, при більш короткій відстані по стандартному мідному дроту. Тому, максимальна швидкість VDSL технології буде ймовірно надаватися в межах мереж постачальника послуг.

MSDSL (Multirate Symmetric DSL). Мультішвидкісна Симетрична цифрова абонентська лінія - це - симетрична цифрова абонентська лінія, яка може працювати, більш ніж на одній швидкості передачі. Постачальник послуг встановлює швидкість передачі, зазвичай відповідно до ціни та гарантованим рівнем обслуговування.

IDSL (цифрова абонентська лінія ISDN) - недорога і випробувана технологія, яка використовує чіпи цифрової абонентської лінії основного доступу BRI ISDN і забезпечує абонентський доступ зі швидкістю до 128 Кбіт / с.

Асиметричні варіанти xDSL зазвичай використовуються для зв'язку в Інтернет і забезпечують ціни, орієнтовані на квартирний сектор. Симетрична xDSL затребувана в комерційному секторі і застосовується там, де потрібні робочі характеристики, подібні спеціалізованим каналам точка-точка, або для високошвидкісних служб.

3.1.2.Технологія ADSL

Технологія **ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)** - це нова високошвидкісна технологія, яка вирішує проблему пропускну здатності абонентської лінії ТМЗК ("останньої милі") - лінії зв'язку між постачальником і споживачем послуг мереж передачі даних. Асиметрична цифрова абонентська лінія (ADSL) є найбільш популярною технологією DSL.

Технологія ADSL являє собою платформу для доставки широкосмугових послуг, що підтримує великий набір додатків (високошвидкісний доступ в Internet, телеконференції, віртуальні приватні мережі та мультимедіа), які вимагають широкої смуги пропускання. Слово "асиметрична" в назві технології означає несиметричність потоку даних в напрямках "сервер-користувач" (downstream) і "користувач-сервер" (upstream). ADSL дозволяє встановити

більшу швидкість передачі даних в напрямку від сервера до споживача. Такий обмін найбільш ефективний при доступі до потужних інформаційних ресурсів мереж Internet, відео на вимогу, віддаленого доступу до локальної обчислювальної мережі центрального офісу. Такий режим роботи ADSL уцілює головну особливість мережі Internet, відповідно до якої інформаційний потік від мережі до користувача, що містить програми, графіку, звук і відео, істотно перевищує інформаційний потік від користувача до мережі, який зазвичай формується натисканням клавіші клавіатури або клацанням миші. Швидкість передачі даних до користувача звичайно становить від 1,5 Мбіт / с до 8 Мбіт / с. Швидкість передачі даних від користувача звичайно становить від 64 Кбіт / с до 1,5 Мбіт / с (див. таблицю 3.1). У більшості випадків користувачі надсилають лише запит на надання ресурсу, у відповідь, отримуючи великий обсяг інформації [4].

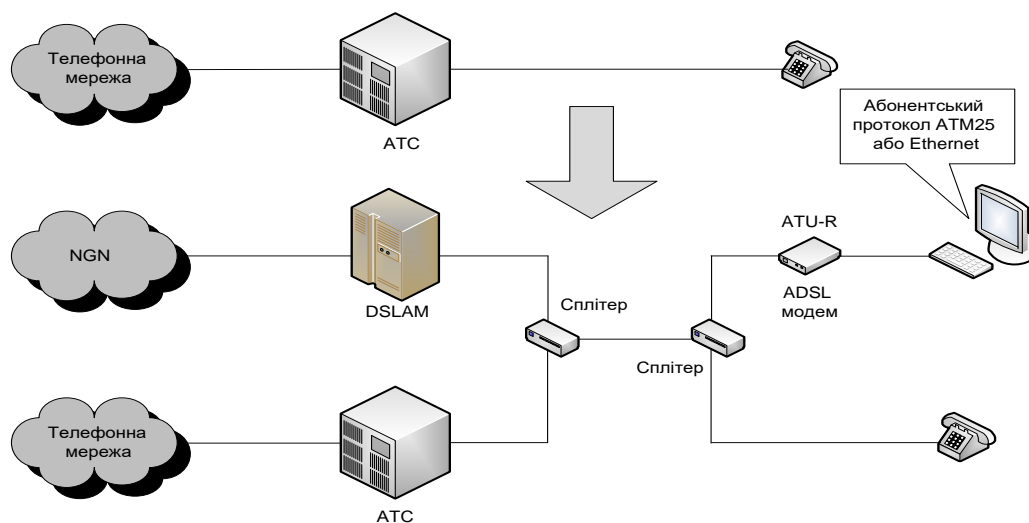


Рис. 3.2. Перетворення телефонного з'єднання в з'єднання ADSL

Весь сигнал, який передається по абонентській лінії, ділиться в частотному діапазоні на три частини:

- діапазон передачі сигналів традиційної телефонії (*POTS*);
- діапазон для ADSL лінія вверх (*ADSL up*);
- діапазон для ADSL лінія вниз (*ADSL down*).

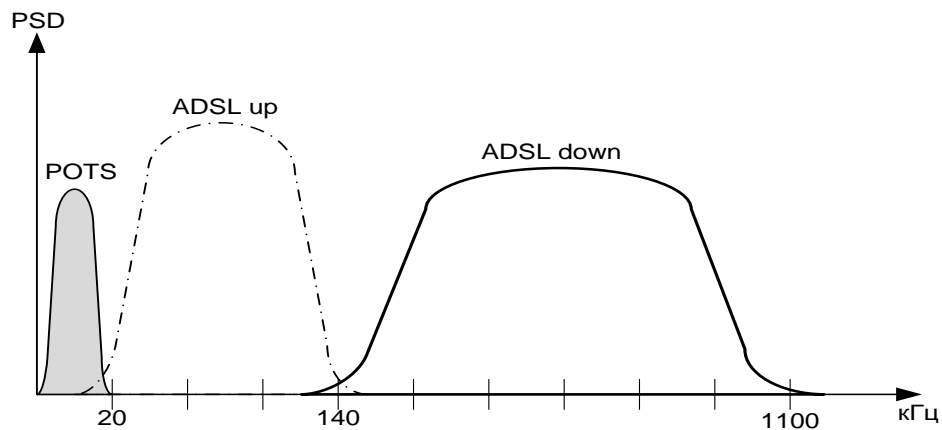


Рис.3.3. Частотний діапазон для передачі телефонії і ADSL

Принципи роботи ADSL

У квартирному секторі, ADSL - один з найбільш популярних технологій xDSL. ADSL, дозволяє паралельну роботу і паралельне складання широкосмугових цифрових частот даних і існуючої системи телефонії, що використовує смугу частот 400 - 3400 кГц [4].

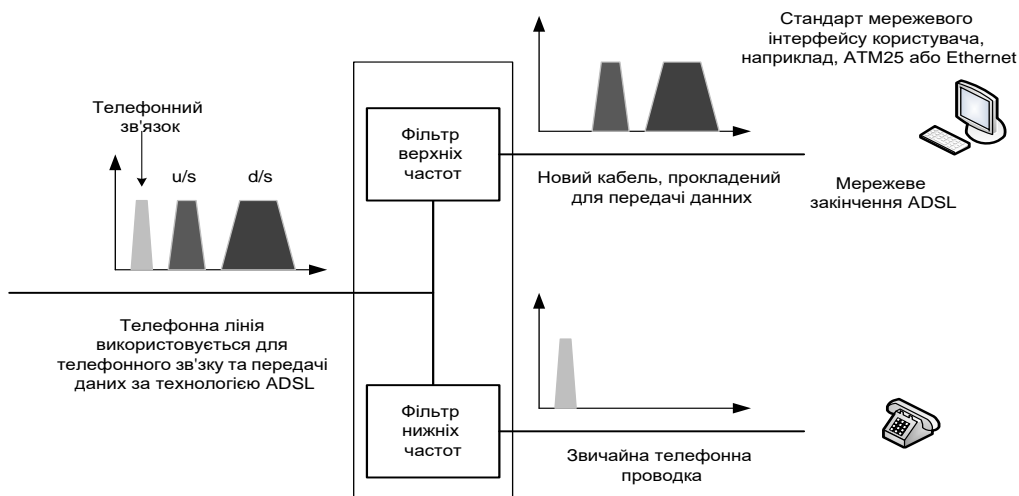


Рис. 3.4. Приклад ADSL з частотним ущільненням і сплітером

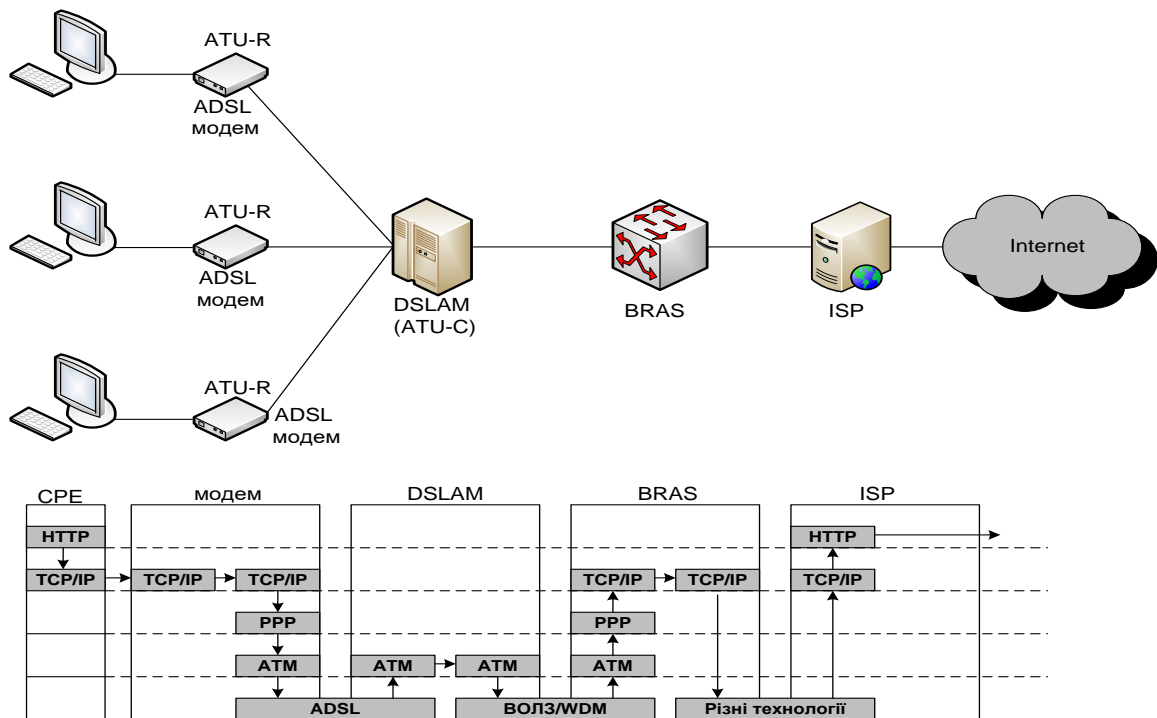


Рис. 3.5. Функціонування ADSL з точки зору протоколів

Переваги

- Висока ефективність використання частотного спектра (до 15 (Біт / с) / Гц).
- Зменшуються перехресні наведення між сусідніми парами проводів.
- Засоби адаптації ADSL визначають параметри лінії і встановлюють максимально можливу швидкість передачі для конкретних умов.
- ADSL дозволяє встановити більшу швидкість передачі даних в напрямку від постачальника послуг до споживача.
- Швидке підключення користувачів.
- На відміну від ISDN технологія ADSL не вимагає дорогої модернізації комутаторів, так як є службою з виділеними каналами, а не спирається на комутовані з'єднання [5].

Недоліки

- Нездатність підтримувати кілька телефонних викликів одночасно.
- ADSL погано "уживається" з іншими технологіями DSL, що використовують сусідні пари в тому ж кабельному стовбурі.
- Модеми ADSL вносять суттєву затримку при передачі даних, що різко обмежує можливість їх застосування для передачі чутливих до тимчасових

затримок трафіку відео- і аудіозастосувань. Перед створенням мова і дані по одній лінії, доводиться використовувати POTS Splitter.

- Дальність дії обмежена перехресними перешкодами на дальньому кінці (FEXT).

3.1.3.ADSL LITE (Universal ADSL)

Ця технологія призначена для організації високошвидкісних каналів доступу в Internet. ADSL Lite повинна забезпечити високу дальність передачі (до 1.5 Мбіт / с) в сторону абонента. Дані передаються на більш низьких швидкостях, ніж в повновесній ADSL (при довжині абонентської лінії до 3.5 км швидкість становить 1-5 Мбіт / с в напрямку від провайдера до клієнта і 384 кбіт / с в протилежному; при довжині абонентської лінії до 5.5 км забезпечується 640 кбіт / с у напрямку до клієнта і 196 кбіт / с в протилежному).

У ADSL Lite використовується кодування DMT (DMT передбачає 96 піднесуть, при цьому зменшується швидкість передачі даних, але зате спрощується процедура встановлення пристроїв).

Порівняємо технології ADSL і ADSL Lite в таблиці 3.2 [5]

Таблиця 3.2 Порівняння ADSL і ADSL.lite

Технологія	Довжина абонентської лінії, км	Швидкість до абонента, Кбит/с	Швидкість від абонента, Кбит/с
ADSL	2,8	4096	320
	3,5	2048	128
	4,2	576	128
ADSL Lite	2,8	1536	256
	3,5	1536	96
	4,2	512	96

Переваги технології ADSL Lite:

- Більш симетрична і проста в установці технологія (не потрібно окремої установки частотних роздільників (спліттерів), так як вони є в їх складі).
- Має кращу спектральну сумісність з іншими технологіями DSL.

- Можливість швидкого перенастроювання (1-3 с) дозволяє пристроям ADSL Lite адаптуватися до різких змін, що відбуваються на лінії зв'язку, і дозволяє знизити перерву в передачі даних до 1с.

Недоліки ADSL Lite

- Несумісність комп'ютерів різних виробників з обладнанням постачальників послуг зв'язку.
- ADSL Lite не призначена для використання спільно з ISDN (на сьогоднішній день).
- Так як це беспліттерная технологія, то це веде до збільшення імпульсних перешкод проникають в лінію зв'язку в розподільній телефонній мережі і в приміщенні абонента (при цьому використовується функція перемеження бітів).
- Процедура швидкого перенастроювання може сильно змінювати швидкість передачі, тому в конфігураціях без спліттерів не можна гарантувати певну якість обслуговування (проте якщо використовуються фільтри, то зміна швидкості буде не таким різким і більш передбачуваним).
- Через обмеження на дальність зв'язку в зону дії UADSL потраплять далеко не всі абоненти.

3.1.4.ADSL2 і ADSL2 +

Популярність ADSL спричинила тривалі наукові дослідження, щоб розширити можливість ADSL технології. Схвалені на початку 2003, стандарти ITU G.992.3 / 4 визначають ADSL2, і ITU, стандарт G.992.5 визначає специфікації ADSL2 +.

Більш нові стандарти покращують початковий ADSL, пропонують більш високі швидкості даних потоку "мережа - користувач" і збільшують відстані. ADSL2 передачі потоку даних "мережа - користувач" збільшуються більш 12 Мбіт / с при відстані 200 метрів. ADSL2 + подвоює швидкість потоку даних "мережа - користувач", в порівнянні ADSL2 приблизно до 25 Мбіт / с.

Крім того, обидва нових стандарту покращують здатність до взаємодії, для аналогової телефонії, економлять потужність ADSL ліній.

Більш висока ефективність модуляції виходить, при використанні гратчастого кодування і застосування КАМ покращують швидкості передачі даних для ADSL2 і ADSL2 +. Швидкий запуск покращує час ініціалізації від 10 секунд до 3 секунд. Є також можливість підтримати послуги, що використовують пакетну комутацію по цифровій абонентській лінії, наприклад, Локальну мережу Ethernet ADSL2 + досягає більш високих швидкостей передачі даних 25 Мбіт / с шляхом розширення частотного діапазону, вдосконалюючи модуляцію. ADSL2 + подвоює максимальний частотний діапазон від 1,1 до 2,2 МГц, що досягають швидкостей передачі даних до 25 Мбіт / с в потоці "мережа - користувач" на відстанях приблизно 1,5 км [2].

Обидва стандарти спільно підтримують технології через пучок ліній, відомої як зворотне мультиплексування поверх ATM 2 (IMA - inverse multiplexing over ATM). Специфікація форуму - ATM IMA використовувалася протягом багатьох років, щоб об'єднати разом T1 / E1 канали, і використовувати ширину смуги частот для більшої кількості сервісних швидкостей.

Та ж сама технологія тепер застосовується до ADSL2 і ADSL2 + і дозволяє об'єднати дві або більше ADSL2 і ADSL 2+ лінії. Результат - велика гнучкість зі швидкостями передачі даних потоку "мережа - користувач":

- 20 Мбіт / с (дві об'єднані пари)
- 30 Мбіт / с (три об'єднані пари)
- 40 Мбіт / с (чотири об'єднані пари)

3.1.5. SHDSL

Принципи роботи SHDSL

Симетрична Високошвидкісна Цифрова абонентська лінія (SHDSL) забезпечує симетричне обслуговування цифрової абонентської лінії. SHDSL був стандартизований ІТУ-Т як стандарт G.991.2 в лютому 2001. В деякій

документації, SHDSLупомінається як скорочення G.shdsl. SHDSLпредназначен для заміни всіх існуючих до цього симетричних типів цифрової абонентської лінії, такі як HDSL, HDSL2, IDS, і SDSL. SHDSL, симетрична версія мультішвидкісної цифрової абонентської лінії, яка також замінить T1 / E1 і цифрову мережу інтегрального обслуговування. За швидкістю передачі даних SHDSL може забезпечити швидкість від 192 Кбіт / с до 2,312 Мбіт / с. SHDSL може підтримувати симетричне обслуговування даних, мови, і відео послуг. Він також може використовувати до восьми ретрансляторів на кожен виту пару, що значно розширює його можливості. Зв'язок зі звичайною телефонною мережею SHDSL не підтримує. Вона може здійснюватися за допомогою використання каналізації мови (CVoDSL) [5].

SHDSL використовує гратчасту кодо амплитудно-імпульсну модуляцію (*TC-PAM Trellis Coded*). Ця методика кодування лінії, яка може підвищити відстані приблизно на 30% в порівнянні з попередніми методами. Це - менш складний алгоритм кодування, який реалізується мікросхемами низької вартості. Набір мікросхем SHDSL споживає дуже невелику потужність.

SHDSL спектрально сумісний з іншими xDSL послугами, так що може використовуватися в одному пучку кабелів. Двухпарная SHDSL - може бути забезпечувати швидкість від 384 Кбіт / с до 4,6 Мбіт / с при використанні чотирьох проводів. Можливості послуг передачі мови даних, відео, також як хороші характеристики по відстані і споживання потужності, а також сумісність з іншими xDSL технологіями по спектру робить технологію SHDSL одою з найпривабливіших [4].

Розширена версія SHDSL названа, G.SHDSL.bis стандартизована ITU і ANSI. Вона використовує поліпшену версію гратчастого кодування (TC-PAM), щоб збільшити симетричну швидкість передачі даних 5.7 Мбіт / с, одночасно задовольняючи виконання вимог спектральної сумісності. G.SHDSL.bis стандарт було прийнято для Локальної мережі *Ethernet* на Першій Мілі (*EFM - Ethernet in the First Mile*) комітетом, який розробив IEEE S02.3ah EFM стандарт. Тому, G.SHDSL.bis може бути основним фізичним Рівень 1 (PHY) для 802.3ah. Локальної мережі Ethernet по мідних проводах.

3.1.6. Принципи роботи VDSL і VDSL2

Інші варіанти технології цифрової абонентської лінії відомі як Високошвидкісна цифрова абонентська лінія (VDSL) і Над Високошвидкісна цифрова абонентська лінія 2 (VDSL2). VDSL був стандартизований, як ITU-G.993.1 в 2004 році, і VDSL2 був стандартизований як ITU-T G.933.2 в 2005.

І VDSL, і VDSL2 намагаються збільшити межу передачі даних по мідним провідним парам типу 24 AWG і з асиметричними і з симетричними версіями передачі даних по цифрової абонентської лінії. Багато варіанти VDSL технології наступний крок в забезпеченні багатопрофільної домашньої зв'язку та пакетів індустрії розваг. Підтримуючи відео розваги, VDSL може запропонувати обслуговування конкуренції кабельному телебаченню. Деякі провайдери такі як Century Link в даний час пропонують обслуговування VDSL в окремих областях в Сполучених Штатах, VDSL дуже популярний в Південній Кореї, Японії, і Китаї.

VDSL використовує удосконалення сучасних технологій в цифрових сигнальних процесорів, щоб забезпечити. неймовірну продуктивність xDSL до приблизно 52 Мбіт / с з VDSL і до 100 Мбіт / с з VDSL2 (навіть при симетричному способі передачі) на дуже коротких мідних шлейфах завдовжки приблизно 100 - 150 метрів. Якщо порівняти, що максимальної швидкості для ADSL 6 до 8 Мбіт / с або для ADSL2 + 25 Мбіт / с, то стає зрозумілим, що перехід існуючої ADSL технології до VDSL може бути суттєвим кроком, як був істотним переходом від 56 - кілобітових модемів до xDSL [4].

Грубо кажучи, VDSL технологія працює по кручений мідній парі дротів телефонної лінії майже таким же способом, яким це робить ADSL, з діапазоном швидкостей в залежності від фактичної довжини лінії. Тим не менш, є кілька важливих відмінностей між VDSL і ADSL. Максимальна швидкість потоку "мережа - користувач" - 52 Мбіт / с по лініях довжиною до 300 метрів. Швидкості потоку "мережа- користувач" нижче 13 Мбіт / с при довжині поза 1200 метрів. Швидкості потоку "користувач - мережа" в ранніх моделях VDSL

асиметричні, точно так само як ADSL, і складають від 1.5 до 2.3 Мбіт / с. VDSL2 забезпечує швидкості в 100 Мбіт / с, при зазначених далі обмеженнях довжини мідних проводів, хороші робочі характеристики VDSL технологій виходять ціною скорочення відстані: VDSL може працювати на максимальній швидкості по мідній лінії тільки на коротку відстань, VDSL максимум приблизно 1300 метрів, а VDSL2 120 метрів чи менше. Так що стратегія, надання послуг по абоненту по VDSL полягає в тому, щоб сервер провайдера послуг розташовувався, як можна ближче до абонента. При VDSL потоки "мережа - користувач", "користувач-мережа" і канали даних повинні бути відокремлені по частоті від частотних смуг, які використовуються для основного телефонного обслуговування і цифрової мережі інтегрального обслуговування, надаючи можливість доступу до постачальників послуг VDSL.

VDSL і VDSL2 досягають додаткової пропускної здатності, використовуючи різні частотні діапазони в межах мідних шлейфів. Частотний діапазон приблизно від 2 МГц до 12 МГц використовується для VDSL, щоб не перекривати частотні вікна ADSL. VDSL2 використовує частоти навіть вище ніж 12 МГц до 30 МГц, щоб розширити використовувану частотну смугу. Використання високочастотних діапазонів можливі, тому що стандарти VDSL лімітують довжину мідного шлейфа - чим коротше шлейф, тим менше загасання високої частоти. VDSL додатки в значній мірі мають на меті доставку інформації на відстані не більш, ніж кілька десятків декількох сотень метрів по мідним пар. Найбільшу ймовірність застосування вони мають при застосуванні оптичних мереж або й систем розподілу з оптичними вузлами (*ONU - Optical Newtork Unit*) в місцях концентрації абонентів. Також, VDSL стандарти орієнтовані на будь-який з двох механізмів лінійного кодування - DMT або квадратурного амплітудна модуляція (QAM) [5]. Лінійне кодування використовується, щоб кодувати безліч бітів даних користувача в символи або періоди часу для передачі через DSL. Чим більше біт передається за допомогою одного символу, тим вище пропускна здатність і ефективність використання смуги частот. Цифрова Модуляція з багатьма несучими використовує дуже велика кількість приймачів, щоб створити частотні канали яку працюють

паралельно. QAM використовує комбінацію фазової маніпуляції і амплітудної модуляції. Кожен користувач обслуговується невеликим числом приймач в конкретній частотній смузі. QAM збирають біти в символи або тимчасові періоди. Набори мікросхем для QAM можуть створювати варіації, такі як 16-QAM, 32-QAM, і так далі.

Реальний ключ до успіху VDSL - ця те, що постачальники послуг замінюють більшу частину кабельної мережі оптичним кабелем волокна. Фактично, багато постачальників послуг планують прокладку волокна до розподільної коробки (*FTTC - Fiber to the curb*), що означає, що вони замінюють всі існуючі мідні пари до точки, де ваша телефонна лінія входить в ваш будинок або офіс. Менше компаній здійснює перехід на оптоволокно по сусідству (*FTTN fiber to the neighborhood*). Замість того, щоб встановлювати оптичний кабель волокна на кожній вулиці, FTTN прокладає волокно, що йде в головне місце розташування провідника або оптичний мережевий модуль (ONU) до найближчого місця концентрації абонентів.

Ранні версії VDSL використовують *FDM (Frequency Division Multiplexing)*, щоб відокремити, потік "мережа - користувач" від потоку "користувач мережа" і потім через основний телефонний канал або канал ISDN цифрової мережі інтегрального обслуговування. Для систем більш пізнього покоління потрібні пристрої придушення луни для двосторонніх швидкісних каналів передачі даних. Істотне відстань при частотному поділі, між найнижчою частотою каналу передачі даних і основним телефонним каналом, сприяє дуже простому і рентабельного їх поділу. Зазвичай канал потоку "мережа - користувач" знаходиться вище каналу потоку "користувач мережу". VDSL швидкості даних потоку "мережа - користувач" - кратні канонічній швидкості каналів, які утворюються при *SONET* і *Синхронній Цифровій ієрархії (SDH)* 155.52 Мбіт / с, а саме VDSL утворює швидкості 51.84 Мбіт / с, 25.92 Мбіт / с і 12.96 Мбіт/с. Справа в тому, що промисловість хоче ефективно упакувати дані потік "користувач мережа" цифрової абонентської лінії в інфраструктуру SONET / SDH. Більш спрощено швидкості передачі даних позначають 13, далі 26 і 52 Мбіт / с. Кожна швидкість застосовується для

відповідного діапазону відстаней, як показано для асиметричних VDSL в Таблиці 3.3. [5]

Таблиця 3.3. Асиметричні VDSL та відстані, які вони покривають (типові)

Поток "мережа – користувач" Мбіт/с	Поток "користувач – мережа" (асиметричний) Мбіт/с	Відстань по кабелю типа 24 AWG (метри)
12,96	1,6	1300
25,92	3,2	900
51,84	6,4	305

Таблиця 3.4. Симетричні VDSL та відстані, які вони покривають (типові)

Поток "мережа – користувач" Мбіт/с	Поток "користувач – мережа" (симетричний) Мбіт/с	Відстань по кабелю типа 24 AWG (метри)
6,48	6,48	900
9,72	9,72	900
12,96	12,96	900
19,44	19,44	305
25,96	25,96	305

Є безліч варіантів установки обладнання цифрової абонентської лінії, що застосовуються серед постачальників послуг. Їх так багато, тому що є багато різних інженерів з різними ідеями щодо побудови мережі. Хоча, кожен тип установки обладнання цифрової абонентської лінії змінює становище на краще. Але з іншого боку, з точки зору простоти нарощування, безпеки або узгодження робочих характеристик, типовий постачальник рідко використовує більше ніж два або, щонайбільше, три типи для розробки свого проєктів.

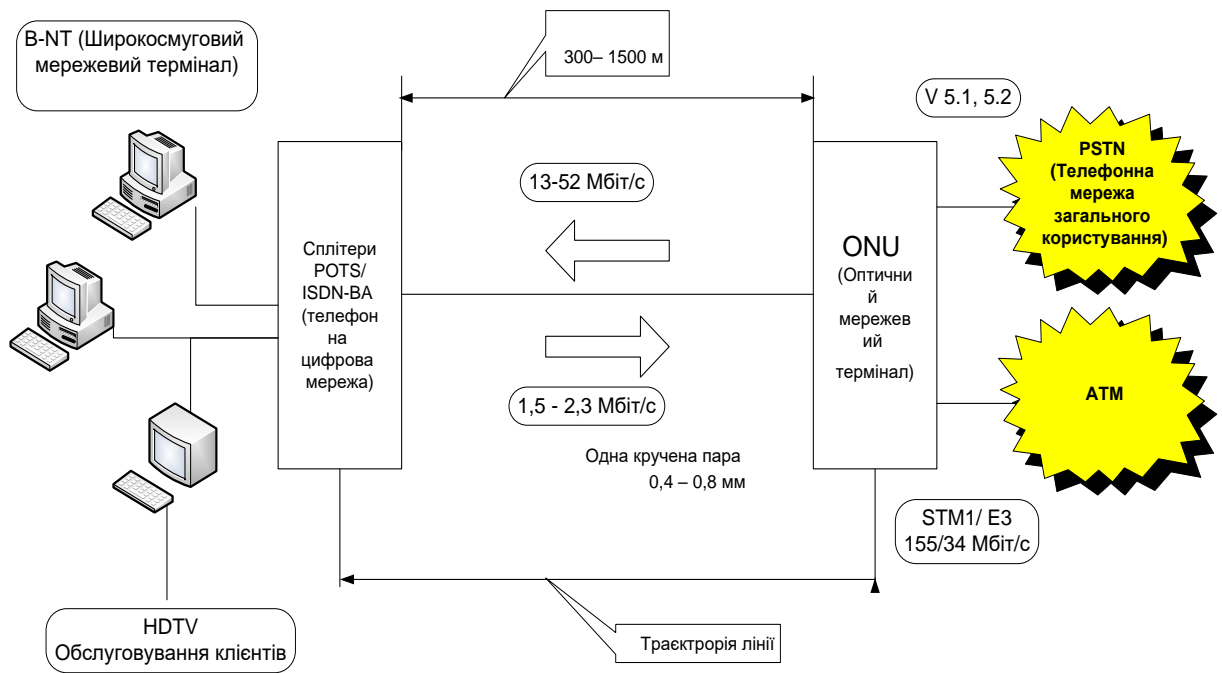


Рис. 3.6. Структура VDSL

3.1.7.HDSL

HDSL (High-data-rate DSL) являє собою два модему, з'єднаних однією або декількома кабельними парами (рисунок 3.8). При цьому забезпечується симетрична дуплексна передача цифрових потоків на швидкості E1 (2,048 Мбіт / с) в смузі шириною 80 кГц - 240 кГц. Такий же тракт підтримує і апаратура ІКМ30, однак HDSL дозволяє значно збільшити довжину регенераційної секції і пред'являє набагато менш жорсткі вимоги до перехідного загасання в використовуваних кабелях ((NEXT and FEXT).

HDSL мало пристосована для таких додатків, як доступ в Internet. Одна з причин пов'язана з її симетричністю, інша - з використанням основополосної (baseband) передачі, коли частотний спектр жорстко прив'язаний до деякої фізичної частоти. У разі HDSL роль такого "репера" грає 0 Гц, так що транспортування даних і звичайного мовного трафіку по одній і тій же лінії виявляється неможливою. У той же час HDSL є чи не ідеальним рішенням для організації зв'язку між АТС, точками доступу або Internet-серверами, а її сучасна модифікація для однієї кручений пари (SDSL) повинна сприяти ще більшому поширенню даної технології.

Швидкісні співвідношення при дуплексної передачі:

- по одній парі 2 064 кбіт / с;
- по двом парам (на кожному парі) 1 168 кбіт / с;
- за трьома парам (на кожному парі) 784 кбіт / с.

Лінійне кодування: 2B1Q або CAP (рисунок .3.7).

Таблиця 3.5. Характеристики деяких типів HSDL

Назва модема	Число пар, які використовуються	Швидкість кбіт/с	Дальність передачі, км	Лінійний код	Тип модуляції
HSDL	3	784	3	2B/1Q	
	2	1168	265	2B/1Q	CAP
	1	2320	2	2B/1Q	CAP
G.hsdl	1	2320	2-6	2B/1Q	PAM 16

Лінійне кодування 2B1Q

Код 2B1Q представляє собою модульований сигнал, має 4 рівня, тобто в кожний момент часу передається 2 біта інформації (4 кодових стани).

Спектр лінійного сигналу симетричний і достатньо високочастотний, присутні також низькочастотна та постійна складова. Цей лінійний код представляється як передача сигналу в основній смузі частот до "0", які частково перекриваються з мовною смугою частот.

2B	1Q
10	+3
11	+1
01	-1
00	-3

Кодування 2B1Q чутливе до спотворення і завад, однак воно широко використання на лініях, не перевищуючих довжини 3 км.

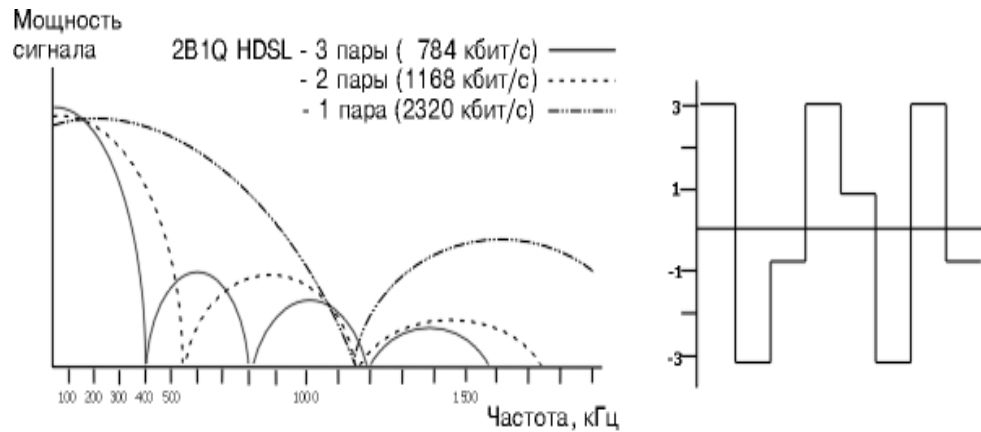


Рис. 3.7. Технология 2B1Q

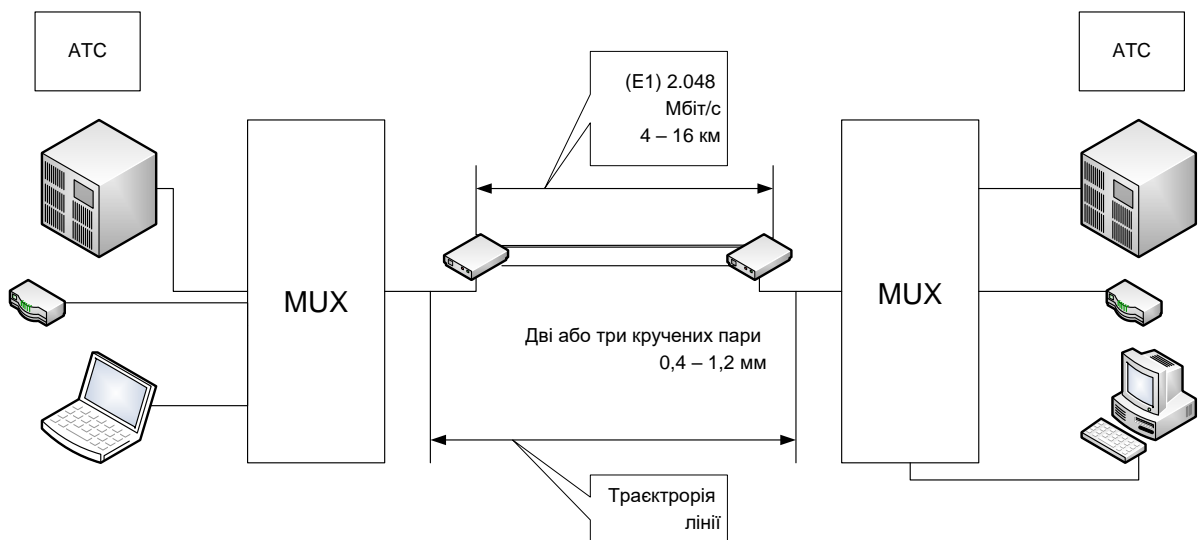


Рис. 3.8. Структура HDSL

Приклади застосування і побудови систем HDSL

У всьому світі обладнання HDSL застосовується, головним чином, для підключення УПАТС до ТМЗК, базових станцій (БС) стільникових радіотелефонних мереж до центрів мобільної комутації, філій організацій до центральних офісах, для з'єднання між собою віддалених ЛЗ і точок присутності Internet-провайдерів, а також для організації цифрових абонентських виносів.

Останнім часом технології DSL знаходять все більш широке застосування як в мережах традиційної (телефонної) зв'язку, так і в мережах передачі даних і

інтегральних мережах. Деякі типові приклади використання технології HDSL наведені на рисунках 3.9 ... 3.13 [4].

Автономно або в комбінації з іншим телекомунікаційним обладнанням, обладнання HDSL може застосовуватися для:

- 1) міжстанційних зв'язків цифрових або аналогових АТС для підключення установчих АТС;
- 2) заміни складних в обслуговуванні і потребуючих великої кількості регенераторів лінійних трактів ІКМ-30;
- 3) ущільнення абонентських ліній і організації абонентського доступу разом з мультиплексорами часового розподілу;
- 4) організації доступу до високошвидкісних трактів SDH і PDH;
- 5) зв'язку локальних мереж або високошвидкісного доступу до мережі доступу, в тому числі до Інтернету;
- 6) з'єднання вузлів комутації і базових радіостанційних стільникових мереж зв'язку.

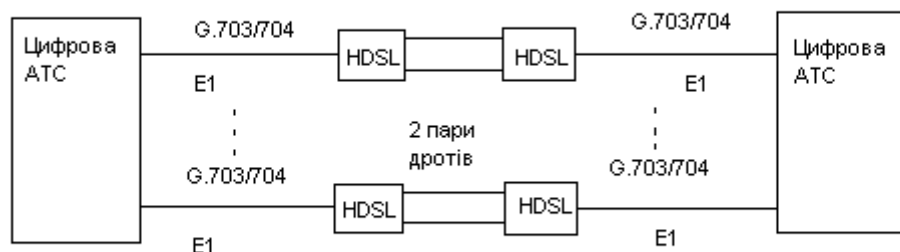


Рис. 3.9. З'єднання двох цифрових АТС



Рис. 3.10. Міжстанційний зв'язок між аналоговою і цифровою АТС

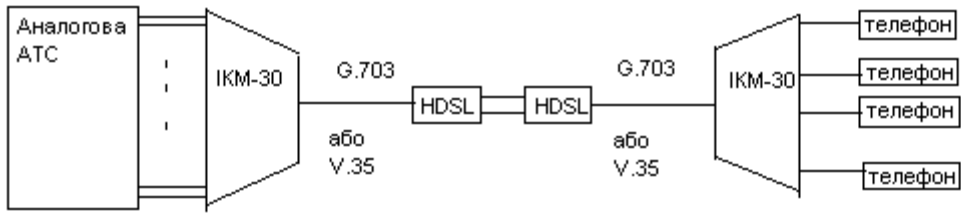


Рис. 3.11. Абонентський винос

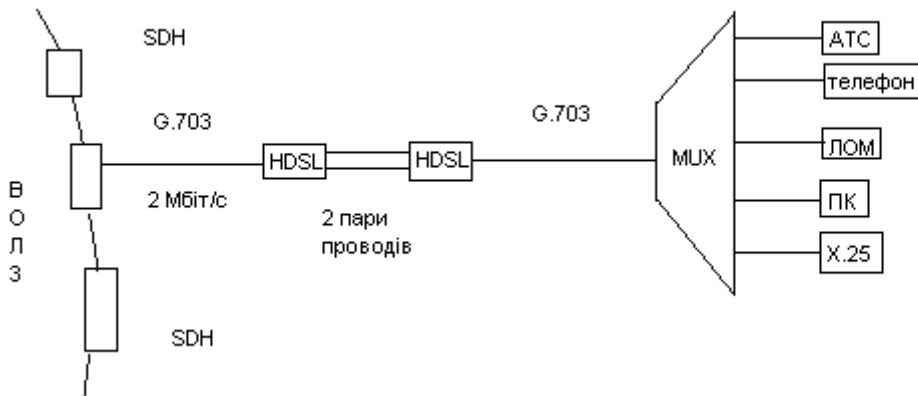


Рис. 3.12. Доступ до мережі SDH



Рис. 3.13. Обладнання локальних обчислювальних мереж

Переваги HDSL

- За рахунок адаптивної цифрової обробки сигналів підвищується якість їх передачі;
- Слабке електромагнітне вплив на інші мідні пари телефонного кабелю;
- Споживання енергії на віддаленому кінці лінії скорочується до такої

міри, що стає можливим дистанційне харчування кінцевого пристрою, а при довжині лінії більше 6 км - і регенераторів;

- Можлива передача по двом або трьом парам прямих проводів (типу ТПП) без підбору параметрів і симетрування (природно, якість кабелю має відповідати загальноприйнятим нормам).

- Відсутність потреби в регенераторах на порівняно великих відстанях підвищує загальну надійність системи і її продуктивність;

- Для HDSL-обладнання може встановлюватися без окремої діагностична апаратура;

- Передова схемотехніка забезпечує високу стійкість HDSL-ліній до різного роду перешкод, в тому числі перехресним. Виробники проголошують безпомилковість передачі двійкової інформації (BER) на рівні 10^{-7} - 10^{-11} , що можна порівняти з показниками оптоволоконних ліній, в яких BER становить 10^{-10} (відповідає передачі одного помилкового біта раз в тиждень). При BER 10^{-7} ошібка відбувається кожні 6-7 с [4].

3.1.8. Принцип роботи RADSL

Технологія **RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія з адаптацією швидкості з'єднання)** дозволяє адаптуватися до постійно змінюваних характеристик абонентської лінії. Фактично, RADSL здатна адаптуватися до змін характеристик лінії в процесі появи цих змін.

В принципі під RADSL розуміється будь-який xDSL-модем, який має функцію автоматичного підстроювання швидкості з'єднання. Такий модем може автоматично налаштовувати швидкість передачі відповідно до електричних параметрів лінії. Якщо модем підключається до протяжної лінії, він автоматично знижує швидкість передачі даних, забезпечуючи установку з'єднання з найвищою можливою швидкістю передачі даних. Завдяки своїй адаптивності технологія RADSL усуває велику кількість проблем, які можуть виникнути при використанні DSL. Технологія RADSL покликана забезпечити гнучкість у наданні послуг користувачам. Дана технологія виробляє

автоматичне підстроювання швидкості передачі даних по лінії, яка базується на проведенні серії початкових тестів, що дозволяють визначити максимально можливу швидкість передачі даних по конкретній телефонній лінії. Швидкість передачі даних при використанні технології ADSL залежить від багатьох умов, і в першу чергу - від довжини абонентської лінії і типу застосовуваних кабелів. Як правило, довжина абонентських ліній (тобто відстань від телефонної станції до абонента) може відрізнятись в досить широких межах, причому на довжині абонентської лінії часто використовуються кабелі з провідниками різного перетину. Тому електричні характеристики абонентських ліній (і особливо їх загасання) можуть мати значний розкид. Навіть такий фактор, як зміна температури кабелю, може впливати на допустиму швидкість передачі даних, з якої стає можливою [5].

Основними перевагами RADSL є:

- зниження трудовитрат на перевірку абонентської лінії;
- мінімізація витрат на обслуговування завдань.

3.1.9. MSDSL-технологія майбутнього (MRDSL)

MSDSL - технологія багатошвидкісної передачі цифрових потоків по одній парі є результатом розвитку HDSL, яка також працює по одній парі. З її допомогою забезпечується симетрична передача інформаційних потоків на швидкості від 272 до 2320 кбіт / с, тобто MSDSL придатна не тільки для передачі мови і даних, а й для проведення відеоконференцій. MSDSL застосовується в корпораціях і на підприємствах малого та середнього бізнесу.

Технологія MSDSL утворює канал з сумарною пропускною спроможністю 2.32 Мбіт / с. Вся смуга пропускання розподіляється між повним каналом E1 (2,048 Мбіт / с) і мовними каналами (від 1 до 3) або двома ISDN-каналами. У додатковій смузі пропускання передаються керуючі сигнали.

Щоб при передачі даних по одній парі домогтися максимальної дальності зв'язку на заданій швидкості, застосовуються подавителі луни і адаптивні еквалайзери швидкості. За допомогою фільтрів і еквалайзерів модеми

коректують швидкість передачі даних, погоджуючи її з встановленою користувачем швидкістю. Адаптивна настройка модемів відбувається в момент встановлення з'єднання і триває впродовж усього сеансу зв'язку.

MSDSL працює, використовуючи метод модуляції 2B1Q.

Переваги MSDSL

- Малі затримки сигналу кадрової синхронізації (менше 0,5 мс).
- Масштабованість смуги пропускання аж до повної швидкості фізичних каналів E1 і T1.
- MSDSL забезпечує мультиплексування трафіку різних послуг і симетричну передачу його по одній парі на швидкості до 2.32 Мбіт / с.
- Висока доступність послуг, наявність декількох телефонних з'єднань одночасно.
- Користувачі обслуговуються більш гнучко - відповідно до необхідних їм швидкостями передачі даних (так, наприклад, якщо потрібна швидкість передачі 256 кбіт / с, то максимальна дальність зв'язку буде 11 км).

Такі чинники, як широка поширеність електричних мереж 0,2 0,4 кВ, відсутність необхідності дорогого будівництва кабельної каналізації, пробивки стін і прокладення кабелів зв'язку і ін. стимулюють дослідження силових мереж як альтернативного середовища передачі даних і розвиток ще однієї технології широкопasmового доступу – по електромережах. Ця технологія дістала назву **PLC – PowerLine Communications** [7].

3.1.10. Мультиплексор Доступу Цифрової абонентської лінії (DSLAM)

Надати кожному абоненту широкопasmовий лінію неможливо, тому з'єднують широкопasmові пучки каналів від кожного абонента на обладнанні станції, постачальники провідної лінії зв'язку розподіляють широкопasmовий технологію мультиплексування ближче абонентам. У термінах ієрархічної

мережі станція стає ядром, DSLAM стає рівнем розподілу, а кінцеві абоненти представляють рівень доступу. Цифрова абонентська лінія DSL, рівень доступу цифрової абонентської лінії між абонентом, і телефонною компанією - рівень широкопasmового об'єднання. DSLAMs - дозволяє створити широкопasmові цифрові системи ущільнення шлейфу. Їх головна функція частотна модуляція до віддаленого модему цифрової абонентської лінії, вони маршрутизують навантаження передачі даних двох потоків - потоку "мережа - користувач" і потоку "користувач мережу". Вони виконують перетворення фізичного рівня. DSLAMs - це ключові компоненти для постачальників провідних ліній, які забезпечують широкопasmовим службам доступ до квартирних користувачам і бізнес службам по крученим мідним парам.

Станція постачальник послуг, місцевий вузол або інша точка присутності послуги використовують DSLAM, щоб з'єднати зі станцією xDSL від квартирних абонентів і підприємств комерційної діяльності.

Інша функція DSLAM повинна прийняти дані виходять від сотень модемів цифрової абонентської лінії потоку "мережа - користувач", далі поєднуючи і мультіплексірую ці дані, вводячи в частотні пристрої для передачі на більш високій швидкості. DSLAM об'єднує потік "користувач мережу" з наступним пристроєм мережі постачальника.

DSLAMs взагалі гнучкі і здатні підтримати багато типів цифрової абонентської лінії, і різних множинах протоколів і модуляцій CAP, DMT і QAM, наприклад-в тому ж самому блоці DSLAM. DSLAM об'єднує ці дані потік "користувач мережа" і передає у вигляді процесу ATM Рівня, На Рівні 2 ATM DSLAM комутує, які прибувають потоки "пользователь- мережу" модемів DSL, як віртуальні канали (PVC) цифрової абонентської лінії в широкопasmовому сервері доступу або DSLAM технологія зазвичай будується на комутаторах ATM Рівня 2. Це дозволяє забезпечувати потрібний клас обслуговування (CoS) для різних служб і постачальників. Сьогодні DSLAM технології включає Локальну мережу Gigabit Ethernet. Цей спосіб більш прийнятний там, де не застосовано платформи ATM.

3.1.11.Маршрутизатор Широкопasmового Видаленого доступу (BRAS)

Маршрутизатор Широкопasmового Видаленого Доступу (Broadband Remote Access Server) маршрутизує навантаження, що надходить від / до DSLAM або комутаторів інтернет мережі провайдера. BRAS знаходиться в центрі мережі доступу до послуг провайдера.

BRAS перетворює інформацію до рівня 2 для АТМ, протоколу точка-точка (PPP), або для Локальної мережі Gigabit Ethernet або, що більш сучасно до рівня 3 протоколи IP забезпечує доступ до рівня 1-2 регіональної мережі доступу до послуг DSL.

BRAS основа для забезпечення послуг IP і абонентів цифрової абонентської лінії (DSL) з забезпеченням якості обслуговування (QoS) потоку "користувач - мережі доступу (наприклад, *ISP -Internet ServiceProvider*).

Пристрій BRAS зазвичай визначається, як остання адреса (а) IP пристроїв постачальника послуг - між постачальниками послуг потоку "користувач - мережа" і мережею абонентського доступу DSLAM / DSL.

Для забезпечення якості обслуговування BRAS може взаємодіяти з пристроями DSL, що забезпечують передачу вниз.

Висновки

- Швидкість, яка досягнута лініями ISDN - 128 Кбіт / с вже недостатня для обслуговування задач Internet. Тому була зроблена розробка досить недорогий високошвидкісний цифровий технології передачі даних по простому телефонному кабелю, DSL (Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія).

- Деякі з поширених технологій xDSL: IDSL, ADSL, ADSL G.lite, HDSL, VDSL, SDSL.

- Технологія ADSL являє собою платформу для доставки широкопasmових послуг, що підтримує великий набір додатків (високошвидкісний доступ в Internet, телеконференції, віртуальні приватні мережі та мультимедіа), які вимагають широкої смуги пропускання.

- "Асиметрична" в назві технології означає несиметричність потоку даних в напрямках "сервер-користувач" (downstream) і "користувач-сервер" (upstream).
- В якості стандарту для ADSL прийнятий для використання варіант "дискретної многотональної модуляції" (Discrete MultiTone, DMT), яка застосовує кілька несучих, тобто декількох каналів з вузькою смугою.
- Альтернативою DMT є амплітудно-фазова модуляція без несучої (Carrierless Amplitude / Phase, CAP).
- ADSL-модеми мають в своєму розпорядженні, як правило, так званий splitter - роздільник, який забезпечує можливість одночасного розмови по телефону і передачі даних.
- HDSL (високошвидкісна цифрова абонентська лінія) забезпечує симетричну високошвидкісну передачу даних.
- VDSL забезпечує швидкість передачі даних, більш ніж в шість разів перевищує максимально можливу швидкість передачі даних ADSL.
- Технологія RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія з адаптацією швидкості з'єднання) дозволяє адаптуватися до постійно змінюваних характеристик абонентської лінії.

Контрольні питання до розділу

1. Технологія цифрової абонентської лінії (xDSL). Ключові переваги та недоліки.
2. Потік даних з мережі до користувача для технології VDSL складає:
 - a. 1.544 Мбіт/с;
 - b. 2.048 Мбіт/с;
 - c. 144 кбіт/с;
 - d. 8.192 Мбіт/с;
 - e. 52 Мбіт/с.
3. Потік даних від користувача в мережу для технології HDSL складає:
 - a. 1.544 Мбіт/с;
 - b. 2.048 Мбіт/с;
 - c. 384 кбіт/с;

- d. 6.4 Мбіт/с;*
 - e. 128 кбіт/с.*
- 4. Потік даних з мережі до користувача для технології HDSL складає:
 - a. 1.544 Мбіт/с;*
 - b. 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 144 кбіт/с;*
 - d. 8.192 Мбіт/с;*
 - e. 128 кбіт/с.*
- 5. Потік даних від користувача в мережу для технології ADSL складає:
 - a. 1.544 Мбіт/с;*
 - b. 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 384 кбіт/с;*
 - d. 6.4 Мбіт/с;*
 - e. 128 кбіт/с.*
- 6. Потік даних від користувача в мережу для технології IDSL складає:
 - a. а) 1.544 Мбіт/с;*
 - b. б) 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 384 кбіт/с;*
 - d. 6.4 Мбіт/с;*
 - e. 144 кбіт/с.*
- 7. Потік даних від користувача в мережу для технології RADSL складає:
 - a. 1.544 Мбіт/с;*
 - b. 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 384 кбіт/с;*
 - d. 6.4 Мбіт/с;*
 - e. 128 кбіт/с.*
- 8. Наведіть приклад використання технології HDSL для доступу до мережі SDH.
- 9. Потік даних від користувача в мережу для технології SDSL складає:
 - a. 1.544 Мбіт/с;*
 - b. 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 192 кбіт/с;*
 - d. 6.4 Мбіт/с;*
 - e. 2.3 Мбіт/с.*
- 10. Наведіть приклад використання технології HDSL для об'єднання локальних обчислювальних мереж.
- 11. Потік даних від користувача в мережу для технології ADSL2 складає:
 - a. 1.544 Мбіт/с;*
 - b. 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 3.5 Мбіт/с;*

- d. 6.4 Мбіт/с;*
 - e. 1.2 Мбіт/с.*
12. Потік даних від користувача в мережу для технології ADSL2+ складає:
- a. 1.544 Мбіт/с;*
 - b. 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 3.5 Мбіт/с;*
 - d. 6.4 Мбіт/с;*
 - e. 1.2 Мбіт/с.*
13. Потік даних з мережі до користувача для технології ADSL2+ складає:
- a. 1.536 Мбіт/с;*
 - b. 8 Мбіт/с;*
 - c. 2.3 Мбіт/с;*
 - d. 24 Мбіт/с;*
 - e. 12 Мбіт/с.*
14. Потік даних з мережі до користувача для технології ADSL2 складає:
- a. 1.536 Мбіт/с;*
 - b. 8 Мбіт/с;*
 - c. 2.3 Мбіт/с;*
 - d. 24 Мбіт/с;*
 - e. 12 Мбіт/с.*
15. Потік даних з мережі до користувача для технології VDSL2 складає:
- a. 52 Мбіт/с;*
 - b. 300 Мбіт/с;*
 - c. 100 Мбіт/с;*
 - d. 24 Мбіт/с;*
 - e. 16 Мбіт/с.*
16. Потік даних з мережі до користувача для технології SHDSL складає:
- a. 1.544 Мбіт/с;*
 - b. 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 2.3 Мбіт/с;*
 - d. 8.192 Мбіт/с;*
 - e. 52 Мбіт/с.*
17. Потік даних з мережі до користувача для технології MSDSL складає:
- a. а) 1.544 Мбіт/с;*
 - b. б) 2.048 Мбіт/с;*
 - c. в) 2.3 Мбіт/с;*
 - d. г) 8.192 Мбіт/с;*
 - e. д) 52 Мбіт/с.*
18. Потік даних з мережі до користувача для технології ADSL-Lite складає:
- a. 1.536 Мбіт/с;*

- b. 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 2.3 Мбіт/с;*
 - d. 8.192 Мбіт/с;*
 - e. 512 кбіт/с.*
19. Потік даних з мережі до користувача для технології RADSL складає:
- a. 1.536 Мбіт/с;*
 - b. 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 7 Мбіт/с;*
 - d. 8.192 Мбіт/с;*
 - e. 1 Мбіт/с.*
20. Наведіть приклад використання технології HDSL для встановлення абонентського виносу.
21. Потік даних від користувача до мережі для технології RADSL складає:
- a. 1.536 Мбіт/с;*
 - b. 2.048 Мбіт/с;*
 - c. 7 Мбіт/с;*
 - d. 8.192 Мбіт/с;*
 - e. 1 Мбіт/с.*
22. Намалюйте схему доступу до мережі PDH та SDH з використанням обладнання xDSL.
23. Потік даних від користувача до мережі для технології Vplus складає:
- a. 52 Мбіт/с;*
 - b. 100 Мбіт/с;*
 - c. 500 Мбіт/с;*
 - d. 16 Мбіт/с;*
 - e. 300 Мбіт/с.*
24. Потік даних від мережі до користувача для технології Vplus складає:
- a. а) 52 Мбіт/с;*
 - b. б) 100 Мбіт/с;*
 - c. в) 500 Мбіт/с;*
 - d. г) 16 Мбіт/с;*
 - e. д) 300 Мбіт/с.*
25. Потік даних від мережі до користувача для технології G.fast складає:
- a. 52 Мбіт/с;*
 - b. 100 Мбіт/с;*
 - c. 500 Мбіт/с;*
 - d. 1000 Мбіт/с;*
 - e. 300 Мбіт/с.*
26. Потік даних від користувача до мережі для технології G.fast складає:
- a. 52 Мбіт/с;*

- b. 100 Мбіт/с;
 - c. 500 Мбіт/с;
 - d. 1000 Мбіт/с;
 - e. 300 Мбіт/с.
27. Наведіть приклад використання технології HDSL для встановлення міжстанційного зв'язку між цифровими АТС.
 28. Наведіть структурну схему принципу організації зв'язку при використанні цифрової абонентської лінії (xDSL).
 29. Технологія ADSL. Особливості, переваги, недоліки.
 30. Технологія RADSL. Особливості, переваги, недоліки.
 31. Технологія ADSL2. Особливості, переваги, недоліки.
 32. Технологія SDSL. Особливості, переваги, недоліки.
 33. Технологія HDSL. Особливості, переваги, недоліки.
 34. Технологія VDSL. Особливості, переваги, недоліки.
 35. Технологія HDSL2. Особливості, переваги, недоліки.
 36. Технологія VDSL2. Особливості, переваги, недоліки.
 37. Технологія Vplus. Особливості, переваги, недоліки.
 38. Технологія G.fast. Особливості, переваги, недоліки.
 39. Мультиплексор Доступу Цифрової абонентської лінії (DSLAM).
 40. Маршрутизатор Широкопasmового Видаленого Доступу (Broadband Remote Access Server).

Список рекомендованої літератури

1. Берлин А. Абонентские сети доступа и технологии высокоскоростных сетей Курс лекций. [Електронний ресурс]. – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2010. Режим доступа до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/986/212/info>.
2. Жураковский Б. Ю. Кінцеві пристрої абонентського доступу. Навчальний посібник [Електронний ресурс] / Б. Ю. Жураковский, Г. С. Срочинська, Н. М. Довженко // Київ, Державний університет телекомунікацій. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.dut.edu.ua/ru/lib/118/category/96/view/903>.
3. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник для вищих навчальних закладів./ П.П.Воробієнко, Л.А.Нікітюк, П.І.Резніченко. – К.: САММІТ-КНИГА, 2010 - 708 с.
4. Жураковський Б.Ю. Системи доступу. Навчальний посібник. [Електронний ресурс] / Б. Ю. Жураковский, Н. В. Коршун // Київ, Державний університет телекомунікацій. – 2015. – 58 с.– Режим доступа до ресурсу: http://ir.nmapo.edu.ua:8080/jspui/bitstream/lib/277/1/1_841_81364872.pdf
5. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. Сети абонентского доступа: Учебное пособие /

Сост. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. – Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2004. – 120 с.

6. *Б.Ю. Жураковский* Перспективные сети доступа. // Актуальные научные исследования в современном мире Том 1, Выпуск 9(53), Переяслав-Хмельницкий, с. 87-93.
7. *Недашківський О.Л., Жураковський Б.Ю., СІ Тарбаєв С.І.* [Технологія PLC та її перспективи на ринку ширококутового абонентського доступу.](#) [Навчальний посібник]. - К.: ДУТ, 2014. - 118.с.

3.2. Технологія інтерактивного кабельного телебачення (CaTV)

3.2.1. Структура абонентської кабельної мережі

Для широкопasmового зв'язку на абонентському ділянці застосовуються кабельні мережі. Вони будуються на основі коаксіальних і / або оптичних кабелів. Для розподілу ефірного телебачення абонентські кабельні мережі застосовувалися з 1950 року. Широкопasmові передача по кабелю даних і пропозиція сервісів були наступними після телебачення додатками кабельних мереж на абонентському ділянці. У 90-ті роки минулого століття промисловість і експлуатація розробили стандарти і запропонували ідеї, як використовувати кабель для транспортування послуг Інтернет на основі протоколів TCP / IP [1].



Рис. 3.14. Структура абонентської кабельної мережі

Історично кабельне телебачення є мережею мовлення, яка розподіляє програми по споживачах. Для введення Інтернет послуг потрібно тільки вдосконалити передачу інформації від споживача до станції (напрямок "вгору"). Кабельні оператори, яких іноді називають мультисистемні оператори іноді (MSO - Multiple systems operators), як правило, використовують для пропозиції гібридні широкопasmові послуги, такі як телебачення з високим ступенем дозволу і передачу даних на високій швидкості по оптокабельним системам (HFC- Hybride Fibre-Coaxial).

Для функціонування Інтернету необхідний дуплексний канал передачі даних абоненту (прямий канал *downstream*) і від абонента (зворотній канал -

upstream). Мережі кабельного телебачення (Ca TV) по своїй ідеології однонаправлені і передача інформації в них іде до абонента [2].

Існують два варіанта рішення цієї проблеми [3].

Перший варіант. Використання для організації зворотнього каналу телефонної мережі міста.

Другий варіант. Двонаправлена схема передачі даних через мережу кабельного телебачення.

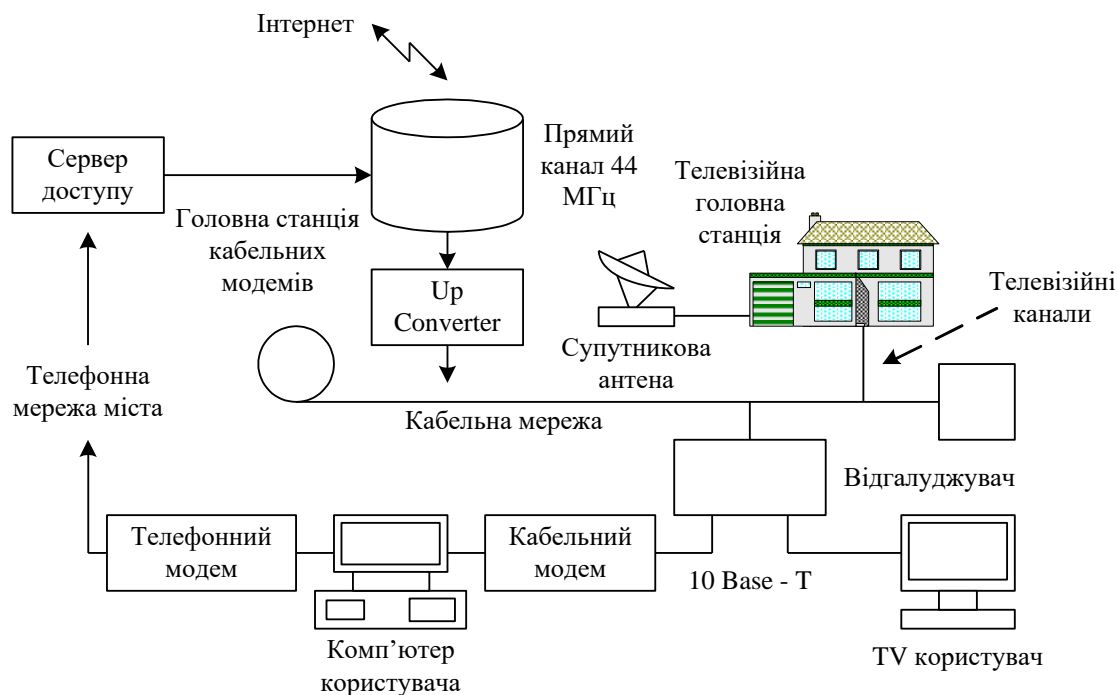


Рис. 3.15. Передача даних через мережу Ca TV з поверненням даних від абонентів через телефонну мережу міста

Абонентам кабельної мережі для організації доступу в Інтернет необхідний спеціальний кабельний модем, а також телефонний модем чи ISDN – адаптер для передачі даних через ТМЗК.

Існують також моделі кабельних модемів, в які телефонний модем вже вбудований (*3 Com VSP PLUS*).

Для передачі даних кабельні модеми за допомогою коаксіального кабелю підключаються до телевізійного розведення компанії – оператора кабельного телебачення через відгалуджувач, інший вихід якого йде до телевізора абонента.

До комп'ютера користувача кабельний модем підключається через порт *Ethernet 10 Base – T*.

Можливо підключити цілу групу локальних мереж. Для цього у Інтернет провайдера встановлюється головна станція кабельних модемів – *Cable Modem Termination System (CMTS)*, яка може обслуговувати декілька тисяч користувачів.

В кабельній мережі модеми взаємодіють тільки з головною станцією провайдера, але не між собою.

Станція використовує часове мультиплексування і працює відокремлено з кожним кабельним модемом у відповідності з його класом обслуговування.

Недоліком такого варіанту є невелика пропускна спроможність зворотнього каналу, залежність від компанії, яка надає телефонні послуги, неможливість користування телефоном при роботі в Інтернеті [3].

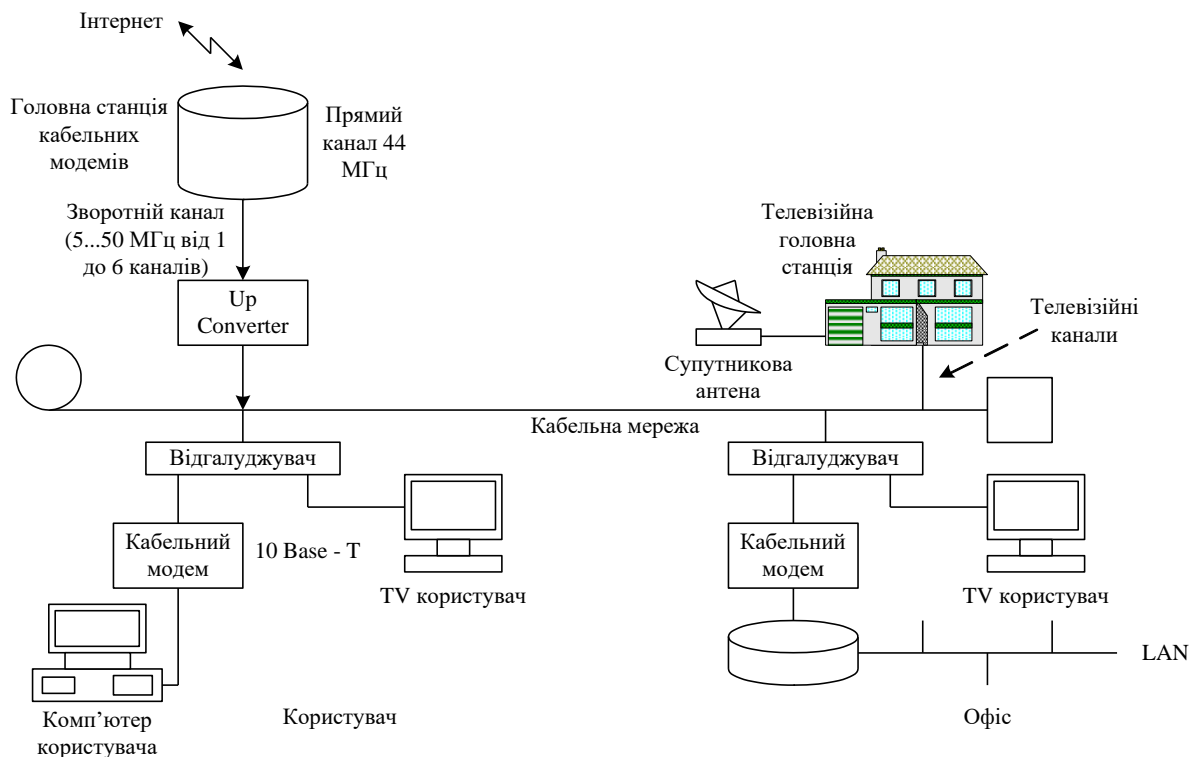


Рис. 3.16. Двонаправлена передача даних через мережу Ca TV

Ця схема дозволяє легко підключити локальні мережі офісів чи невеликі

“квартирні” мережі: за рахунок цілодобового доступу, можливе встановлення Інтернет – серверів у абонентів.

В цьому випадку разом з передаючою телевізійною станцією монтується обладнання доступу (*bridge*). Передача даних до абонента відбувається у стандартному телевізійному каналі (смуга 6 МГц) в діапазоні 50 – 862 МГц; для побудови зворотнього каналу в структурі *Ca TV* виділяється смуга частот 5 – 48 МГц, а кабельна мережа модернізується до двонаправленої.

Швидкість передачі в прямому каналі складає від 10 Мбіт/с (*QPSK*) до 36 Мбіт/с (*QAM - 256*), в зворотньому каналі – від 5 Мбіт/с (*QPSK*) до 36 Мбіт/с (*QAM - 64*) [2].

Для управління інформацією по кабелю і розширення діапазону на кінцях передачі і прийому систем встановлюють кабельні модеми (CTMS - Cable Termination Modem Station). CTMS забезпечує зв'язок "вгору" від абонента до закінчення кабелю до закінчення кабелю і "вниз" від закінчення кабелю до абонента.

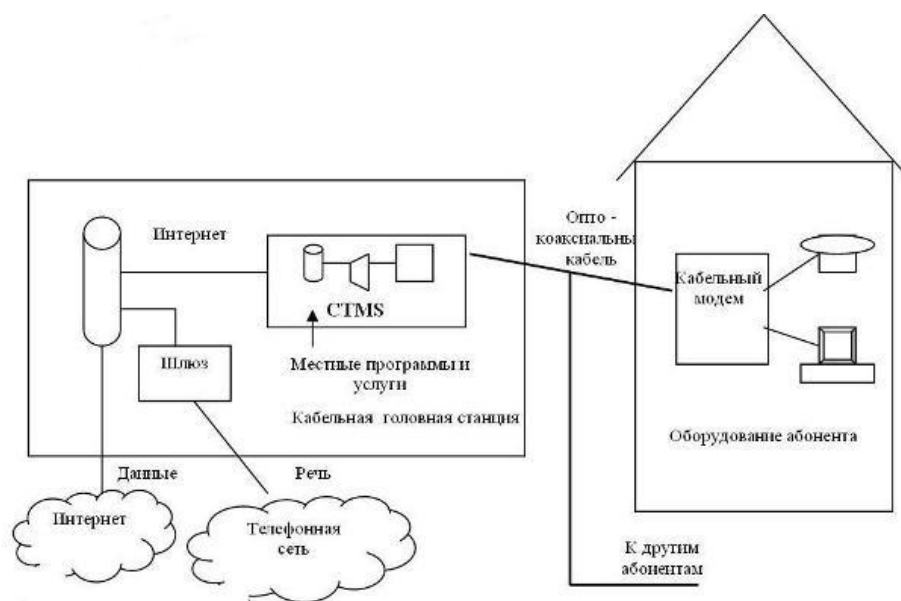


Рис. 3.17. Абонентська кабельна мережа з використанням CTMS

На рис.3.17 показана абонентська мережа з установкою системи кабельних модемів. Вона складається:

- з обладнання абонента - кабельний модем і обладнання для прийому

мовних і відео сигналів;

- сполучної ущільненої кабельної мережі; кабельна мережа також містить підсилювачі, пасивні елементи (атенюатори, сплітери, відведення, абонентські розетки).

- кабельної головної станції, яка містить: систему кабельних модемів; маршрутизатор мережі Інтернет, шлюз для виходу на телефонну мережу.

При з'єднанні "вниз" така мережа працює як звичайна мовна мережу кабельного телебачення. Вона доставляє програми телебачення абонентам, де вони фільтруються відповідно до настройки домашнім модемом. Кабельний модем також відокремлює мовну інформацію від відео і доставляє її до крайовим пристроїв. Ця інформація передається по кабелю, який за допомогою системи кабельних модемів ущільнюється (за методом частотного поділу). При частотному поділі передбачається і виділення зворотних каналів (канали "вгору"), які переносять керуючу інформацію від абонента в мережу Інтернет - постачальника послуги. Склад кабельного модему показаний на рис.3.18.

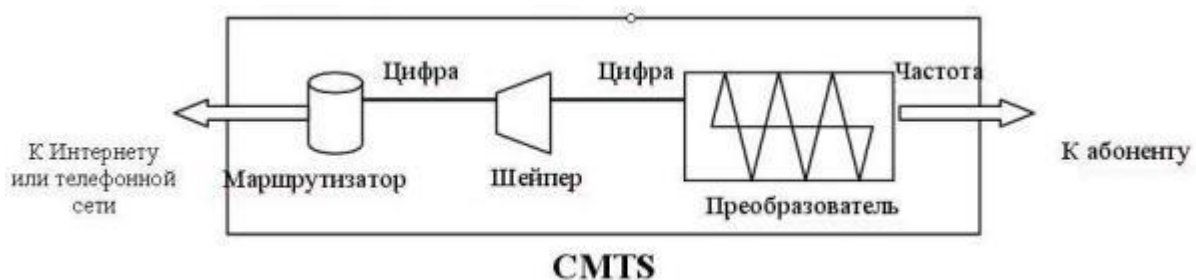


Рис. 3.18. Система кабельних модемів

Система кабельних модемів містить:

- *частотний перетворювач*, в завдання якого входить перетворення цифрового сигналу в сигнали частотно ущільненого тракту. Він також може включати в себе, перетворення сигналів отриманих від супутників, радіосистем і відеокамер;

- *шейпер (формуваць трафіку)* - пристрій, що стежить за трафіком, що встановлює чергу пакетних потоків і управління надходять потоками з метою нормальної роботи в умовах перевантаження;

- *маршрутизатор* - в даному випадку дозволяє збирати CTMS в абонентську мережу типу Ethernet [2].

Характеристики кабельної мережі

В даний час коаксіальний кабель має досить велику ширину спектра - в сотні мегагерц. Канали мовного телебачення, мають смугу 6 МГц, в США розміщаються в межах від 54 МГц до 216 МГц для каналів з номерами 2 - 13 (окремі смуги 54-72, 76-88, 174-216 МГц) і від 470 МГц до 812 МГц для каналів з номерами 14 -70. Сьогодні, в межах ширини смуги частот 6 МГц, використовуючи систему MPEG зі стисненням інформації, абонентське телебачення, може передати до 10 каналів цифрового відео. При повній використовуваної ширини смуги частот приблизно в смузі 550 МГц можливо розмістити до 1000 каналів телебачення. Типове американське розподіл частот в кабельній системі показано в Таблиці 3.6.

Таблиця 3.6. Розподіл частот в кабельній системі

Частотний діапазон (МГц)	Напрямок	Приклади використання
Від 5 до 42	Вгору	Зворотній шлях для передачі даних, сигналів мережевого управління відповідно до стандарту передачі по телевізійному кабелю (Data over Cable System Interface Specification - DOCSIS)
Від 54 до 350	Вниз	Широкопasmового аналогове телебачення і передача даних по стандарту DOCSIS (ширина смуги регулюється під кожного оператора)
Від 350 до 750	Вниз	Широкопasmового <i>цифрове телебачення</i> і передача даних по стандарту DOCSIS (ширина смуги регулюється під кожного оператора)
Від 750 до 1000	Вгору	В перспективі зворотній шлях для передачі даних, сигналів мережевого управління згідно стандарту DOCSIS

Нещодавно кабельна промисловість почала випуск нового коаксіального кабелю - кабелю, з чотиришарової оболонкою. Кабель, що відповідає вимогам широкопasmового зв'язку - RG6. Містить провідник, діелектрик, екран з фольги, внутрішній екран-оплетку і зовнішню оболонку. Він забезпечує високу пропускну здатність. Різні різновиди цього кабелю розраховані на частотний діапазон 1 ГГц (1000 МГц), 2.2 ГГц (2200 МГц), і 3 ГГц (3000 МГц). Такий кабель має невелику загасання і рівень шумів. Він також дозволяє прокладку під водою.

Оптичний кабель покращує більшу частину кабельної мережі між оператором та абонентом, збільшуючи пропускну здатність, надійність, і безліч сервісів. HFC системи - в значній мірі покращують умови організації розподілу типу "точка - три точки". Оптична мережа з використанням поділу на основі довжини хвилі (DWDM - Dense Wavelength Distribution Division Multiplexing) дозволяє операторам сегментувати HFC системи в більш логічну систему, що покращує безпеку, і пропонувати більш високу ширину смуги частот кожному користувачеві.

Обслуговування потоку "вгору"

Дані потоку "користувач-мережа" (вгору), в даний час для зменшених вимог ширини смуги частот, поміщені в вікно 2 МГц, в частотній смузі 5 - 42 МГц. Оскільки в напрямку потоку "користувач мережа" вузька ширина смуги частот, то використовується для передачі технологія TDM. Це поділ за часом добре працює для дуже коротких команд, запитів, і передачі адрес, що становить більшу частину потоку "користувач мережу" для більшості користувачів до CMTS при зв'язку з Інтернет.

CMTS зазвичай підтримує зону до 1000 Інтернет кабельних модемів з шириною каналу 6 МГц. Один канал на 6 МГц може забезпечити, в залежності від типу модуляції, пропускну здатність приблизно 30 Мгбіт / с (QAM-64 модуляція) 40 Мгбіт / с (QAM-256 модуляція). Ця пропускну здатність може бути розділена між сусідніми абонентами і може змінювати робочі характеристики, в залежності від поведінки інших абонентів, що працюють в режимі "онлайн". Гарною властивістю кабельної системи, що постачальник кабелю може утворити новий канал, розділяючи старі канали. Цим він може вирішити виникає конкретну проблему зміни робочих характеристик. Більшість постачальників кабелю регулярно контролює робочі характеристики і додає інший канал, коли користувач досягає деякого порога навантаження.

3.2.2. Типи модуляції в кабельних модемах

Передача інформації від головної станції до абонента в мережах

кабельного телебачення відбувається наступним чином.

Цифровий потік, який створюється головною станцією, перетворюється у відповідності з встановленим типом модуляції і передається по кабельній мережі в аналоговій формі [3].



Рис. 3.19. Передача інформації від головної станції до абонента в мережах кабельного телебачення

Кабельний модем абонента проводить демодуляцію аналогового сигналу, відновлюючи вихідний цифровий потік і передає цього на комп'ютер абонента.

Для передачі даних по цій мережі використовують два типи модуляції – *QAM* (*Quadrature Amplitude Modulation*) та *QPSK* (*Quadrature Phase Shift Keying*). Сигнали, які модулюють несучу є багаторівневими, вони описуються послідовностями багатопозиційних символів, які називаються “модуляційними” [3].

При *QPSK* модулюючий сигнал – це послідовність чотирьох позиційних символів (00. 01. 10. 11), які визначають фазу модульованого коливання.

При використанні *QPSK* модуляції аналогові сигнали розрізняються тільки фазами, які мають однакову амплітуду.

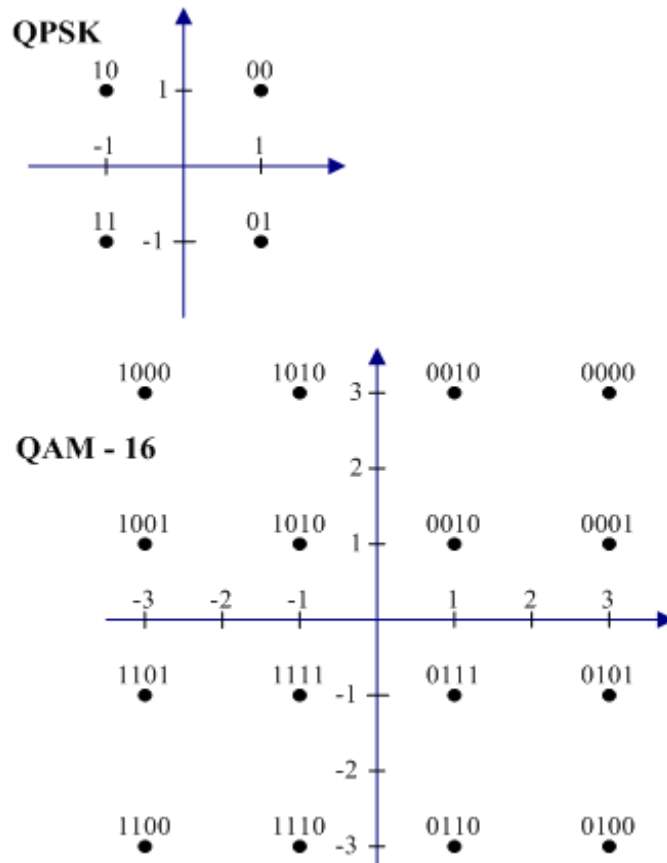


Рис. 3.20. QPSK та QAM

QAM - квадратурно – фазова маніпуляція – переключення зсувом або стрибком.

QPSK - різновид фазової модуляції, яка призначена для передачі цифрових сигналів.

Квадратурна амплітудна модуляція основана на передачі одним елементом модулюємого сигналу n біт інформації, де $n = 4...8$ (т. ч. використовуються 16...256 дискретних значень).

При використанні *QAM* цифровий потік перетворюється в аналогові сигнали з різними амплітудами і фазами, так як інформаційний сигнал кодується зміною амплітуди і фази несучого сигналу.

Наприклад, для 16 – позиційної квадратурної амплітудної модуляції (*QAM - 16*) треба формувати модуляційні символи у вигляді 4 – х розрядних двійкових слів, які визначають фазу і амплітуду модульованого коливання. Якщо при демодуляції відбувається помилка (приймається сусідній символ

замість того, що передається), то вона відобразиться тільки на одному біті. При звичайному двійковому коді такі ж помилки при демодуляції з'явилися б одразу в декількох бітах.

3.2.3.Кабельні стандарти

Зв'язок абонентів кабельної мережі з системою кабельних модемів визначається стандартом Специфікації інтерфейсу Передачі Даних по ТВ кабелю (*DOCSIS - Data over Cable Service Interface Specification*). Цей стандарт призначений для передачі і обслуговування, систем кабельних операторів, таких як мережа, яка застосовує кабельні модеми, в будинку або офісі, щоб підтримати двосторонню передачу даних через кабельну мережу. Стандарт DOCSIS був прийнятий в 1999 році.

В 2000 році сертифікат відповідності цьому стандарту мали 12 виробників головного і абонентського обладнання: *3Com, Nortel/Antec, Ascev, Cisco, Com 21, General Instrument, Philips, Broadband Networks, Samsung, Sony, Teravon, Thomson, Consumer Electronics, Toshiba*.

Цей стандарт залишився американським, в Європі прийнятий власний формат передачі даних – Технічна специфікація на європейський кабельний модем (*EuroDOCSIS*.)

Мережа по стандарту *DOCSIS* - це широкопasmовога кабельна мережа, призначена для передачі даних і мови. Кабельні оператори можуть застосовують *DOCSIS*, сполучаються з опто - коаксіальними мережами на основі стандартів *HFC* на основі центрів кабельних модемів, що знизити витрати на надання послуг передачі мови (*VoIP*) або для комплексних послуг, пов'язаних передачею голосу, даних, і послуг кабельного телебачення абонентам. При цьому мультиоператори можуть відокремити себе від постачальників телезв'язку, і можуть ефективно конкурувати з телефонними компаніями або постачальниками супутникового телебачення. В даний час відомі такі нормативні документи [4]:

- DOCSIS 1.0

- DOCSIS 1.1
- DOCSIS 2.0
- DOCSIS 3.0
- Euro DOCSIS

Цей стандарт призначений для передачі і обслуговування систем кабельних операторів, таких як мережа, яка застосовує кабельні модеми, в будинку або офісі, щоб підтримати двосторонню передачу даних через кабельну мережу. В цій ситуації виробники можуть вдосконалювати власні специфікації.

Структура системи, яка побудована на обладнанні ізраїльської компанії NetGame є типовою для систем кабельного телебачення та відповідає прийнятим стандартам [3].

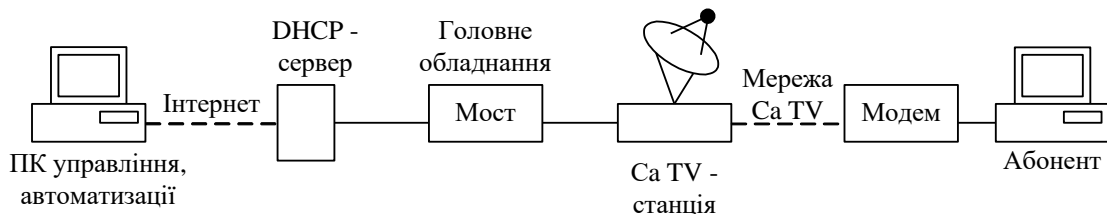


Рис. 3.21. Структура системи TVGate

Таблиця 3.7. Характеристики системи TVGate

Параметри	DOCSIS, EuroDOCSIS	NetGame
Вид модуляції: вниз (канал Down) вгору (канал Up)	256/64 QAM 256/64/16 QAM	QPSK QPSK
Швидкість передачі даних, Мбіт/с вниз (канал Down) вгору (канал Up)	42/31 10	10 5,12

Система *TVGate* повністю двонаправлена, обидва канали – прийому та передачі сформовані в одному і тому ж телевізійному кабелі.

Абонентська телефонна лінія залишається вільною, а робота комп'ютера не перешкоджає перегляду телевізійних програм.

Користувач отримує дійсно високошвидкісний доступ до Інтернету (швидкість 10 Мбіт/с, протяжність сеансу не обмежена).

Завдяки високій швидкості передачі інформації система *TVGate* забезпечує послуги, які можливі тільки при наявності виділеного каналу (прийом телевізійних каналів через Інтернет, відеоконференції та інше).

Висока пропускна спроможність, а також можливість зв'язуватися один з одним безпосередньо, без участі зовнішніх Інтернет – серверів, дозволяє системі *TVGate* реалізувати, наприклад, багатокористувацький доступ до корпоративної бази даних, сумісну роботу декількох користувачів над одним документом, передачу сумісного трафіку (дані + голос) між двома офісами, розміщеними в межах кабельної мережі.

Таблиця 3.8. Технічні характеристики системи *TVGate*

Кількість абонентів	до 1500, з них 200 одночасно активних	
Канал доступу	двонаправлений асиметричний	
	Канал Down (прийом інформації абонента)	Канал Up (передача інформації абонента)
Швидкість передачі інформації, Мбіт/с	10	5,12
Вірогідність помилки	$10^{-6} \dots 10^{-9}$	$10^{-6} \dots 10^{-9}$
Ширина смуги, що займається, МГц	6,5 (один TV – канал)	2,8
Вид модуляції сигналу	QPSK	QPSK (QAM - 16, QAM - 64)
Діапазон робочих частот, МГц	50 – 860	5 – 42
Програмне забезпечення модему	завантажується по каналу прийому	
Час готовності модема з моменту вмикання живлення, с	60	
Інтерфейси модема: до користувача; до кабельної мережі.	10 Base – T Роз'єм типу F	

Комплекс обладнання *TVGate* складається з:

- головного обладнання, яке ставиться безпосередньо на кабельній *TV* – станції;
- підсистеми віддаленого управління;
- абонентського комплекту, до складу якого входить модем і мережна Ethernet карта.

Головне обладнання виконує усі необхідні функції управління системою.

До них відносяться:

- загрузка та ініціалізація абонентських модемів;
- аутентифікація і розмежування доступу абонентів до ресурсів мережі;
- маршрутизація інформаційних потоків;
- моніторинг системи, управління робочими програмами, наприклад встановлення потужності передавачів, вибір каналу для передачі даних;
- функції збору і обробки статистики.

Передачу даних “згори вниз” (до абонента) виконує міст, при цьому швидкість передачі інформації максимальна, тому що увесь частотний ресурс використовується одним пристроєм.

Передача інформації “знизу до гори” може виконуватися будь – яким кабельним абонентським модемом, при цьому виникає задача забезпечення багатокористувацького доступу до ресурсу каналу що йде “знизу до гори”.

Протокол багатостанційного доступу з часовим розподілом каналів (БДЧР) знижує ймовірність виникнення конфлікту передач.

МАС – протокол виконує загальну синхронізацію сигналів, що передається, для чого “міст” періодично відправляє абонентським модемам синхроповідомлення.

Розподіл часових ресурсів виконується централізовано, при цьому кожному активному модему у потоці каналу “знизу до гори” виділяється часове вікно.

Головне обладнання в базовій конфігурації підтримує один “down” й один “up” канали. Зовнішній інтерфейс моста – Fast Ethernet (100 Мбіт/с).

Абонентське обладнання. Компанія NetGame поставляє два базових абонентських пристроя: індивідуальний модем NeMo – E і модем для колективного доступу NCBR – 2000.

Основні характеристики і швидкість передачі/прийому даних – до 10 Мбіт/с, час готовності модема з моменту включення живлення складає 60 – 70 с; тривалість безперервної роботи не обмежена.

NeMo – E реалізує функції *Network Address Translation (NAT)* і підтримує своїми апаратними засобами невелику (до 4 комп'ютерів) локальну мережу, при цьому вже не потребується ні зовнішнього маршрутизатора, ні проксі – сервера.

Таблиця 3.9. *Характеристика засобів доступу по системі аналогового КТБ*

Тип СКМ	Швидкість ПД	Методи модуляції та діапазони
<i>LanCity</i>	<i>DS</i> до 10 Мбіт/с <i>US</i> до 10 Мбіт/с	Модуляція: <i>QPSK (DS і US)</i> . Організація підканалів в діапазонах 54–750 МГц (<i>DS</i>) і 5–42 МГц (<i>US</i>) шириною по 6 МГц (<i>DS</i> и <i>US</i>)
<i>NetGame</i>	<i>DS</i> до 10 Мбіт/с <i>US</i> до 5 Мбіт/с	Аналогічно, але організація підканалів в діапазонах 50–850 МГц (<i>DS</i>) і 5–42 МГц (<i>US</i>)
<i>Terayon</i>	<i>DS</i> до 6 Мбіт/с <i>US</i> до 6 Мбіт/с	Модуляція: <i>S-CDMA (DS і US)</i> . Організація підканалів в діапазонах 88–750 МГц (<i>DS</i>) і 5–42 МГц (<i>US</i>) шириною до 14 МГц (<i>DS</i>) і до 10 МГц (<i>US</i>). Доступ до середи ПД по протоколу <i>MAC</i> . Підтримує пакетну ПД
<i>Com21</i>	<i>DS</i> до 30,3 Мбіт/с <i>US</i> до 10 Мбіт/с	Модуляція: <i>64QAM</i> і <i>QPSK</i> . Організація підканалів в діапазонах 88–800 МГц (<i>DS</i>) і 5–40 МГц (<i>US</i>) шириною по 6 МГц (<i>DS</i> і <i>US</i>). Підтримує пакетну ПД і <i>ATM, IP</i> . Передбачено користувацьке шифрування і захист від НСД
<i>Euro DOCSIS 1.0</i>	<i>DS</i> до 42 Мбіт/с <i>US</i> до 10 Мбіт/с	Модуляція: <i>64QAM</i> або <i>256 QAM (DS)</i> , <i>QPSK (US)</i> . Організація підканалів в діапазонах 88–860 МГц (<i>DS</i>) і 5–40 МГц (<i>US</i>) з динамічним вибором найкращого шириною по 6 МГц (<i>DS</i>) і до 3,2 (<i>US</i>). Підтримка трьохрівневого мультипротоколу. Шифрування на двох рівнях і захист від НСД

Швидкості в прямому частотному каналі СКТБ шириною 6 МГц, при різних типах модуляції згідно *docsis 1.0/1.1* [4].

Таблиця 3.10. Швидкості цифрового потоку в прямому каналі

Тип модуляції	Символьна швидкість, Мсимв/с	Швидкість передачі, Мбіт/с	Ефективна швидкість, Мбіт/с
QAM-64	5,06	30,34	27
QAM-256	5,36	42,88	39

Швидкості цифрового потоку в зворотньому каналі СКТБ шириною 6 МГц, при різній ширині каналу і різних типах модуляції згідно *docsis 1.0/1.1*.

Таблиця 3.11. Швидкості цифрового потоку в зворотньому каналі

Символьна швидкість, ксимв/с	Смуга каналу, МГц	Швидкість передачі для QPSK, кбіт/с	Швидкість передачі для QAM-16, кбіт/с	Рівень вхідного сигналу, дБ
160	0,2	290	580	-6...+14
320	0,4	580	1150	-13...+17
640	0,8	1150	2300	-10...+20
1280	1,6	2300	4600	-7...+23
2560	3,2	4600	9200	-4...+26

Символьна швидкість дорівнює кількості станів несучої (символів) в одиницю часу. Символьні швидкості різняться для різних видів модуляції.

Швидкість передачі цифрового потоку – це загальна швидкість бітового потоку з урахуванням надлишкових біт завадозахисного кодування, додаткових біт заголовка, преамбули та захистного інтервалу.

Ефективна швидкість передачі – це швидкість передачі корисної інформації без врахування надлишкових біт, тому вона завжди трохи нижча загальної швидкості бітового потоку.

Швидкості в зворотньому каналі відповідає його пропускної спроможності (максимальній швидкості), але реальна швидкість буде залежати від кількості одночасно функціонуючих активних модемів, оскільки зворотній канал є багатокористувацьким.

При виборі метода модуляції з підтверджених стандартом способів оператор СКТВ повинен виходити з фізичних характеристик своєї кабельної мережі, її стійкості до завад. Чим більше інформативний будь-який спосіб модуляції, тобто, чим більшу швидкість передачі даних він забезпечує, тим менше він захищений від завад, і навпаки.

Стандарт *DOCSIS* встановлює ряд параметрів, дозволяючих контролювати рівень *QoS*, який надається абонентам мережі, що особливо актуально при передачі інформації, яка чутлива до затримок (відео, мова). До цих параметрів відносяться максимальна і мінімальна гарантована смуги пропускання в прямому і зворотньому каналі, а також кількість тайм-слотів в одиницю часу, який виділяється модему для передачі даних по зворотньому каналу [5].

3.2.4. DOCSIS 1.1

Стандарт *DOCSIS 1.1* визначає ряд додаткових параметрів, які поліпшують якість сервісу. В ньому реалізовані механізми фрагментації та зборки великих пакетів даних, організації віртуальних каналів та завдання пріоритетів, зменшення затримки при передачі мови і відео. В основному ці механізми призначені для підтримки IP-телефонії і відеоконференції.

В якості механізму взаємодії з термінальним обладнанням абонента стандарт *DOCSIS* передбачає використання протоколу *Ethernet*. У відповідності з ним дані упаковуються в кадри. Крім того, при передачі в прямому каналі кадри можуть вміщуватися в транспортні потоки *MPEG-2* для сумісності зі стандартами цифрового телебачення [4].

В якості основного транспортного механізму для зв'язку мережі КТВ з мережею передачі даних стандарт *DOCSIS* використовує протокол *IP (Internet Protocol)* мережі Інтернет з нефіксованою довжиною пакетів. Кожному

пристрою в системі доступу, включаючи абонентські кабельні модеми, назначається свою *IP*-адресу. Одному абонентському пристрою, який має єдину *MAC*-адресу, може призначатися декілька різних *IP*-адрес. Пакет *IP* має заголовок і область даних. В заголовок кожного пакета додаються *IP*-адреси відправника й отримувача даних. У відповідності з цими адресами головне обладнання маршрутизує пакети даних від абонентів кабельної мережі зовнішню мережу Інтернет та назад.

В стандарти *DOCSIS* реалізована пряма підтримка протоколу *IP*, без перетворень формату пакетів. У доповнення до стандарту *DOCSIS* був випущений ряд специфікацій, об'єднаних назвою *Packet Cable*. Вони стосуються порядку функціонування системи мережного менеджменту, сигналізації і механізмів гарантування якості *QoS*. Стандартами *DOCSIS* передбачені корекція помилок і криптозахист.

– для *DOCSIS 1x* наводиться один варіант мережі зв'язку;

– для *DOCSIS 2.0* два варіанти:

1) *A - TDMA (Advanced Time Division Multiplexing Access)*

2) радіо варіант *S-CDMA* (варіант системи множинного доступу з кодовим розподілом).

A-TDMA є звичайним варіант тимчасового поділу, коли кожен канал від модему утворюється шляхом виділення тимчасового слота.

Удосконалення в порівнянні з *DOCSIS 1x* полягає в тому, що в ньому передбачена швидкість формування каналу вдвічі більшого каналу шириною 6,4 МГц, і додатково дозволяється застосування способів квадратурної модуляції (8-QAM, 32 - QAM і 64 - QAM).

Для усунення помилок використовується код Ріда - Соломона в *DOCSIS 1x* з довжиною контрольного блоку 10 байт, а в *DOCSIS 2.0* 16 байт.

У *DOCSIS 2.0* для зменшення числа помилок застосовується перестановка блоків - "*інтерлівінг*".

Для боротьби з спотвореннями при поширенні застосовуються

Вирівнювачі - еквалайзери. При цьому в DOCSIS 1x застосовується 8-ми смуговий вирівнювач, в DOCSIS 2.0 24-х смуговий [4].

Таблиця 3.12. Основні характеристики стандартів DOCSIS 1.x і DOCSIS 2.0

Свойства	DOCSIS 1.x	DOCSIS 2.0	
		A-TDMA	S-CDMA
Техніка мультиплексування	Доступ з частотним розподілом (<i>FDMA</i>)/ доступ з часовим розподілом (<i>TDMA</i>)	<i>FDMA/TDMA</i>	<i>TDMA/S-CDMA</i>
Символьна швидкість (ксим/сек)	160, 320, 640, 1280, 2560	160, 320, 640, 1280, 2560, 5120	1280, 2560, 5120
Тип модуляції	Квадратурно-фазова маніпуляція (<i>QPSK</i>), 16 - <i>QAM</i>	<i>QPSK</i> , 8- <i>QAM</i> , 16- <i>QAM</i> , 32- <i>QAM</i> , 64- <i>QAM</i>	<i>QPSK</i> , 8- <i>QAM</i> , 16- <i>QAM</i> , 32- <i>QAM</i> , 64- <i>QAM</i> , 128 - <i>QAM</i> (модуляція з решітчатим кодуванням – <i>TCM</i>)
Спектральна ефективність (біт/с/сिम)	2 або 4	2 до 6	1 до 6
Система попередньої корекції помилок (<i>FEC</i>)	RC (R=1 до 10)*	RC (R=1 до 16)*	RC (R=1 до 16)*
Еквалайзер	8-ми смуговий	24 - смуговий	24 - смуговий
Перестановка блоків	Немає	Є	Немає
Бітова швидкість (Мбіт/с)	0,32 до 10,24	0,32 до 10,24	2,56 до 30,72

DOCSIS 1.1 включає в себе наступні послуги:

1. Безпека.
2. Угоди про Рівні обслуговування.

3. Якісний міжміський голосовий зв'язок VoIP .

4. Групова розсилка IP.

Безпека - DOCSIS 1.1 забезпечує основні механізми безпеки, які дозволяють індивідуальному користувачеві зберігати інформаційну безпеку в рамках загального кабельної мережі.

Заходи безпеки надають ключі шифрування, які захищають інформацію між кінцевим обладнанням CMTS і абонентським кабельним модемом.

Також додаються механізми охорони і фільтрації, щоб пом'якшити ризик атак при розсилці широкомовних повідомлень на абонентських кабельних модемів і впізнавати зареєстрованих користувачів кабельної системи.

Угоди про Рівні обслуговування - це механізми, які часто потрібні діловим користувачам. Угода про якість обслуговування фіксує коефіцієнт якості обслуговування і гарантують користувачеві необхідну ширину смуги частот, а також застосування різних пріоритетів між даними, відео, або мовним додатками. Угода може також підтримати мультимедійні ігри та відео послуги, конференц-зв'язок при асиметричній доставці.

Якісний міжміський голосовий зв'язок VoIP - це здатність надавати міжміські VoIP послуги при наявності перевантаження і гарантії якості обслуговування.

Групова розсилка IP - групова розсилка IP забезпечує підтримку в реальному масштабі часу потоку відео IP [5].

3.2.5. Euro-DOCSIS

Стандарти кабельного модему з'явилися в Європі у вигляді стандарту *Euro-DOCSIS*, по суті повторює *DOCSIS 1.0* і посилається на цей стандарт.

Головна відмінність стандарту між *DOCSIS 1.0* і *Euro-DOCSIS* - це те, що Європа використовує смуги пропускання в канал 8 МГц на противагу північноамериканському стандарту, який використовує 6 МГц [6].

Таблиця 3.13. Швидкість передачі, встановлена версіями протоколу

Version	DOCSIS		EuroDOCSIS	
	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream
1.x	42.88 (38) Mbit/s	10.24 (9) Mbit/s	55.62 (50) Mbit/s	10.24 (9) Mbit/s
2.0	42.88 (38) Mbit/s	30.72 (27) Mbit/s	55.62 (50) Mbit/s	30.72 (27) Mbit/s
3.0 4channel	+171.52 (+152) Mbit/s	+122.88 (+108) Mbit/s	+222.48 (+200) Mbit/s	+122.88 (+108) Mbit/s
3.0 8channel	+343.04 (+304) Mbit/s	+122.88 (+108) Mbit/s	+444.96 (+400) Mbit/s	+122.88 (+108) Mbit/s

З моменту первинного схвалення стандарту в 1998 році відбулося вже п'ять його поколінь з постійно зростаючими швидкостями передачі: DOCSIS 1.0, 1.1, 2.0, 3.0 і DOCSIS 3.1. Останнє покоління, DOCSIS 3.1, випущене в жовтні 2013 року, пропонує кілька істотних поліпшень в порівнянні зі своїми попередниками. До найбільш важливим інновацій відносяться корекція помилок за допомогою коду з малою щільністю перевірок на парність (LDPC), модуляція OFDM і дуже широка смуга пропускання каналів - до 192 МГц в низхідному каналі і до 96 МГц у висхідному. У наступній таблиці представлений порівняльний огляд основних параметрів [7].

Таблиця 3.14. Порівняння основних параметрів DOCSIS 3.0 і DOCSIS 3.1

	Downstream	Downstream	Downstream	Downstream
Версія	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1
Смуга каналу	6 МГц або 8 МГц	24–192 МГц	0,2–6,4 МГц	6,4–96 МГц
Модуляція	одна несуча	OFDM	одна несуча	OFDM
Рівень QAM	до 256 QAM	до 4096 QAM	до 64 QAM	до 4096 QAM
Метод множинного доступу			TDMA S-CDMA	OFDMA
Упереджувальна корекція помилок (FEC)	Рід-Соломон	LDPC*/VCH**	Рід-Соломон	LDPC/VCH

**LDPC-код (Low-density parity-check code, LDPC-code, низькоплотностний код)* - код з малою щільністю перевірок на парність - використовується в передачі інформації, окремий випадок блочного лінійного коду з перевіркою парності. Особливістю є мала щільність значущих елементів перевіркової матриці, за рахунок чого досягається відносна простота реалізації засобів кодування.

***BCH code (Коди Боуза — Чоудхурі — Хоквінгема)* — в теорії кодування це широкий клас циклічних кодів, що застосовуються для захисту інформації від помилок. Відрізняється можливістю побудови коду із заздалегідь визначеними коригувальними властивостями, а саме, мінімальною кодовою відстанню. Окремим випадком БЧХ-кодів є Код Ріда-Соломона.

DOCSIS 3.1 також встановлює нові діапазони частот для низхідних і висхідних каналів. Загальний частотний діапазон буде розширено в два етапи: спочатку до 1218 МГц, а потім до 1794 МГц [7].

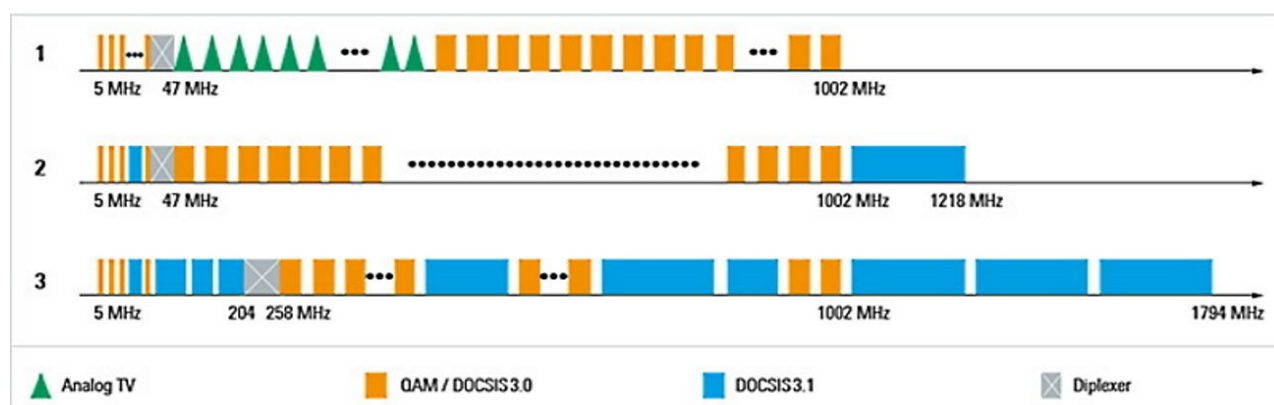


Рис. 3.22. Розширення загального частотного діапазону DOCSIS 3.1

Ці поліпшення дозволяють DOCSIS 3.1 досягти швидкості передачі до 10 Гбіт / с в низхідному каналі і 1 Гбіт / с у висхідному каналі.

Контрольні питання

1. Структура абонентської кабельної мережі.
2. З яких пристроїв складається система кабельних модемів:
 - a. перетворювач;
 - b. розгалужувач;
 - c. комутатор;
 - d. шейпер;
 - e. маршрутизатор.

3. Наведіть структурну схему системи кабельних модемів.
4. Який тип модуляції використовується в стандарті DOCSIS 1.x:
 - a. CAP;
 - b. QPSK;
 - c. QAM-128;
 - d. QAM-64;
 - e. DMT;
 - f. TCM;
 - g. QAM-16.
5. Який тип модуляції використовується в стандарті DOCSIS 2.0 (варіант A-TDMA):
 - a. CAP;
 - b. QPSK;
 - c. QAM-128;
 - d. QAM-64;
 - e. DMT;
 - f. TCM;
 - g. QAM-16;
 - h. QAM-32.
6. Який тип модуляції використовується в стандарті DOCSIS 2.0 (варіант S-CDMA):
 - a. CAP;
 - b. QPSK;
 - c. QAM-128;
 - d. QAM-64;
 - e. DMT;
 - f. TCM;
 - g. QAM-16;
 - h. QAM-32.
7. Наведіть структурну схему абонентської кабельної мережі з використанням системи кабельних модемів.
8. В стандарті кабельних мереж DOCSIS 2.0 для боротьби з спотвореннями використовується:
 - a. еквалайзери;
 - b. техніка мультиплексування;
 - c. тип модуляції;
 - d. інтерлівінг;
 - e. кодування інформації.
9. Поясніть принцип роботи абонентської кабельної мережі.
10. Стандарт DOCSIS 2.0 (S-CDMA) забезпечує швидкість передачі:

- a. 320 кбіт/с;
- b. 10.2 Мбіт/с;
- c. 36 Мбіт/с;
- d. 2.5 Мбіт/с;
- e. 30.7 Мбіт/с;
- f. 5 Мбіт/с.

11. Стандарт DOCSIS 2.0 (A-TDMA) забезпечує швидкість передачі:

- a. 320 кбіт/с;
- b. 10.2 Мбіт/с;
- c. 36 Мбіт/с;
- d. 2.5 Мбіт/с;
- e. 30.7 Мбіт/с;
- f. 5 Мбіт/с.

12. Стандарт DOCSIS 1.x забезпечує швидкість передачі:

- a. 320 кбіт/с;
- b. 10.2 Мбіт/с;
- c. 36 Мбіт/с;
- d. 2.5 Мбіт/с;
- e. 30.7 Мбіт/с;
- f. 5 Мбіт/с.

13. Стандарт DOCSIS 1.x використовує наступну техніку мультиплексування:

- a. FDMA;
- b. TDMA;
- c. CDMA;
- d. FDMA і TDMA;
- e. TDMA і CDMA.

14. Стандарт DOCSIS 2.0 використовує наступну техніку мультиплексування:

- a. FDMA;
- b. TDMA;
- c. CDMA;
- d. FDMA і TDMA;
- e. TDMA і CDMA.

15. В стандарті кабельних мереж DOCSIS 2.0 для зменшення числа помилок використовується:

- a. еквалайзери;
- b. техніка мультиплексування;
- c. тип модуляції;
- d. інтерлівінг;
- e. маршрутизація.

16. Стандарт DOCSIS 3.0 забезпечує швидкість передачі:

- a. 34 Мбіт/с;
- b. 10.2 Мбіт/с;
- c. 36 Мбіт/с;
- d. 120 Мбіт/с;
- e. 30.7 Мбіт/с;
- f. 160 Мбіт/с.

17. Яким чином відбувається передача даних через мережу Ca TV з поверненням даних від абонентів через телефонну мережу міста ?
18. Яким чином відбувається двонаправлена передача даних через мережу CaTV?
19. Що собою представляє система кабельних модемів?
20. Які існують стандарти кабельних мереж?
21. Які типи модуляції використовуються в стандартах кабельних мереж?
22. Які наступні послуги включає в себе DOCSIS 1.1.
23. Технічні характеристики EuroDOCSIS.

Список рекомендованої літератури

1. Бондарчук А. П. Основи інфокомунікаційних технологій: навчальний посібник [Електронний ресурс] / А. П. Бондарчук, Г. С. Срочинська, М. Г. Твердохліб // Київ, ДУТ. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dut.edu.ua/ua/lib/1/category/1090/view/840>.
2. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник для вищих навчальних закладів./ П.П.Воробієнко, Л.А.Нікітюк, П.І.Резніченко. – К.: САММІТ-КНИГА, 2010 – 708 с.
3. Жураковський Б.Ю. Системи доступу. Навчальний посібник. [Електронний ресурс] / Б. Ю. Жураковський, Н. В. Коршун // Київ, Державний університет телекомунікацій. – 2015. – 58 с.– Режим доступу до ресурсу: http://ir.nmapo.edu.ua:8080/jspui/bitstream/lib/277/1/1_841_81364872.pdf
4. Новиков Ю. В., Кондратенко С. В. Основы локальных сетей. Курс лекций. [Електронний ресурс]. – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступу до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/57/57/info>.
5. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. Сети абонентского доступа: Учебное пособие / Сост. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. – Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2004. – 120 с.
6. Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения: Учебное пособие. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 224 с.
7. [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалу: https://www.rohde-schwarz.com/ua/technologies/cable_tv/docsis/docsis-technology/docsis_technology_55513.html#media-gallery-8.

3.3. ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТУПУ

3.3.1. Технології групи FTTx

Група технологій *FTTx* (*Fiber To The x - оптичне волокно до ...*) призначена для спільного використання з технологіями ADSL і VDSL і дозволяє більш ефективно використовувати пропускну здатність цих технологій завдяки скороченню довжини мідно-кабельних ліній зв'язку.

Є кілька варіантів реалізації FTTx, з них можна виділити основні [1]:

- *FTTH - Fiber To The Home* (доведення волокна до квартири);

- *FTTB - Fiber To The Building* (доведення волокна до будівлі).

Варіанти, по суті, дублюють FTTH і FTTB з невеликими змінами:

- *FTTN - Fiber to the Node* (волокно до мережевого вузла);

- *FTTO - Fiber To The Office* (доведення волокна до офісу);

- *FTTC - Fiber To The Curb* (доведення волокна до кабельної шафи);

- *FTTCab - Fiber To The Cabinet* (аналог FTTC);

- *FTTR - Fiber To The Remote* (доведення волокна до віддаленого модуля, концентратора);

- *FTTOpt - Fiber To The Optimum* (доведення волокна до оптимального пункту);

- *FTTP - Fiber To The Premises* (доведення волокна до точки присутності клієнта).

Окремо потрібно відзначити концепцію

- *FITB (Fiber In The Building)* - організація розподільної мережі всередині будівлі.

- Вище зазначені технології відрізняються головним чином тим, наскільки близько до призначеного для користувача терміналу підходить оптичний кабель (рис. 3.23).

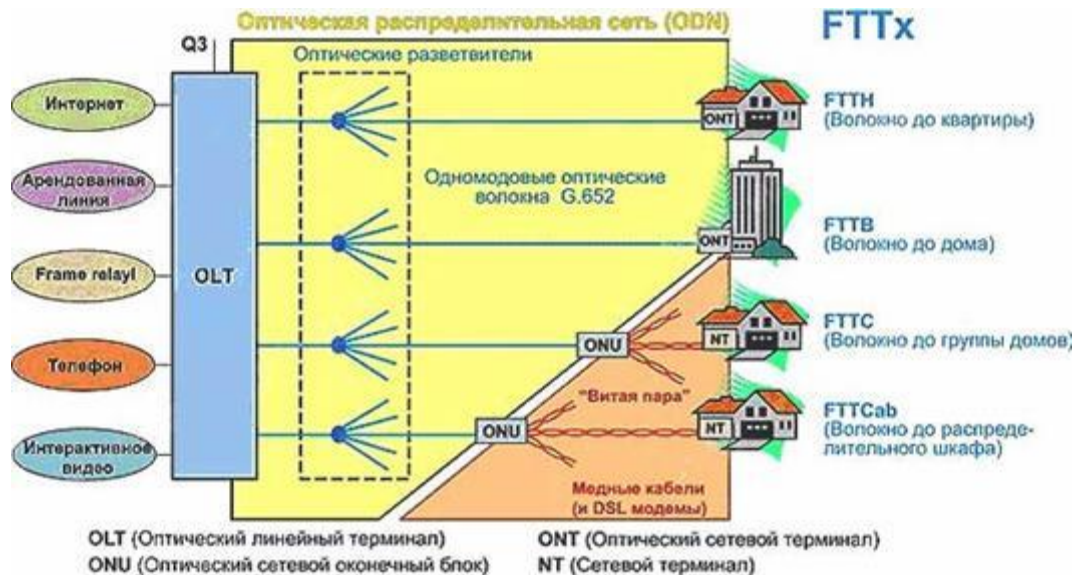


Рис. 3.23. Технології оптичного доступу FTТх

На даний момент інтенсивно зростає інтерес до розгортання оптичних мереж доступу з прокладанням кабелю до будівлі (FTTB), а також безпосередньо до абонента (FTTH). Більшою мірою, така ситуація пояснюється постійним зростанням вимог до пропускної спроможності каналів зв'язку, оскільки зараз спостерігається бум розвитку «важких» інтернет-додатків, включаючи онлайн-відео, онлайн-ігри та інші сервіси.

При цьому запланований набір послуг і необхідна для його надання смуга пропускання мають безпосередній вплив на вибір технології FTТх. Тому чим вище швидкість доступу і чим більше набір наданих послуг, тим ближче до абонентського терміналу повинне підходити оптичне волокно, тобто потрібно використовувати технології FTTH. У випадку, коли пріоритетом є збереження вже наявної мережевої інфраструктури і устаткування, оптимальним вибором буде FTTB [1].

Якщо ж говорити про сьогоденні реалії, архітектура FTTB переважає в новобудовах і у великих операторів зв'язку, тоді як FTTH затребувана в новому малоповерховому будівництві (наприклад, в котеджних містечках в околицях великих міст).

Розглянемо особливості реалізації та застосуванні найбільш поширених технологій.

Технологія FTТN використовується в основному як бюджетне і швидко впроваджуване рішення там, де існує розподільна "мідна" інфраструктура і прокладка оптики нерентабельна. Всім відомі пов'язані з цим рішенням труднощі: невисока якість надаваних послуг, обумовлене специфічними проблемами лежать в каналізації мідних кабелів, істотне обмеження по швидкості і кількістю підключень в одному кабелі [2].

Технологія FTТC - це покращений варіант FTТN, позбавлений частини його недоліків. Архітектура FTТC в першу чергу призначена для операторів, що вже використовують технології xDSL або PON, і операторів кабельного телебачення. Реалізація архітектури FTТC дозволить їм з меншими витратами збільшити і кількість обслуговуваних користувачів, а також виділяється кожному з них смугу пропускання. У Росії цей тип підключення часто застосовується невеликими операторами Ethernet-мереж. Пов'язано це з більш низькою вартістю мідних рішень і з тим, що монтаж оптичного кабелю вимагає високої кваліфікації виконавця [2].

Технологія FTТB передбачає доведення волокна до будівлі, і отримала найбільше поширення, оскільки при будівництві мереж FTТx на базі Ethernet - це, найчастіше, єдина технічно можлива схема побудови мережі. Крім того, в структурі витрат на створення Ethernet-мережі різниця між варіантами FTТC і FTТB відносно невелика. Також не слід забувати, що операційні витрати при експлуатації мережі FTТB нижче, а пропускна здатність вище.

Технологію FTТB доцільно застосовувати в разі розгортання мережі в багатоквартирних будинках і бізнес-центрах. Російські оператори зв'язку розгортають мережі FTТB поки тільки у великих містах, але в перспективі планується використання даної технології повсюдно. У FTТB немає необхідності прокладати дорогий оптичний кабель з великою кількістю волокон, як при використанні FTТN [1].

У разі FTТB оптичне волокно заводиться в будинок, як правило, на цокольний поверх або на горище і підключається до пристрою ONU (Optical Network Unit). На стороні оператора зв'язку встановлюється термінал оптичної лінії OLT (Optical Line Terminal). OLT є primary пристроєм і визначає

параметри обміну трафіку (наприклад, інтервали часу прийому / передачі сигналу) з абонентськими пристроями ONU (або ONT, у разі FTTH). Подальший розподіл мережі по дому відбувається по «кручений парі» (рис.3.24а).

Технологія FTTH є найбільш витратною, але в той же час і найбільш перспективною, серед всіх типів доступу FTTx. FTTH уявляє доведення оптичного волокна до квартири або приватного будинку користувача. У цьому випадку оптичне волокно заводиться в будинок, як правило, на цокольний поверх або на горище (що більш економічно доцільно) і підключається до пристрою ONU (Optical Network Unit). На стороні оператора зв'язку встановлюється термінал оптичної лінії OLT (Optical Line Terminal). OLT є рiмiару пристроєм і визначає параметри обміну трафіку (наприклад, інтервали часу прийому / передачі сигналу) з абонентськими пристроями ONU (або ONT, у разі FTTH). Подальший розподіл мережі по дому відбувається по «кручений парі» (рис.3.24б) [2].

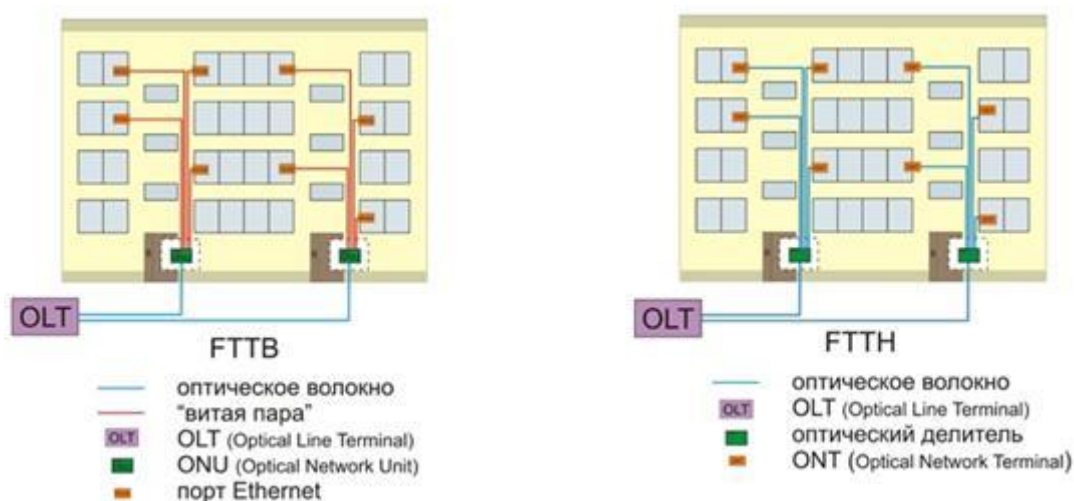


Рис.3.24а - Технологія FTTB

Рис.3.24б - Технологія FTTH

На перший погляд, будівництво мережі FTTH - це дуже трудомісткий і дорогий процес, але досвід підказує, що основні витрати при розгортанні мережі FTTH припадають на будівельні роботи, а вартість самого оптоволоконного кабелю становить відносно невелику частину. Це означає, що

в разі необхідності проведення будівельних робіт кількість прокладається оптоволоконного кабелю вже не має великого значення.

Більше того, хоча життєвий цикл мережі FTTH та її електронних компонентів становить кілька років, оптоволоконний кабель і оптична розподільча мережа мають більш тривалий термін служби (принаймні, 30 років).

Архітектури розгорнутих мереж FTTH можна розділити на три основні категорії:

- «Кільце» Ethernet-комутаторів.
- «Зірка» Ethernet-комутаторів.
- «Дерево» з використанням технологій пасивної оптичної мережі PON.

3.3.2. Оптичні технології в мережах доступу

Технології оптичної передачі в мережі доступу поділяються на активні та пасивні.

Активна оптична технологія базується на різних мультиплексорах (PDH, SDH, ATM), кільцевих і лінійних конфігураціях з гарантованим захистом трафіка. Приклад такої конфігурації наведено на рис. 3.25.

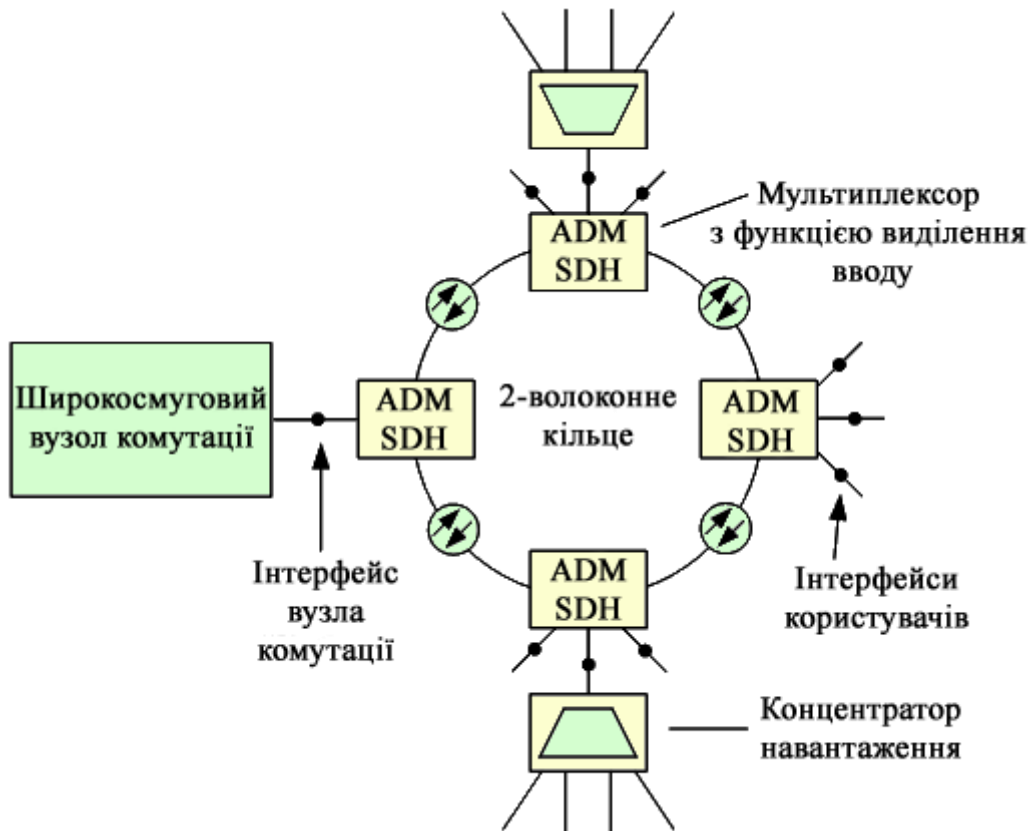


Рис. 3.25. Приклад схеми мережі доступу із застосуванням активної оптичної технології

Це рішення має високу вартість інтерфейсів користувачів, оптичних інтерфейсів і обладнання мультиплексорів виділення/введення (ADM SDH) синхронної цифрової ієрархії. При цьому гарантується захист всього трафіка мережі доступу у разі пошкодження будь-якої ділянки волоконно-оптичної лінії або лінійного інтерфейсу [3].

Значно більшого застосування набули технічні рішення з пасивними волоконно-оптичними мережами (рис. 3.26), призначеними для широкосмугової передачі (*Broadband Passive Optical Network, B-PON*).

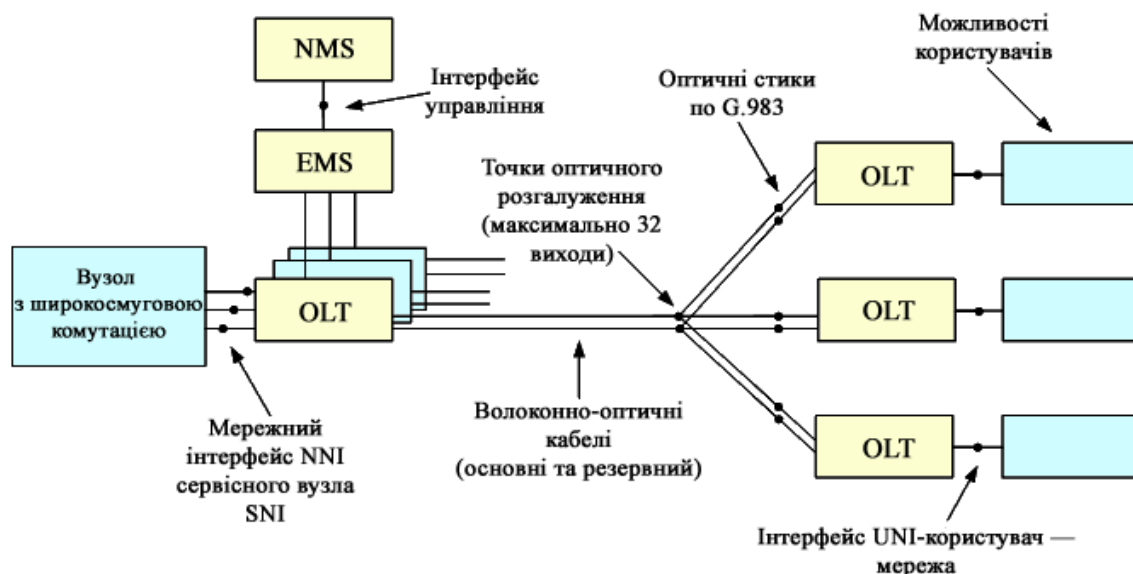


Рис. 3.26. Приклад мережі доступу з PON:

OLT (Optikal Line Terminal) — оптичне лінійне закінчення;

ONU (Optikal Network Unit) — оптичний мережний блок (доступу);

NMS (Network Management System) — система управління мережею;

EMS (Element Management System) — елемент системи управління

ITU-T розробив низку рекомендацій щодо пасивної волоконно-оптичної технології для мереж доступу. Це Рекомендації:

- G.983.1 (1998 р.) — специфікація швидкостей 155 Мбіт/с і 622 Мбіт/с;
- G.983.2 (2000 р.) — специфікація обладнання контролю й управління мереж доступу;
- G.983.3 (2001 р.) — розподіл хвиль оптичного діапазону для мультиплексування декількох хвиль у PON;
- G.983.4 (2001 р.) — динамічне призначення смуги частот для сигналів;
- G.983.5 (2001 р.) — дублювання функцій лінійної передачі в мережі доступу;
- G.983.7 (2001 р.) — специфікація управління і контролю обладнання з динамічним призначенням смуги частот;

- G.984 (1-4) (2001 р.) — визначили можливості управління PON. Загальну архітектуру B-PON подано на рис. 3.26.

У цій схемі центральним елементом є точка оптичного розгалуження. В найпростішому виконанні це пасивний оптичний дільник, у якому потужність сигналу ділиться рівномірно між тими волокнами, що виходять, тобто

$$P_i \leq \frac{P_{\text{вх}}}{n},$$

де n — число волокон, що виходять з роздільника.

3.3.3. Технологія пасивної оптичної мережі PON

Підгрупа технологій пасивних оптичних мереж (PON) - це сімейство швидко, найбільш перспективних технологій ширококутового мультисервісного множинного доступу з оптичного волокна. Суть технології пасивних оптичних мереж, яка випливає з її назви, полягає в тому, що її розподільна мережа будується без будь-яких активних компонентів: розгалуження оптичного сигналу здійснюється за допомогою пасивних подільників оптичної потужності - спліттерів. Наслідком цієї переваги є зниження вартості системи доступу, зменшення обсягу необхідного мережевого управління, висока дальність передачі і відсутність необхідності в подальшій модернізації розподільної мережі.

Сутність технології PON полягає в тому, що між прийомопередаючим модулем центрального вузла OLT (optical line terminal) і віддаленими абонентськими вузлами ONT (optical network terminal) створюється повністю пасивна оптична мережа, що має топологію дерева. У проміжних вузлах дерева розміщуються пасивні оптичні розгалужувачі (сплітери) з коефіцієнтом розгалуження до 1:64 або навіть 1: 128. - Компактні пристрої, які не потребують харчування та обслуговування. Один приймальний модуль OLT дозволяє передавати інформацію безлічі абонентських пристроїв ONT. Число ONT, підключених до одного OLT, може бути настільки великим, наскільки дозволяє бюджет потужності і максимальна швидкість прийомопередаючої апаратури.

При радіусі дії PON близько 20 км максимальна кількість розгалужень має бути не більше 32 за визначенням ІТУ-Т (Рекомендація G.982), що обумовлено можливостями енергетичного потенціалу оптичної передачі, тобто потужністю передавача, чутливістю приймача, загасанням скловолокна на різних довжинах хвиль, загасанням пристроїв розділення потужності тощо.

Для ефективного використання ділянки доступу PON між OLT і ONU запропоновано декілька варіантів рішень щодо передачі оптичних сигналів:

- передача синхронна цифрових циклів з певними часовими позиціями для ONU на одній частоті;
- передача асинхронних транспортних мод (АТМ) з адресами для ONU (рис. 3.27);
- передача і прийом синхронна й асинхронна на різних оптичних частотах, наприклад, передача 1550 нм, прийом 1310 нм;
- передача і прийом сигналів кожному (від кожного) ONU на своїх окремих частотах при використанні замість оптичного розгалужувача оптичного фільтра з підсилювачем і двома окремими волокнами передачі і прийому (рис. 3.28);
- передача і прийом оптичних пакетів, складених з часових пакетів на різних довжинах хвиль (рис. 3.29) і в одному або різних волокнах з використанням оптичного пакетного розгалужувача. В будь-якому з варіантів передачі в В-PON потрібна синхронізація цифрових закінчень ONU. Ця синхронізація має бути забезпечена єдиним високостабільним тактовим генератором. Окрім того, у напрямі кожного ONU повинні слідувати часові або частотні позиції сигналів для контролю й управління.

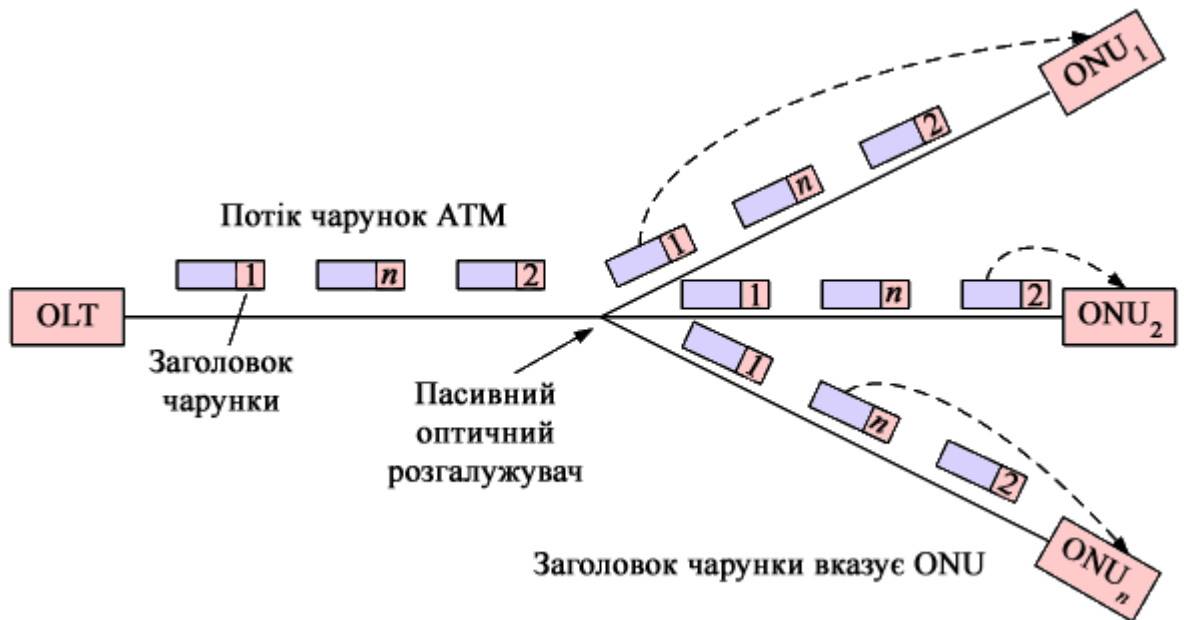


Рис. 3.27. Передача в PON потоку чарунок ATM, що розділяються адресами заголовків і послугами всередині кожного потоку на ONU

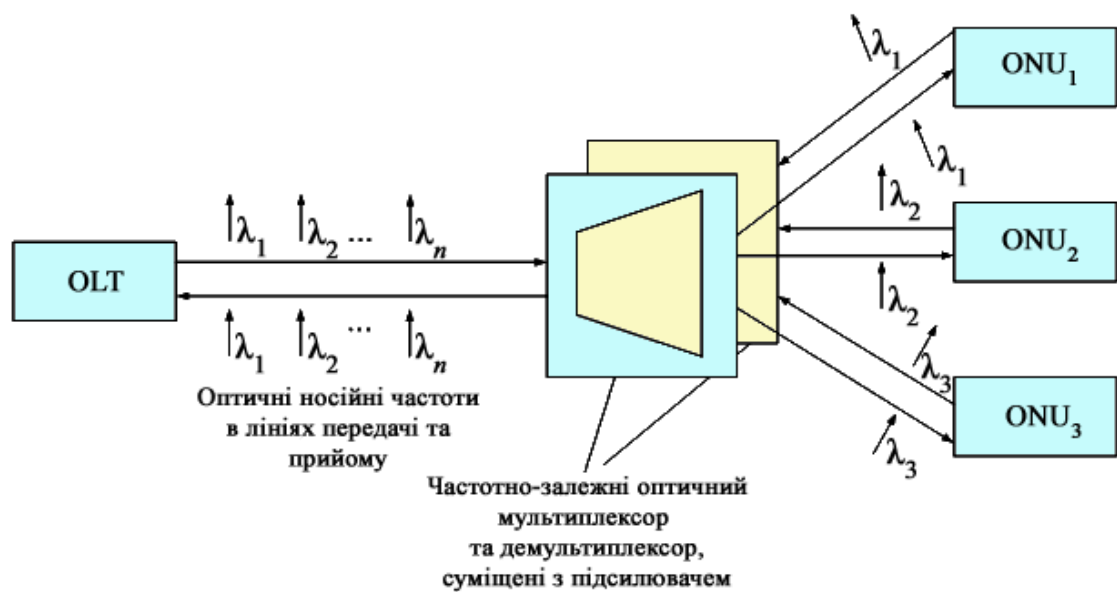


Рис. 3.28. Передача в PON з використанням частотного і просторового розділення сигналів мережі доступу

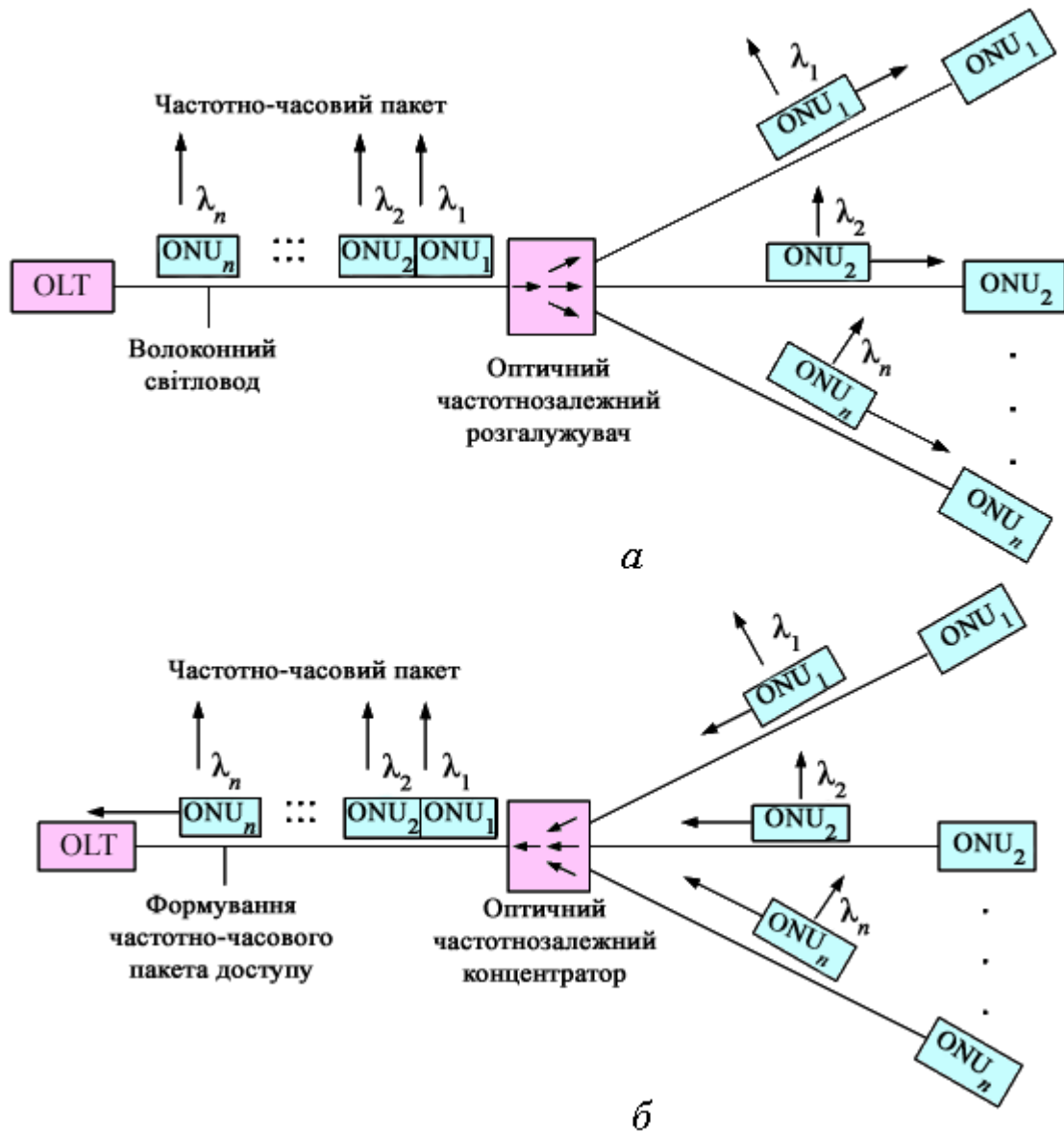


Рис. 3.29. Передача в PON з використанням частотно-часових пакетів сигналів мережі доступу:
 а — передача в PON частотно-часових пакетів; б — доступу в PON частотно-часовими пакетами

У масштабних провідних мережах доступу, що покривають великі території, можливе комбіноване використання всіх розглянутих методів побудови мережі та передачі даних.

Для передачі прямого і зворотного каналу використовується одне оптичне волокно, смуга пропускання якого динамічно розподіляється між абонентами, або два волокна в разі резервування. Низхідний потік (downstream) від центрального вузла до абонентів йде на довжині хвилі 1490 нм і 1550 нм для

відео. Висхідні потоки (upstream) від абонентів йдуть на довжині хвилі 1310 нм з використанням протоколу множинного доступу з тимчасовим поділом (TDMA). У деяких випадках використовується додаткова довжина хвилі низхідного потоку (downstream), що дозволяє надавати традиційні аналогові і цифрові телевізійні послуги користувачам без застосування телевізійних приставок з підтримкою IP [4].

Для побудови PON використовується топологія «точка - багатоточка» і сама мережа має деревоподібну структуру. Кожен волоконно-оптичний сегмент підключається до одного прийомопередавача в центральному вузлі (на відміну від топології "точка-точка"), що також дає значну економію у вартості обладнання. Один волоконно-оптичний сегмент мережі PON охоплює до 32 абонентських вузлів в радіусі до 20 км для технологій EPON / BPON і до 128 абонентських вузлів в радіусі до 60 км для технології GPON (рис. 3.20). Кожен абонентський вузол розрахований на звичайний житловий будинок або офісний будинок і в свою чергу може охоплювати сотні абонентів. Всі абонентські вузли є термінальними, і відключення або вихід з ладу одного або декількох абонентських вузлів ніяк не впливає на роботу інших [1, 2, 3].

Архітектура FTTH на базі PON зазвичай підтримує протокол Ethernet. Центральний вузол PON може мати мережеві інтерфейси ATM, SDH (STM-1), Gigabit Ethernet для підключення до магістральних мереж. Абонентський вузол може надавати сервісні інтерфейси 10 / 100Base-TX, FXS (2, 4, 8 і 16 портів для підключення аналогових телефонних абонентів), E1, цифрове відео, ATM (E3, DS3, STM-1).

На рис. 3.30 зображена типова пасивна оптична мережа PON, в якій використовуються різні термінатори оптичної мережі (optical network termination, ONT) або пристрої оптичної мережі (optical network unit, ONU). ONT призначені для використання окремим кінцевим користувачем. Пристрої ONU зазвичай розташовуються на цокольних поверхах або в підвальних приміщеннях і спільно використовуються групою користувачів. Голосові сервіси, а також послуги передачі даних і відео доводяться від ONU або ONT до абонента по кабелях, прокладених у приміщенні абонента.

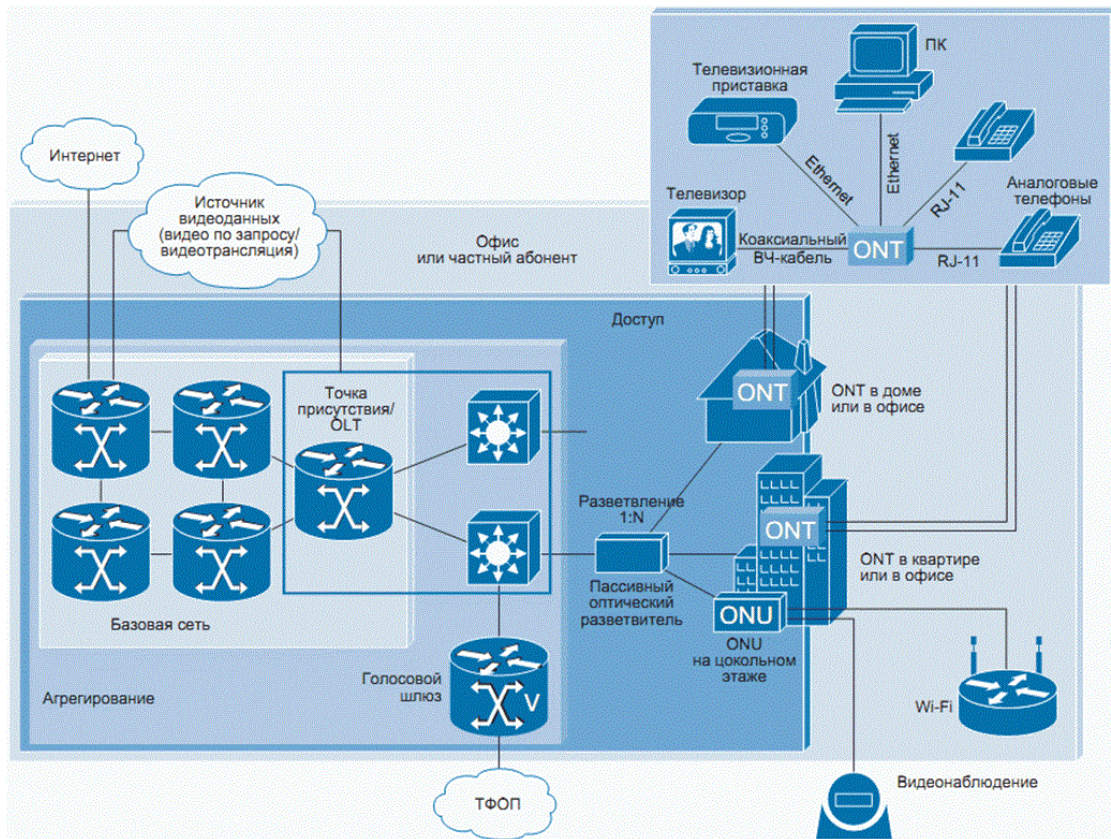


Рис.3.30 – Структура типовой пассивной оптической сети PON

У семействі мереж PON існує кілька різновидів, що відрізняються, в першу чергу, базовим протоколом передачі. Причому стандарти PON активно вдосконалюються в напрямку збільшення швидкості передачі і дальності зв'язку.

Стандарт мережі APON був створений міжнародним консорціумом FSAN (Full Service Access Network) в 1995 році. До складу мережі APON входять:

- Один мережний вузол OLT (Optical Line Terminal),
- До 32 абонентських терміналів ONU (Optical Network Unit),
- Пасивні оптичні відгалужувачі (splitter).

У стандарті APON забезпечувалася швидкість передачі прямого і зворотного потоків по 155 Мбіт / с (симетричний режим) або 622 Мбіт / с у прямому потоці і 155 Мбіт / с у зворотному (асиметричний режим). Щоб уникнути накладення даних, що надходять від різних абонентів, OLT направляло на кожен ONU службові повідомлення з дозволом на відправлення даних. Прямий і зворотний канали організуються в одному оптичному волокні

за рахунок хвильового ущільнення - передача до абонентів ведеться на довжині хвилі 1550 нм, а у зворотному напрямку - 1310 нм. Швидкість передачі інформації для індивідуального користувача становить 20 Мбіт / с, а максимальне видалення користувача від вузла доступу - 20 км. В даний час APON у своєму первісному вигляді практично не використовується [5].

Стандарт BPON з'явився в результаті еволюційного вдосконалення технології PON. У BPON швидкість прямого і зворотного потоків доведена до 622 Мбіт / с в симетричному режимі або 1244 Мбіт / с і 622 Мбіт / с в асиметричному режимі. Передбачена можливість передачі трьох основних типів інформації (голос, відео, дані), причому для потоку відеоінформації виділена довжина хвилі 1550 нм. BPON дозволяє організувати динамічний розподіл смуги між окремими абонентами. Після розробки більш високошвидкісної технології GPON, застосування BPON практично втратило сенс чисто економічно [1, 2].

Стандарт EPON (Ethernet PON) з'явився в результаті використання технології Ethernet в локальних мережах і побудова на їх основі оптичних мереж доступу. Такі мережі, в основному, розраховані на передачу даних зі швидкістю прямого і зворотного потоків 1 Гбіт / с на основі IP-протоколу для 16 (або 32) абонентів. Виходячи зі швидкості передачі, в статтях і літературних джерелах часто фігурує назва GEPON (Gigabit Ethernet PON), яке також відноситься до стандарту IEEE 802.3ah. Дальність передачі в таких системах досягає 20 км. Для прямого потоку використовується довжина хвилі 1490 нм, 1550 нм резервується для відео додатків. Зворотний потік передається на 1310 нм. Щоб уникнути конфліктів між сигналами зворотного потоку застосовується спеціальний протокол управління безліччю вузлів (Multi-Point Control Protocol, MPCP). У GEPON також підтримується операція bridging - обміну інформацією між користувачами [1, 2].

Технологія GPON яка успадковує лінійку APON - BPON, але з більш високою швидкістю передачі - 1244 Мбіт / с і 2488 Мбіт / с (в асиметричному режимі) і 1244 Мбіт / с (в симетричному режимі) вважається найбільш вдалою для великих операторів, що будують великі розгалужені мережі з системами

резервування. За основу GPON був прийнятий базовий протокол SDH (а точніше SDH на протоколі GFP) з усіма витікаючими перевагами і недоліками. В GPON можливе підключення до 32 (або 64) абонентів на відстані до 20 км (з можливістю розширення до 60 км). GPON підтримує трафік ATM, IP, мова та відео (інкапсульовані в кадри GEM - GPON Encapsulated Method), а також модулі SDH. Мережа працює в синхронному режимі з постійною тривалістю кадру. Лінійний код NRZ зі Скремблювання забезпечують високу ефективність смуги пропускання. Єдиним серйозним недоліком GPON є висока вартість обладнання [6, 7].

Технологія **WDM PON** є наступним ефективним кроком по збільшенню швидкості передачі побудованих систем PON за рахунок застосування систем оптичного ущільнення WDM. У рекомендації ITU-T G.983.2 описана можливість передачі сигналів на виділених для кожного абонента довжинах хвиль. У мережі передається загальний потік, а кожен абонентський термінал має оптичний фільтр для виділення своєї довжини хвилі. Технічно можливо забезпечити продуктивність системи зі швидкостями близько 4-10 Гбіт / с по кожному каналу. Після такої реконструкції провайдери отримають можливість налаштовувати пропускну спроможність відповідно до вимог клієнта і успішно додавати або видаляти пристрої ONU без втручання в загальну систему. Тобто, в майбутньому впровадження систем WDM PON принесе реальні переваги операторам при незначних витратах [7].

Окремі різновиди PON мають свої переваги і недоліки, але в цілому BPON, заснований на платформі ATM, вже не забезпечує високу швидкість передачі і практично не має перспектив. Технологія GPON є більш вдалою для мереж великої протяжності і ємності. Базова платформа SDH забезпечує гарний захист інформації в мережі, широку смугу пропускання і інші переваги. Однак більш складне і дороге устаткування добре окупується при високому ступені завантаження [7].

У **GPON**, на відміну від GPON, відсутні специфічні функції підтримки TDM, синхронізації і захисних перемикачів, що робить цю технологію найекономічнішою з усього сімейства. Особливо це стосується невеликих

операторів, орієнтованих на IP-трафік, а згодом і IPTV. До того ж передбачається подальший розвиток цього ряду - 10GEPON (за аналогією з 10 Gb Ethernet). Тому через найкращого співвідношення ціна / якість при середньому розмірі мережі, в нашій країні варіант GPON отримав найбільше поширення.

Технологія PON має ряд незаперечних переваг:

- Невисока вартість побудови мережі;
- Економія оптико-волоконного кабелю на ділянці;
- Низькі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування мережі;
- Можливість поступового нарощування мережі;
- Перспективність створення розподільчої інфраструктури, що забезпечує в майбутньому розвиток будь-яких мультимедійних послуг з практично необмеженою смугою пропускання;
- Висока надійність за рахунок використання пасивного обладнання.

Таблиця 3.15 Порівняльна таблиця по характеристикам стандартів PON

Характеристики	APON (BPON)	EPON (GEPON)	GPON
Інститути стандартизації / альянси	ITU-T SG15 / FSAN	IEEE / EFMA	ITU-T SG15 / FSAN
Дата прийняття стандарту	жовтень 1998	липень 2004	жовтень 2003
Стандарт	ITU-T G.981.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x
Швидкість передачі, прямий/зворотній потік, Мбіт/с	155/155 622/155 622/622	1000/1000	1244/155, 622, 1244 2488/622, 1244, 2488
Базовий протокол	ATM	Ethernet	SDH (GFP)
Лінійний код	NRZ	8B/10B	NRZ
Максимальний радіус мережі, км	20	20 (>30 ¹)	20
Максимальне число абонентських вузлів на одне волокно	32	16	64 (128 ²)
Додатки	Будь-які	IP, дані	Будь-які
Корекція помилок FEC	передбачена	ні	необхідна

Характеристики	APON (BPON)	EPON (GEPON)	GPON
Довжини хвиль прямого/зворотнього потоків, нм	1550/1310 (1480/1310)	1550/1310 (1310/13103)	1550/1310 (1480/1310)
Динамічний розподіл смуги	є	підтримка ⁴	є
IP-фрагментація	є	немає	є
Захист даних	шифрування відкритими ключами	немає	шифрування відкритими ключами
Резервування	є	немає	є
Оцінка підтримки голосових додатків і QoS	висока	низька	висока
Динамічний діапазон, дБ:			
– клас А	5-20		5-20
– клас В	10-25		10-25
– клас С	15-30		15-30
Інтерфейс РХ-10 (10 км)		5-20	
Інтерфейс РХ-20 (20 км)		10-24	

Примітки:

1 - обговорюється в проекті;

2 - стандарт допускає нарощування мережі до 128 ONT;

3 - допускається передача в прямому і зворотному напрямку на одній і тій же довжині хвилі;

4 - здійснюється на більш високих рівнях.

Відзначимо типові проблемні питання, з якими стикаються провайдери, при розгортанні пасивної оптичної мережі PON [2].

Загальна смуга пропускання. Смуга пропускання в дереві оптоволоконних ліній мережі PON використовується якомога більшою кількістю абонентів. Хоча технологія GPON забезпечує загальну пропускну здатність низхідного потоку, рівну 2,5 Гбіт / с, вона не може відповідати зростанню майбутніх вимог абонентів в довгостроковій перспективі, оскільки потреби в пропускну здатності зростають експоненціально. Особливо, якщо деяку частину смуги пропускання необхідно резервувати для потокових послуг (наприклад, IPTV).

Шифрування. Оскільки PON - це технологія із загальною середовищем передачі, то необхідно шифрування всіх потоків даних. У технології GPON проводиться шифрування AES з 256-розрядними ключами тільки низхідного потоку. Проте використання стандарту AES знижує продуктивність мережі, тому для при шифруванні необхідна передача істотного обсягу службової інформації разом з кожним пакетом.

Висока робоча швидкість кінцевих пристроїв. У зв'язку з використанням в пасивних оптичних мережах PON загальної передавальної середовища, кожне кінцевий пристрій (ONT або OLT) змушене працювати на єдиній максимальній швидкості передачі даних. Навіть якщо абоненту необхідна швидкість 25 Мбіт / с, кожна кінцева точка оптичної мережі (ONT) в дереві PON повинна працювати на швидкості стандарту (2,5 Гбіт / с для GPON). Робота електронних і оптичних пристроїв зі швидкістю, в 100 разів перевищує необхідну швидкість передачі даних, підвищує ціну компонентів.

Необхідність більшої потужності оптичного сигналу. При кожному розгалуженні в співвідношенні 1: 2 енергетичний потенціал лінії зв'язку падає на 3,4 дБ. Отже, при розгалуженні у співвідношенні 1:64 енергетичний потенціал лінії зв'язку зменшується на 20,4 дБ (еквівалентно відношенню потужностей 110). У цьому випадку, всі оптичні передавачі повинні забезпечувати в 110 разів більшу потужність оптичного сигналу в порівнянні з архітектурою FTTH «точка-точка» при передачі на ту ж відстань.

Доступ до абонентських ліній. Відділення абонентських ліній (Local Loop Unbundling (LLU) - це метод, застосований в мережах операторів телефонії для забезпечення доступу альтернативним операторам до абонентських мідних лініях зв'язку. Мережі PON поки не задовольняють вимогам LLU, оскільки є тільки одна оптоволоконна лінія для підключення групи абонентів, яка, отже, не може бути розділена на фізичному рівні, а тільки на логічному рівні. Ця особливість пасивної оптичної мережі на базі PON передбачає масовий продаж послуг основного оператора без надання прямого абонентського доступу за допомогою відділення абонентських ліній (LLU).

Неоптимальне використання ресурсу мережі. Зазвичай при розгортанні мережі FTTH виконується одночасне підключення оптоволоконних ліній зв'язку для всіх потенційних абонентів в даному районі. Абоненти можуть підписатися на сервіс FTTH тільки після розгортання всіх оптоволоконних ліній. При розгортанні послуг для приватних абонентів провайдери рідко досягають 100% передплати. Зазвичай цей показник близький до 30%, що означає, що частина структури PON простоює, а мережа в цілому використовується не оптимально.

Складність обслуговування, пошуку та усунення несправностей. Пасивні оптичні розгалужувачі не можуть передавати інформацію про несправності в центр управління мережею. Тому складно виявити несправність оптоволоконної лінії між перехідником і точкою термінації оптичної мережі (ONT) абонента. Це значно ускладнює пошук і усунення несправностей в мережах PON і підвищує витрати на їх експлуатацію. Так само при пошкодженні точки термінації оптичної мережі (ONT) вона може передавати в дерево оптоволоконних ліній постійний світловий сигнал, що призводить до порушення зв'язку для всіх абонентів цієї мережі, причому знайти пошкоджене пристрій дуже важко.

Разом з тим зазначені проблемні питання не є критичними і на думку багатьох аналітиків, ринок систем PON буде поступально розвиватися протягом найближчих трьох-чотирьох років, після чого почнеться масове впровадження систем в житловому секторі.

3.3.4. Технологія Ethernet FTTH

У рішенні Ethernet FTTH для комутації ліній мається на увазі використання комутаторів з оптичними портами або оптичними трансиверами.

В основі перших європейських проектів мереж Ethernet FTTH лежала архітектура, при якій комутатори, розташовані на цокольних поверхах багатоквартирних будинків, були об'єднані в кільце за технологією Gigabit Ethernet. Кільцева структура забезпечувала прекрасну стійкість до різного роду

пошкоджень кабелю і була вельми рентабельною, але до її недоліків можна було віднести поділ смуги пропускання всередині кожного кільця доступу (1 Гбіт/с), що давало в перспективі порівняно невелику пропускну здатність, а також викликало труднощі масштабування архітектури [2].

Потім широке поширення набула архітектура Ethernet типу «зірка». Така архітектура припускає наявність виділених оптоволоконних ліній (зазвичай одномодових, одноволоконних ліній з передачею даних Ethernet за технологією 100BX або 1000BX) від кожного кінцевого пристрою до точки присутності (point of presence, POP), де відбувається їх підключення до комутатора. До портів комутатора підключаються пристрої кінцевих користувачів. Такий підхід забезпечує високий рівень надійності за рахунок можливості резервування оптичних каналів, і забезпечує спадкоємність з існуючою «мідною» інфраструктурою.

Розглянемо переваги рішень Ethernet FTTH перед архітектурою на базі PON відповідно до.

Практично необмежена дискретна смуга пропускання. Оптоволоконна лінія може забезпечити практично необмежену смугу пропускання, що дозволяє досягти максимальної гнучкості в нарощуванні сервісів в майбутньому, коли потреба в пропускій спроможності зросте. Архітектура Ethernet FTTH дозволяє провайдеру гарантувати кожному абоненту необхідну пропускну спроможність і створювати в мережі індивідуальні профілі смуги пропускання для кожного клієнта.

Великий радіус дії. У типових конфігураціях мереж доступу Ethernet FTTH застосовуються недорогі Одноволоконні лінії, що використовують технологію 100BX або 1000BX, із заданим максимальним радіусом дії 10 км. Для роботи на великих відстанях є оптичні модулі, що дозволяють збільшити потужність оптичного сигналу, а також оптоволоконні пари з оптичними модулями, які можна підключити до порту будь-якого Ethernet- обладнання.

Гнучке масштабування мережі. У разі появи нових абонентів можна додати додаткові карти Ethernet з високим ступенем модульності. Навпаки, при використанні архітектури на базі PON підключення першого абонента до

оптичного дереву вимагає наявності найбільш дорогого порту OLT, а при додаванні абонентів до того ж дереву PON вартість підключення кожного абонента тільки збільшується за рахунок придбання ONT.

Технологічна незалежність оптико-волоконного каналу. Хоча поточні конфігурації Ethernet FTTH можуть використовувати технологію Gigabit Ethernet, вона може стати неактуальною протягом наступних 30-40 років. Однак одномодова оптоволоконна лінія є середовищем, здатної підтримувати будь-яку нову технологію передачі. В окремих випадках для підключення корпоративних абонентів використовуються оптоволоконні технології, наприклад SONET / SDH або Fibre Channel. Ці технології можуть бути легко розгорнуті по тим же оптоволоконними лініями, що і Ethernet FTTH, з використанням тієї ж Ethernet-платформи агрегування.

Гнучке масштабування швидкості обслуговування абонентів. Оскільки одномодові оптоволоконні лінії не залежать від використовуваної технології і швидкості передачі даних, можна легко збільшити швидкість для одного абонента, не впливаючи на роботу інших. Це означає, що абонент, що використовує технологію Fast Ethernet, може перейти на Gigabit Ethernet за рахунок переключення оптоволоконної лінії абонента на інший порт комутатора і заміни тільки Ethernet-пристрої абонента.

Відділення абонентських ліній - це властивість, властиве архитектурам Ethernet FTTH. Реалізація принципу відділення абонентських ліній з'явилася головним критерієм вибору технології FTTH деякими компаніями в Європі, оскільки вони прагнули побудувати мережі, де доступ до інфраструктури оптоволоконної мережі доступу могли б мати кілька провайдерів.

Безпека забезпечується за рахунок того, що виділена оптоволоконна лінія є захищеною середовищем на фізичному рівні. Крім того, комутатори Ethernet, що використовуються у провайдерів, покликані забезпечити розподіл фізичного рівня портів і логічного рівня абонентів і мають функції захисту, які в змозі запобігти спробам вторгнень.

До недоліків Ethernet FTTH можна віднести вузьку смугу пропускання і недостатні можливості масштабування телекомунікаційного ресурсу.

Висновки

Технології доступу до оптичних ліній зв'язку мають чудові перспективи по впровадженню та використанню в мережах доступу. Не дивлячись на те, що деяку частину смуги пропускання необхідно резервувати для поточкових послуг (наприклад, IPTV); у технології GPON проводиться шифрування AES з 256-розрядними ключами тільки низхідного потоку; робота електронних і оптичних пристроїв зі швидкістю, в 100 разів перевищує необхідну швидкість передачі даних, підвищує ціну компонентів; відбувається неоптимальне використання ресурсу мережі; існує складність обслуговування, пошуку та усунення несправностей, технології доступу до оптичних ліній широко застосовуються при побудові сучасних мереж доступу.

Контрольні питання до розділу

1. Скільки існує варіантів реалізації FTTx?
2. Технологія FTTN. Особливості, переваги, недоліки.
3. Технологія FTTN. Особливості, переваги, недоліки.
4. Технологія FTTC. Особливості, переваги, недоліки.
5. Технологія FTTB. Особливості, переваги, недоліки.
6. Технологія пасивної оптичної мережі PON. Особливості, переваги, недоліки.
7. Стандарт BPON. Особливості функціонування, переваги, недоліки.
8. Які функції виконує блок оптичної мережі (ONU).
 - a. мультиплексування сигналів абонентів та послуг;
 - b. мультиплексування телефонного трафіку;
 - c. мультиплексування низькошвидкісних каналів;
 - d. мультиплексування передавання даних;
 - e. інтерфейсу оптичної розподільчої мережі.
9. Стандарт GPON. Особливості функціонування, переваги, недоліки.
10. Стандарт EPON. Особливості функціонування, переваги, недоліки.
1. Стандарт APON забезпечує швидкість передачі:
 - a. 155 Мбіт/с;
 - b. 1244 Мбіт/с;
 - c. 622 Мбіт/с;
 - d. 1000 Мбіт/с;

e. 2488 Мбіт/с;

f. 256Мбіт/с.

11. При використанні оптичного кабелю на ділянці “останньої милі” під аббревіатурою FTTO розуміють:

a. оптичне волокно до офісу;

b. оптичне волокно до будівлі;

c. оптичне волокно до будь-якої зони, де групуються абоненти;

d. оптичне волокно до шафи;

e. оптичне волокно до абонента.

12. До переваг технології PON можливо віднести наступні:

a. висока вартість побудови мережі;

b. економія оптико-волоконного кабелю на ділянці;

c. низькі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування мережі;

d. можливість поступового нарощування мережі;

e. висока надійність за рахунок використання пасивного обладнання.

13. При використанні оптичного кабелю на ділянці “останньої милі” під аббревіатурою FTTV розуміють:

a. оптичне волокно до офісу;

b. оптичне волокно до будівлі;

c. оптичне волокно до будь-якої зони, де групуються абоненти;

d. оптичне волокно до шафи;

e. оптичне волокно до абонента.

14. При використанні оптичного кабелю на ділянці “останньої милі” під аббревіатурою FTTP розуміють:

a. оптичне волокно до офісу;

b. оптичне волокно до будівлі;

c. оптичне волокно до будь-якої зони, де групуються абоненти;

d. оптичне волокно до шафи;

e. оптичне волокно до віддаленого модуля, концентратора;

f. оптичне волокно до вузла;

g. оптичне волокно до точки присутності клієнта.

15. При використанні оптичного кабелю на ділянці “останньої милі” під аббревіатурою FTTR розуміють:

a. оптичне волокно до офісу;

b. оптичне волокно до будівлі;

c. оптичне волокно до будь-якої зони, де групуються абоненти;

d. оптичне волокно до шафи;

e. оптичне волокно до віддаленого модуля, концентратора;

f. оптичне волокно до вузла.

16. При використання оптичного кабелю на ділянці “останньої милі” під абревіатурою FTTN розуміють:
- оптичне волокно до офісу;*
 - оптичне волокно до будівлі;*
 - оптичне волокно до будь-якої зони, де групуються абоненти;*
 - оптичне волокно до шафи;*
 - оптичне волокно до вузла.*
17. Оптичний лінійний термінал (OLT) виконує функції:
- цифрового комутаційного пункту;*
 - інтерфейсу оптичної мережі доступу;*
 - аналогового комутаційного пункту;*
 - мультиплексування передачі даних;*
 - інтерфейсу оптичного розподільчого вузла*
18. При використання оптичного кабелю на ділянці “останньої милі” під абревіатурою FTTZ розуміють:
- оптичне волокно до офісу;*
 - оптичне волокно до будівлі;*
 - оптичне волокно до будь-якої зони, де групуються абоненти;*
 - оптичне волокно до шафи;*
 - оптичне волокно до абонента.*
19. В чому полягає концепція використання оптичного кабелю на ділянці “останньої милі”.
20. Особливості функціонування стандарту APON.
21. При використання оптичного кабелю на ділянці “останньої милі” під абревіатурою FTTC розуміють:
- оптичне волокно до офісу;*
 - оптичне волокно до будівлі;*
 - оптичне волокно до будь-якої зони, де групуються абоненти;*
 - оптичне волокно до кабельної шафи;*
 - оптичне волокно до віддаленого модуля, концентратора;*
 - оптичне волокно до вузла.*
22. Який базовий протокол використовує технологія APON (BPON):
- PDH;*
 - xDSL;*
 - ATM;*
 - SDH;*
 - Ethernet.*
23. Який базовий протокол використовує технологія EPON:
- PDH;*
 - xDSL;*

- c. *ATM*;
- d. *SDH*;
- e. *Ethernet*.

24. Який базовий протокол використовує технологія GPON:

- a. *PDH*;
- b. *xDSL*;
- c. *ATM*;
- d. *SDH*;
- e. *Ethernet*.

25. Поясніть принцип часового розподілу абонентів в технології PON.

26. Максимальне число абонентських вузлів на одне волокно стандарту GPON:

- a. 32;
- b. 8;
- c. 64;
- d. 16;
- e. 128;
- f. 256;
- g. 68.

27. Максимальне число абонентських вузлів на одне волокно стандарту EPON:

- a. 32;
- b. 8;
- c. 64;
- d. 16;
- e. 128;
- f. 256;
- g. 68.

28. Максимальне число абонентських вузлів на одне волокно стандарту APON:

- a. 32;
- b. 8;
- c. 64;
- d. 16;
- e. 128;
- f. 256;
- g. 68.

29. Стандарт EPON забезпечує швидкість передачі:

- a. 155 Мбіт/с;
- b. 1244 Мбіт/с;

- c. 622 Мбіт/с;
- d. 1000 Мбіт/с;
- e. 2488 Мбіт/с;
- f. 256 Мбіт/с.

30. До недоліків технології PON можливо віднести наступні:

- a. висока вартість побудови мережі;
- b. необхідність більшої потужності оптичного сигналу;
- c. високі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування мережі;
- d. складність обслуговування, пошуку та усунення несправностей;
- e. неоптимальне використання ресурсу мережі.

31. Стандарт APON забезпечує швидкість передачі:

- a. 155 Мбіт/с;
- b. 1244 Мбіт/с;
- c. 622 Мбіт/с;
- d. 1000 Мбіт/с;
- e. 2488 Мбіт/с;
- f. 256 Мбіт/с.

32. Особливості функціонування стандарту APON.

33. Технологія Ethernet FTTH. Особливості, переваги, недоліки.

Список рекомендованої літератури

1. Однорог П. М., Михайленко Є. В., Котенко М. О., Омецінська О. Б. Під редакцією Катка В. Б. Пасивні оптичні мережі доступу (xPON). – К.: ДУІКТ, 2006. – 65 с.
2. Жураковський Б.Ю. Системи доступу. Навчальний посібник. [Електронний ресурс] / Б. Ю. Жураковський, Н. В. Коршун // Київ, Державний університет телекомунікацій. – 2015. – 58 с. – Режим доступу до ресурсу: http://ir.nmapo.edu.ua:8080/jspui/bitstream/lib/277/1/1_841_81364872.pdf
3. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. Сети абонентского доступа: Учебное пособие / Сост. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. – Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2004. – 120 с.
4. Семенов Ю. А. Пассивные оптические сети (PON/EPON/GEPON). [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалу: <https://studfile.net/preview/2923836/>.
5. [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалу: <https://lantorg.com/article/tehnologiya-pon-cho-eto>.
6. [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалу: <https://gepon.com.ua/tehnologia-pon>.
7. [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалу: <https://lanmarket.ua/entsiklopediya/telekommunikatsionnye-tehnologii/pon.html>.

3.4. ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПРОВОДОВОГО ДОСТУПУ

Вступ

Розвиток абонентської розподільчої мережі з використанням радіоресурсів на сьогоднішній час є досить перспективним: при визначених умовах радіодоступ може бути більш економічним, ніж кабельна мережа. Розроблена з самото початку для забезпечення зв'язком мобільних абонентів радіотехнологія стала сьогодні реальною альтернативою існуючої кабельної мережі. Вартість лінійно-кабельних споруджень непохильно підвищується, в той час як вартість обладнання падає. В мережі радіодоступа більша частина затрат приходить саме на радіобладнання. В випадку необхідності конфігурація радіосистем може бути легко змінена, це дає можливість відслідковувати зміни попиту на послуги. Крім цього, варто зазначити, що впровадження абонентського радіодоступу забезпечує хороші умови для створення системи персонального зв'язку.

3.4.1. Конфігурації стаціонарного радіодоступу до телефонних мереж

Кабельна мережа у багатьох операторів зв'язку досить зношена, її модернізація потребує значних капіталовкладень, причому одним із самих дорогих елементів є абонентська розподільча мережа. У знову виникаючих операторів кабельна інфраструктура, як правило, зовсім відсутня. Використання радіодоступу дозволяє не лише зменшити капітальні витрати на створення розподільчої мережі, але і зменшити термін будівництва та введення об'єктів в експлуатацію, а, отже, термін окупності знову введеної ємності. Проекти із швидкою окупністю зазвичай зацікавлюють інвесторів, яких мало приваблює перспектива довгострокових вкладень [1].

Технологія абонентського радіодоступу дозволяє мінімізувати початкові інвестиції та збільшити ємність мережі поступово за рахунок доходів, отриманих від експлуатації перших введених ємностей.

Структура радіомережі може бути різною. Розглянемо деякі приклади використання радіотехнологій на ділянці абонентського доступу [2]:

1. Радіорілейний тракт в конфігурації «точка – точка» (*point-to-point*), при цьому організується абонентський виніс номерів з опорної АТС.

2. Радіоканал в конфігурації «точка – багато точок» (*point-to-multipoint*) на ділянці опорна АТС – кінцевий груповий пристрій.

3. Мікростільникова структура побудови радіомережі, при цьому радіоканал організується на деяких ділянках абонентської лінії або по всій її довжині.

До систем останнього типу можна віднести АТС установсько-виробничого зв'язку з радіодоступом, характеристики деяких із них приведені в таблиці 13. 1. До цього ж виду відносяться системи безпроводного доступу до АТС (*Wireless Local Loop – WLL*). Параметри радіоканала в таких системах іноді відповідають одному із стандартів стільникової системи зв'язку: *AMPS*, *NMT*, *GSM*, *IS-95*, стандартам побутових радіотелефонів або спеціально розробленим стандартам: *DECT*, *CT-2*, *CDMA*, *FH-TDMA (FH-CDMA)* та ін.

4. Мережі радіозв'язку з рухомими об'єктами стільникової структури.

5. Мережа радіозв'язку, коли вся мережа являє собою, як правило, один великий стільник, відмінною рисою цієї технології є невелика кількість використовуваних частот, а, отже, невелика кількість точок підключення до ТМЗК.

6. Різноманітні радіопродовжувачі та системи радіотелефонного безпроводного зв'язку (*Cordless Telephone*), в яких радіоканал організується між базовим блоком (абонентський або груповий кінцевий пристрій) та радіотелефонною трубкою (радіостанцією), тобто радіоканал не є АЛ або її частиною.

Таблиця 3.16. Характеристики деяких АТС з радіодоступом.

Найменування	ISDX	Freeset	Forum	Megaset
Виробник	GPT	Ericsson	AT&T	Siemens
Країна-виробник	Великобританія	Швеція	США	Німеччина
Потужність передавача, мВт	10	10	20	20
Робоча частота, МГц	864/868	1880/1900	46/49,902/928	1880/1900
Ширина каналу(шв.)	25кГц	32кбіт/с	25кГц	32кбіт/с
Кількість радіоканалів	40	120	5	120
Кількість базових станцій	400	200	49	216
Кількість каналів, які обслуговує одна БС	2/4/6	8	2	До 6
Максимальна кількість абонентів	1000	600	32	216
Серед. дальність дії, м	200	300	150	250
Максимальна відстань базових станцій від АТС	До 1км з дистан. Живленням	До 1км з дистан. живленням	До 1км з дистан. живленням	До 1,5 км

У теперішній час все більше розповсюдження для організації абонентського радіодоступу починають отримувати системи *WLL*.

При порівнянні засобів організації абонентського доступу необхідно врахувати наступне. Системи *WLL* в порівнянні з кабельною розподільчою мережею має:

- меншу трудоемність будівельно-монтажних робіт, а отже більш короткі терміни введення в експлуатацію;
- менші початкові витрати та малий термін окупності;
- більшу гнучкість та легшу трансформацію;
- безсумнівні переваги при спорудженні мережі на сильно пересіченій місцевості з великою кількістю водяних перешкод та в випадку складних ґрунтів.

Застосування обладнання *WLL* економічно виправдано в багатьох практичних прикладаннях, наприклад:

1) при створенні операторами нової мережі радіодоступу з частковим використанням існуючих лінійно-кабельних споруджень в міських та приміських районах;

2) при телефонізації сільських районів, де телефонна щільність (число абонентів на квадратний кілометр) невелика і прокладання довгих кабельних абонентських ліній може бути не вигідним;

3) при підключенні абонентів в умовах відсутності вільних пар в кабелі на абонентській ділянці міської телефонної мережі (при середній телефонній щільності);

4) при неможливості прокладання кабеля, наприклад, важкодоступних районах;

5) при організації тимчасового зв'язку, наприклад, при організації виставок.

В системах радіодоступу широко використовуються різні технології організації багаточисленного доступу, наприклад, наступні [3]:

FDMA (Frequency Division Multiple Access) – багаточисленний доступ з частотним розподілом, при цьому виділений для визначеної системи спектр частот ділиться на смуги, в яких відбувається передача каналної інформації від різних абонентів;

TDMA (Time Division Multiple Access) – багаточисленний доступ з часовим розподілом, при цьому виділена смуга частот надається для передачі каналної інформації на визначений короткий проміжок часу, в наступний проміжок часу відбувається передача інформації від іншого абонента;

CDMA (Code Division Multiple Access) – багаточисленний доступ з кодовим розподілом, повідомлення від абонентів шифруються та передаються одночасно, цей засіб має переваги (наприклад, скритність інформації), але при цьому потрібна досить широка смуга частот, що може бути недоліком при обмеженості частотного ресурсу.

Варіанти побудови мережі радіодоступу та види послуг, що надаються

Фіксована безпроводова мережа передачі даних складається з РЕЗ, які працюють в визначеному (дозволеному) діапазоні частот, й включає в себе базові й абонентські станції, ретранслятори, пов'язані між собою в єдину інфраструктуру та поєднані з базовим оператором зв'язку/сервіс-провайдером [3].

Структура мережі забезпечує двонаправлений обмін інформацією між абонентами мережі й базовим оператором зв'язку.

Методи модуляції

Структура сигналів та швидкість передачі даних в більшості систем радіодоступа визначається обраним методом модуляції сигналів.

В наш час широке застосування в системах зв'язку знаходить багаточастотний метод модуляції OFDM (Orthogonal Frequency Division

Multiplexing – мультиплексування з розподілом по ортогональним частотам), де в смузі частот передачі розміщується N несучих, кожна з яких модулюється низькошвидкісним потоком даних, що є частиною загального цифрового потоку.

В якості первинного метода модуляції окремих несучих може бути використана:

- BPSK (Binary Phase Shift Key - двійкова фазова маніпуляція); - QPSK (Quadrature Phase Shift Key — квадратурна фазова маніпуляція);

- 16 QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation — 16-позиційна квадратурна амплітудна модуляція);

- 64 QAM (64 Quadrature Amplitude Modulation — 64-позиційна квадратурна амплітудна модуляція).

Деякі види обладнання радіодоступа підтримують всі протоколи модуляції 802.11a (BPSK, QPSK, 16 QAM и 64 QAM). Швидкості передачі даних по радіоканалу для різних видів модуляції можуть складати [3]:

- для BPSK — 6; 9 Мбіт/с;
- для QPSK — 12; 18 Мбіт/с;
- для 16 QAM — 24; 36 Мбіт/с;
- для 64 QAM — 48; 54 Мбіт/с.

Спектр послуг фіксованої мережі безпроводового доступу

Фіксована мережа безпроводового доступу дозволяє надавати корпоративним і індивідуальним користувачам наступний спектр послуг:

- передачу даних, в тому числі нових мультимедійних послуг — відеотелефонії, відеоконференц-зв'язку, відеоспостереження, дистанційного контролю та управління об'єктами (послуг «розумного будинку») и т.п.;
- персональні послуги (електронна пошта, чати, обмін повідомленнями, ігри on-line, "музика по запити", IP-телефонія, відеозв'язок, спеціальні повідомлення та ін.);

- корпоративні та комерційні послуги (електронна торгівля, автоматизація процесів контролю об'єктів та управління виробництвом, збір, передача і обмін даними та ін.);
- масові послуги і сервіси, пов'язані з реалізацією загальних програм (доступ в Інтернет, дистанційне навчання і освіта, телеголосування та ін.)

3.4.2. Технології стаціонарного радіодоступу

Найбільш широко в обладнанні радіодоступу використовують наступні стандарти: *CT-2* (та її модифікації), *DECT (PRE-DECT)*, *CDMA (IS-95)*, *D-AMPS*, *MGW Hopping (MultiGain Wireless)*.

Технологія CT-2 використовує метод багаточисленного доступу з частотним розподілом каналів *FDMA*, сполучений з часовим дуплексним розподілом режимів передачі та прийому *TDD*, при якому в одному часовому проміжку відбувається передача повідомлення від абонента, а в наступний момент – приймання повідомлення від базової станції. Таким чином, використовується лише одна несуча частота для передачі та прийому інформації [2].

Система *TANGARA Wireless (TW)* представляє собою цифрову радіосистему для абонентського доступу, побудовану по методу *FDMA/TDD*, яка працює в діапазоні частот 864...868 МГц

Контролер базових станцій (КБС), який управляє базовими станціями (БС) і абонентськими терміналами (АТ), встановлюється зазвичай в приміщеннях АТС і підключається до ТфЗК через різноманітні типи інтерфейсів - по двохпроводним аналоговим лініям або по трактам потоків 2 Мбіт/с (поток Е1).

КБС забезпечує можливості централізованого мережного управління.

Один контролер обслуговує до 512 абонентів при підключенні до АТС по двохпроводному аналоговому інтерфейсу або до 960 абонентів при підключенні по цифровим трактам Е1.

Для збільшення загальної ємності системи радіодоступу декілька

контролерів можуть бути об'єднані загальною системою управління.

До КБС можуть бути підключені до 30 шестиканальних базових радіостанцій, до 96 двохканальних, 48 чотирьохканальних або їх будь-які комбінації.

Базова станція (БС) має модульну структуру і підтримує від 2 до 6 радіоканалів.

В залежності від навантаження в мережі й допустимої ймовірності відмов кожна БС обслуговує від 6 (виділені канали постійного з'єднання) до 80 абонентів. Рекомендуємо число - 40 абонентів на одну БС.

З метою збільшення числа абонентів, що обслуговуються та збільшення зони радіопокриття декілька БС можуть об'єднуватися і створювати багатосекторну БС [4].

З'єднання між КБС і БС відбувається по мідним парам (по трьом парам з діаметром жили 0,9 мм на відстань до 11 км) без використання додаткового каналотворюючого або лінійного обладнання.

При необхідності з'єднання може бути встановлено через радіорелейні лінії, супутникові системи або цифрові транспортні мережі.

Абонентський термінал (АТ) представляє собою блок малих розмірів, спроектований спеціально для легкого настінного монтажу в приміщеннях абонента. До нього може приєднуватися компактно направлена або штирева антена. В залежності від типів антен і підсилювачів допустиме віддалення АТ від БС складає 5... 12 км в умовах прямого бачення.

Інтерфейс АТ з телефонним апаратом аналогічний інтерфейсу телефонної станції. До АТ можуть підключатися телефонні апарати будь-яких конструкцій, автовідповідачі, факсимільні апарати, модеми і т. д.

Мобільні абоненти можуть працювати в межах однієї БС, а також після реєстрації в зоні дії інших базових станцій того ж контролера базової станції.

Управління. Система централізованого мережного управління забезпечує контроль всього обладнання. Вона допускає дистанційне конфігурування всієї мережі з центрального пункту, моніторинг помилок в каналах зв'язку,

завантаження програмного забезпечення.

Такий стандарт прийнятий, наприклад, для створення системи *Telepoint*, яка призначена для зв'язку рухомих абонентів з абонентами фіксованої мережі. Ця система отримала в Європі широке розповсюдження: в Великобританії це система *Phonpoint* та *Zonephone*, в Німеччині це служба *Birdie*. Стандарт *CT-2* забезпечує конфіденційність переговорів та високу якість прийому мовних повідомлень.

В стандарті DECT використовується часове розділення каналів *TDMA*, в поєднанні з таким самим, як в стандарті *CT-2*, часовим дуплексним розділенням *TDD*. Передбачається можливість приєднання до цифрових мереж *ISDN*. Технологія *DECT* може застосовуватись як для побудови обладнання абонентського радіодоступу, так і для радіотелефонного безпроводного зв'язку.

Також допускається робота в одному регіоні декількох операторів (при наявності в них прав), які використовують для радіозв'язку окремі ділянки смуги радіочастот в діапазоні 800 МГц та радіотехнологію *CT-2*. При цьому апаратура має забезпечувати автоматичний пошук вільного каналу незалежно від щільності розміщення обладнання. Немає потреби в плануванні частот для кожного користувача та узгодження частот в кожному конкретному випадку застосування апаратури. Також потужність передатчиків базових блоків та абонентських «трубок» повинна бути не більше 10 мВт. Можуть застосовуватись антени з коефіцієнтом підсилення не більше 3 дБ [2].

Для обладнання абонентського доступу, яке використовує технологію *DECT*, також зазвичай немає потреби в частотному плануванні та отриманні спеціального дозволу на використання частот, якщо це обладнання використовується в якості системи радіотелефонного зв'язку в межах будівлі. В регіоні також можливе існування декількох операторів, які використовують таке обладнання, але при цьому також необхідне виконання вищесказаних обмежень на потужність передатчика та посилення антени, розмір стільника обмежений радіусом не більше 200 метрів [5].

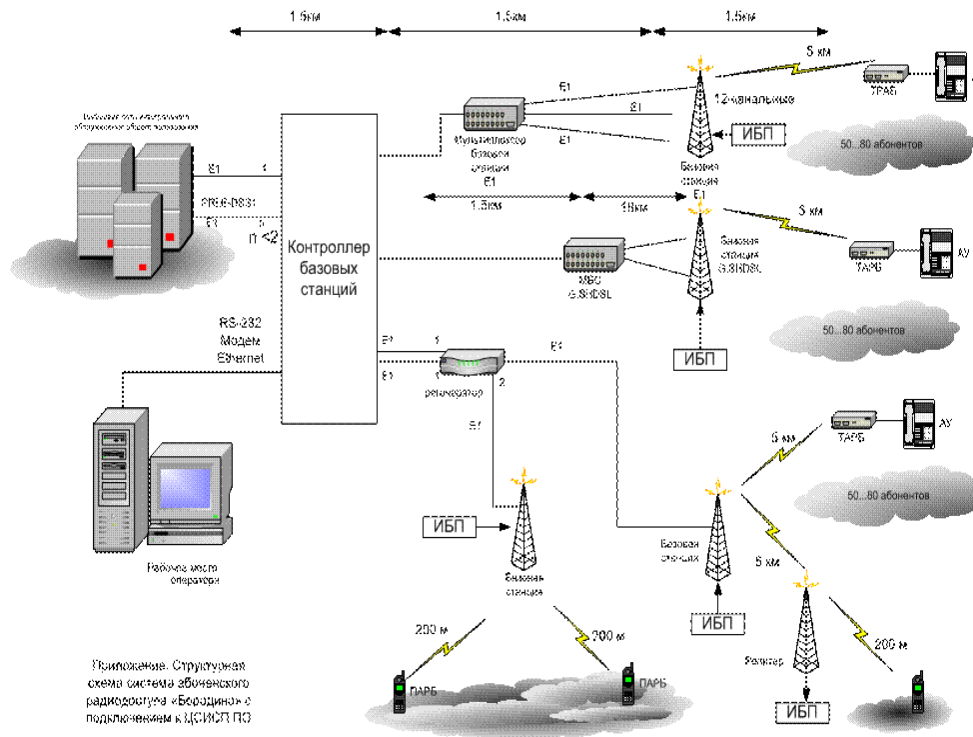


Рис. 3.31. Схема організації зв'язку з одним контролером базових станцій

До складу систем входять:

- контролер базових станцій (КБС);
- базові станції (БС);
- мультиплексор базових станцій (МБС);
- регенератор цифрових потоків Е1 (РЦП Е1);
- репітер базових станцій (РБС);
- термінальні абонентські радіоблоки (ТАРБ);
- портативні абонентські радіоблоки (ПАРБ);
- абонентські пристрої (АП);
- джерела безперебійного живлення (ИБП);

На використання **радіосистем з технологією CDMA** накладено обмеження – в регіоні (зоні нумерації) може бути лише один оператор, який використовує цю технологію.

Більш висока швидкість передачі даних. В технології **CDMA** реалізовані оригінальні, більш оптимальні алгоритми використання каналного ресурсу, що надає більш широкі можливості використання **CDMA** терміналів в частині передачі даних.

Таблиця 3.17 Порівняльна характеристика технологій абонентського радіо доступу.

Технічні характеристики	СТ-2 Tangara	DECT	CDMA IS-95	D-AMC	MGW Hopping
Діапазон частот, кГц	839-843 864-868 910-914	1880-1900 1900-1920	869-894	824-849	1428-1508 1850-1930 2400-2483
Крок решітки частот, кГц	100	1728	1250	30	1000
Засіб розподілу каналів / ф-ція дуплексу	FDMA/TDD	TDMA/TDD	CDMA/TDD	TDMA/TDD	TDMA/TDD
Число радіоканалів	40	10	10	823	80
Число телеф. каналів на один радіоканал	1	12	45	3	8
Ефективність використання спектру	10 кан./МГц	6 кан./МГц	9 кан./МГц	50 кан./МГц	8 кан./МГц
Інтерференція з випроміненням від домашніх та офісних радіотелефонів	малоймовірна	ймовірна	відсутня	відсутня	відсутня
Вих. потужн.: БС Абон. термінал	10 МВт 10 МВт	250 МВт 250 МВт	20 Вт 0,6-3 Вт	0,6 Вт 0,6 Вт	300 МВт 300 МВт
Дальність зв'язку	12 км, направлені антени	200м-5км напр. ант.	50 км	32 км	15 км, напр. антени
Розподіл каналів за частотою	Динамічне	Динамічне	Фіксоване	Фіксоване	Динамічне
Кодування мови	АД ІКМ 32 кбіт/с	АД ІКМ 32 кбіт/с	АД ІКМ 16 кбіт/с	АД ІКМ 8 кбіт/с	АД ІКМ 32 кбіт/с
Шифрування	Немає	Є	Є	Є	Немає
Мах. швидкість роботи модема/факса по радіокан., кбіт/с	14,4	9,6	0,3-9,6	2,4	14,4
Затримка пр./пер., мс	2	10	80	40	2
Ехоподавлення	Не потрібне	Потрібне	Потрібне	Потрібне	Потрібне

Конфіденційність. Вбудований алгоритм кодування і розподіл інформації з широкого спектру забезпечує захист від несанкціонованого доступу і прослуховування.

Відмінності стандарту CDMA від інших цифрових технологій полягає у наступному:

Перешкодостійкість. Завадостійке - тому, що при виникненні у широкій смузі частот (1,23 МГц) сигналу-завади, вузького діапазону (200кГц), сигнал візьметься майже неспотворений. За рахунок завадостійкого кодування втрачені дані система відновить.

Велика ємність мережі. Більш повне використання частотного ресурсу - ємність *CDMA* від 10 до 20 разів вище, ніж у аналогових систем (*FDMA*), і в 3 - 6 разів перевищує ємність інших цифрових систем (*TDMA*).

Економічність. Кількість базових станцій, необхідне для формування якісного покриття значно нижче, ніж у інших стандартів, що в свою чергу впливає на капітальні та операційні витрати операторів.

Одного абонента «веде» кілька базових станцій. Однією з особливостей *CDMA* мереж є можливість "м'якого" переходу від однієї базової станції до іншої (*soft handoff*).

В таблиці 3.17 представлені порівняльні характеристики різних радіотехнологій *WLL*.

З точки зору проходження радіохвиль, краще використовувати діапазон 800 МГц. Системи з технологією *DECT*, а також апаратура *MultiGain*, яка використовує особливу технологію *Hopping* (перестроювання частот), працюють в більш високочастотному діапазоні (1.9 ГГц для *DECT* та 1.4-3.5 ГГц для *MultiGain*), крім того спектр корисного сигналу в них має більшу ширину, ніж, наприклад, в *TANGARA* (864-868.2 МГц). Тому, для досягнення тієї ж дальності роботи, що і в системі *TANGARA*, необхідна більш висока вихідна потужність. Чуттєвість приймача в абонентському терміналі приблизно однакова для всіх систем та обмежена рівнем шумів в радіоканалі. Таким чином, в системі *TANGARA RD* без погіршення дальності зв'язку суттєво

знижена потужність радіопередавачів.

Частоти, які відведені для радіотелефонних систем працюючих по стандарту *CT-2*, не зарезервовані для інших прикладень. Домашні та офісні радіотелефони в Росії, як правило, не використовують цей діапазон. Відведенні в *DECT* смуги частот (1880-1900 МГц) виділені для вільного використання офісними та домашніми радіотелефонами та АТС з радіодоступом (табл.13.1). Але можливо, що найближчим часом відведена під *DECT* смуга частот може бути заповнена сигналами від приватних безпроводних телефонів, крім того, в майбутньому діапазон частот *DECT* може бути використаний для систем *UMTS* – *Universal Mobile Telecommunications Service*, які об'єднують всівиди радіозв'язку.

Системи на базі *CT-2* мають вузьку смугу робочого каналу, яка дорівнює 100 кГц, тому вони менш чуттєві до нерівномірності загасання в робочій смузі частот одного каналу порівняно, наприклад, з системами *DECT* (смуга 1.7 МГц).

Як видно з таблиці 3.16, технологія *CT-2 TANGARA* завдяки технології FDMA має більшу ефективність використання смуги частот в порівнянні з іншими системами. Однак *DECT* може працювати з більшою щільністю абонентів (пропускати більший трафік), тому що використовує в 4 рази більш широкий діапазон частот. Ця перевага *DECT*-технології суттєва в великих містах з багатоповерховими забудівлями, або для офісних станцій при щільності абонентів 1000-1500 на кв. км. У таких прикладеннях необхідно економічну ефективність безпроводного рішення порівнювати з кабельним рішенням, наприклад прокладенням ВОЛЗ.

В приміській та сільській місцевості при щільності абонентів 2-10 на 1 кв. км більш актуальним є великий радіус дії системи в поєднанні з можливістю організації невеликих мереж (до 500 абонентів). Для системи з TDD (одночастотний дуплекс) дальність зв'язку визначається не стільки вихідною потужністю, скільки відношенням величини захисного проміжку (пауза між пакетами) до довжини самого інформаційного пакету. В системах з меншою довжиною пакета простіше забезпечити достатній захисний проміжок для

забезпечення максимально можливої дальності.

Зазвичай бездротові мережеві технології групуються в три типи, що розрізняються за масштабом дії їх радіосистем, але всі вони з успіхом застосовуються в бізнесі.

PAN (персональні мережі) - короткодіючі, радіусом до 10 м мережі, які пов'язують ПК і інші пристрої - КПК, мобільні телефони, принтери і т. п. За допомогою таких мереж реалізується проста синхронізація даних, усуваються проблеми з великою кількістю кабелів в офісах, реалізується простий обмін інформацією в невеликих робочих групах. Найбільш перспективний стандарт для PAN - це Bluetooth.

WLAN (бездротові локальні мережі) - радіус дії до 100 м. З їх допомогою реалізується бездротовою доступ до групових ресурсів в будівлі, університетському кампусі і тому подібне. Зазвичай такі мережі використовуються для продовження дротяних корпоративних локальних мереж. У невеликих компаніях WLAN можуть повністю замінити дротяні з'єднання. Основний стандарт для WLAN - 802.11 [6].

WWAN (бездротові мережі широкої дії) - бездротовий зв'язок, який забезпечує мобільним користувачам доступ до їх корпоративних мереж і Інтернету. Поки тут немає домінуючого стандарту, але найбільш активно впроваджується технологія GPRS - найшвидше в Європі і з деяким відставанням в США.

На сучасному етапі розвитку мережевих технологій, технологія бездротових мереж **Wi - Fi** є найбільш зручною в умовах вимагають мобільність, простоту установки і використання. Wi-Fi (від англ. Wireless fidelity - бездротовий зв'язок) - стандарт широкосмугового бездротового зв'язку сімейства 802.11 розроблений у 1997р. Як правило, технологія Wi-Fi використовується для організації бездротових локальних комп'ютерних мереж, а також створення так званих гарячих точок високошвидкісного доступу в Інтернет.

Стандарт **RadioEthernet IEEE 802.11** - це стандарт організації бездротових комунікацій на обмеженій території в режимі локальної мережі,

тобто коли декілька абонентів мають рівноправний доступ до загального каналу передач. 802.11 - перший промисловий стандарт для бездротових локальних мереж (*Wireless Local Area Networks*), або WLAN. Стандарт був розроблений Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 802.11 може бути порівняний зі стандартом 802.3 для звичайних дротяних Ethernet мереж.

Стандарт *RadioEthernet* IEEE 802.11 визначає порядок організації бездротових мереж на рівні управління доступом до середовища (MAC-рівні) і фізичному (PHY) рівні. У стандарті визначений один варіант MAC (*Medium Access Control*) рівня і три типи фізичних каналів.

Подібно провідному Ethernet, IEEE 802.11 визначає протокол використання єдиного середовища передачі, що отримав назву carrier sense multiple access collision avoidance (CSMA / CA). Вірогідність колізій бездротових вузлів мінімізується шляхом попереднього посилки короткого повідомлення, званого ready to send (RTS), воно інформує інші вузли про тривалість майбутньої передачі і адресата. Це дозволяє іншим вузлам затримати передачу на час, рівний оголошеній тривалості повідомлення. Приймальна станція повинна відповісти на RTS посилкою clear to send (CTS). Це дозволяє передавальному вузлу дізнатися, чи вільна середовище і чи готовий приймальний вузол до прийому. Після отримання пакета даних прийомний вузол повинен передати підтвердження (ACK) факту безпомилкового прийому. Якщо ACK не отримано, спроба передачі пакету даних буде повторена.

У стандарті передбачено забезпечення безпеки даних, яке включає аутентифікацію для перевірки того, що вузол, що входить в мережу, авторизований в ній, а також шифрування для захисту від підслуховування.

На фізичному рівні стандарт передбачає два типи радіоканалів і один інфрачервоного діапазону.

В основу стандарту 802.11 покладена стільникова архітектура. Мережа може складатися з однієї або декількох осередків (сот). Кожна стільника управляється базовою станцією, званої точкою доступу (*Access Point, AP*). Точка доступу і що знаходяться в межах радіуса її дії робочі станції утворюють базову зону обслуговування (*Basic Service Set, BSS*). Точки доступу

многосотової мережі взаємодіють між собою через розподільну систему (*Distribution System, DS*), що представляє собою еквівалент магістрального сегменту кабельних ЛЗ. Вся інфраструктура, що включає точки доступу і розподільчу систему, утворює розширену зону обслуговування (*Extended Service Set*). Стандартом передбачений також односотовий варіант бездротової мережі, який може бути реалізований і без точки доступу, при цьому частина її функцій виконується безпосередньо робочими станціями.

3.4.3. Стандарти сімейства IEEE 802.11

В даний час існує безліч стандартів сімейства IEEE 802.11 [1]:

802.11 - початковий основоположний стандарт. Підтримує передачу даних по радіоканалу зі швидкостями 1 і 2 (опціонально) Мбіт / с.

1. **802.11a** - високошвидкісний стандарт WLAN. Підтримує передачу даних зі швидкостями до 54 Мбіт / с по радіоканалу в діапазоні близько 5 ГГц.
2. **802.11b** - найпоширеніший стандарт. Підтримує передачу даних зі швидкостями до 11 Мбіт / с по радіоканалу в діапазоні близько 2,4 ГГц.
3. **802.11 c** - Стандарт, що регламентує роботу бездротових мостів. Дана специфікація використовується виробниками бездротових пристроїв при розробці точок доступу.
4. **802.11 d** - Стандарт визначав вимоги до фізичних параметрів каналів (потужність випромінювання та діапазони частот) і пристроїв бездротових мереж з метою забезпечення їх відповідності законодавчим нормам різних країн.
5. **802.11e** - Створення даного стандарту пов'язано з використанням засобів мультимедіа. Він визначає механізм призначення пріоритетів різним видам трафіку - таким, як аудіо-і відеопріложення. Вимога якості запиту, необхідне для всіх радіо інтерфейсів IEEE WLAN.

6. **802.11f** - Даний стандарт, пов'язаний з аутентифікацією, визначає механізм взаємодії точок зв'язку між собою при переміщенні клієнта між сегментами мережі. Інша назва стандарту - Inter Access Point Protocol. Стандарт, що описує порядок зв'язку між рівнозначними точками доступу.
7. **802.11g** - встановлює додаткову техніку модуляції для частоти 2,4 ГГц. Призначений, для забезпечення швидкостей передачі даних до 54 Мбіт / с по радіоканалу в діапазоні близько 2,4 ГГц.
8. **802.11h** - Розробка даного стандарту пов'язана з проблемами при використанні 802.11a в Європі, де в діапазоні 5 ГГц працюють деякі системи супутникового зв'язку. Для запобігання взаємних перешкод стандарт 802.11h має механізм "квазіінтелектуального" управління потужністю випромінювання і вибором несучої частоти передачі. Стандарт, що описує управління спектром частоти 5 ГГц для використання в Європі та Азії.
9. **802.11i (WPA2)** - Метою створення даної специфікації є підвищення рівня безпеки бездротових мереж. У ній реалізований набір захисних функцій при обміні інформацією через бездротові мережі - зокрема, технологія AES (Advanced Encryption Standard) - алгоритм шифрування, що підтримує ключі довжиною 128, 192 і 256 біт. Передбачається сумісність всіх використовуваних в даний час пристроїв - зокрема, Intel Centrino - з 802.11i-мережами. Зачіпає протоколи 802.1X, TKIP і AES.
10. **802.11 j** - Специфікація призначена для Японії і розширює стандарт 802.11a додатковим каналом 4,9 ГГц.
11. **802.11 n** - Перспективний стандарт, що знаходиться на сьогоднішній день у розробці, який дозволить підняти пропускну здатність мереж до 100 Мбіт / сек.
12. **802.11 r** - Даний стандарт передбачає створення універсальної і сумісної системи роумінгу для можливості переходу користувача з зони дії однієї мережі в зону дії іншої.

З усіх існуючих стандартів бездротової передачі даних IEEE 802.11, на практиці найбільш часто використовуються всього три, визначених Інженерним інститутом електротехніки та радіоелектроніки (IEEE), це: 802.11b, 802.11g і 802.11a.

Порівняння WiMAX і Wi-Fi зустрічається досить часто — терміни співзвучні, назва стандартів, на яких засновані ці технології, схожі (стандарти розроблені IEEE, обидва починаються з «802.»), А також обидві технології використовують бездротове з'єднання та використовуються для підключення до інтернету (каналу обміну даними). Але, попри це, ці технології спрямовані на вирішення абсолютно різних завдань.

Таблиця 3.18. Порівняльна таблиця стандартів безпроводного зв'язку

Технологія	Стандарт	Використання	Пропускна здатність	Радіус дії	Частота
Wi-Fi	802.11a	WLAN	до 54 Мбіт/с	до 100 метрів	5,0 ГГц
Wi-Fi	802.11b	WLAN	до 11 Мбіт/с	до 100 метрів	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11g	WLAN	до 54 Мбіт/с	до 100 метрів	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11n	WLAN	до 300 Мбіт/с (в перспективі до 450, а згодом до 600 Мбіт/с)	до 100 метрів	2,4 — 2,5 або 5,0 ГГц
WiMax	802.16d	WMAN	до 75 Мбіт/с	6-10 км	1,5-11 ГГц
WiMax	802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбіт/с	1-5 км	2.3-13.6 ГГц
WiMax	802.16m	WMAN,	до 1 Гбіт/с (WMAN), до 100 Мбіт/с	н/д (стандарт в розробці)	н/д (стандарт в

Таблиця 3.18. Порівняльна таблиця стандартів безпроводного зв'язку

Технологія	Стандарт	Використання	Пропускна здатність	Радіус дії	Частота
		Mobile WMAN	(Mobile WMAN)		разробці)
Bluetooth v.1.1.	802.15.1	WPAN	до 0,7 Мбіт/с	до 10 метрів	2,4 ГГц
Bluetooth v. 2.0	802.15.3	WPAN	до 3 Мбіт/с	до 100 метрів	2,4 ГГц
Bluetooth v. 3.0	802.11	WPAN	від 3 Мбіт/с до 24 Мбіт/с	до 100 метрів	2,4 ГГц
UWB	802.15.3a	WPAN	110-480 Мбіт/с	до 10 метрів	7,5 ГГц
ZigBee	802.15.4	WPAN	від 20 до 250 Кбіт/с	1-100 м	2,4 ГГц (16 каналів), 915 МГц (10 каналів), 868 МГц (один канал)
Інфрачервоний порт	IrDa	WPAN	до 16 Мбіт/с	від 5 до 50 сантиметрів, односторонній зв'язок — до 10 метрів	

WiMAX - це система далекої дії, що покриває кілометри простору, яка зазвичай використовує ліцензовані спектри частот (хоча можливо і використання неліцензованих частот) для надання з'єднання з інтернетом типу точка-точка провайдером кінцевому користувачеві. Різні стандарти сімейства 802.16 забезпечують різні види доступу, від мобільного (схожий з передачею даних з мобільних телефонів) до фіксованого (альтернатива дротовому доступу,

при якому безпроводне устаткування користувача прив'язане до місця розташування) [4].

Wi-Fi - це система коротшої дії, що зазвичай покриває десятки метрів, яка використовує неліцензовані діапазони частот для забезпечення доступу до мережі. Зазвичай Wi-Fi використовується користувачами для доступу до їх власної локальної мережі, яка може бути і не підключена до Інтернету. Якщо WiMAX можна порівняти з мобільним зв'язком, то Wi-Fi швидше схожий на стаціонарний безпроводний телефон [5].

WiMAX і Wi-Fi мають абсолютно різний механізм Quality of Service (QoS). WiMAX використовує механізм, заснований на встановленні з'єднання між базовою станцією і пристроєм користувача. Кожне з'єднання засноване на спеціальному алгоритмі планування, який може гарантувати параметр QoS для кожного з'єднання. Wi-Fi, у свою чергу, використовує механізм QoS подібний до того, що використовується в Ethernet, при якому пакети отримують різний пріоритет. Такий підхід не гарантує однаковий QoS для кожного з'єднання.

Через дешевизну і простоту установки Wi-Fi часто використовується для надання клієнтам швидкого доступу в Інтернет різними організаціями. Наприклад, в деяких кафе, готелях, вокзалах і аеропортах можна виявити безкоштовну точку доступу Wi-Fi.

Wi-Fi-технологія дозволяє будувати безпроводні самоорганізуючі мережі інфраструктурного типу, т.ч. створювати багатоточечну топологію з безпроводною точкою доступу для підключення мобільних абонентів. Однак така топологія, скоріш, є одним з недоліків, якщо розглядати її як варіант самоорганізуючої мережі — вихід з строю базової станції (точки доступу) приводить до падіння мобільної радіомережі в цілому.

Це зауваження не відноситься до безпроводних мереж комірчату структурою стандарту IEEE802.11s, які знаходять використання в якості безпроводних мереж фіксованого зв'язку. Їх вузл не мають, як правило, автономних джерел електроживлення (акумуляторних батарей).

Другим недоліком мобільних Wi-Fi-мереж з точками доступу залишається невеликий строк роботи акумуляторних батарей і високий показник EIRP.

Тому для використання модулів Wi-Fi разом з портативними пристроями мобільного зв'язку в останніх додатках до стандарту IEEE802.11 все ж був передбачений енергосберігаючий режим (sleep) [5].

Безумовно, WLAN Wi-Fi-класу — ідеальна технологія для організації передачі мовної інформації по безпроводній інфраструктурі підприємства або в середині буждівлі адміністративно-офісного типу.

Але, не дивлючись на всі свої переваги, технологія Wi-Fi істотно програє безпроводним самоорганізуючимся мережам WPAN по мобільності.

Особливе місце серед ad-hoc-мереж WPAN займає безпроводні сенсорні мережі.

3.4.4. Bluetooth

Специфікація *Bluetooth* була розроблена групою *Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG)* в 1998 р. До неї увійшли компанії *Ericsson, IBM, Intel, Toshiba i Nokia*. Згодом група *Bluetooth SIG* і організація *IEEE* досягли угоди, на основі якого специфікація Bluetooth стала частиною стандарту IEEE 802.15.1

В наш час технологія Bluetooth представлена різними версіями (від 1.1 до 4.x) і швидкісними діапазонами (1...5 Мбіт/с). Причому досягнення високих швидкостей останніх версій стало можливим не за рахунок архітектури побудови безпроводною «ad-hoc» мережі, а за рахунок функції «colocation» (дві в одному пристрої), яка реалізується сумісно з іншими технологіями, наприклад, сумісно з Wi-Fi або UWB.

Якщо говорити про переваги Bluetooth, то, перш за все, слід відзначити її як високошвидкісну технологію, яку можна сміливо поставити в ряд з UWB або Wi-Fi (див. Табл. 3.19). До її недоліків, скоріше, можна віднести енергоємність (в порівнянні, наприклад, з технологією ZigBee). Тому основна проблема, яка вирішувалася протягом останніх років і вирішується в даний час в останніх версіях Bluetooth, полягає в збільшенні терміну служби автономних джерел електроживлення. Питання по створенню технології Bluetooth в якості енергозберігаючої вирішуються в т.ч. за рахунок спеціальних алгоритмів

роботи радіопередавальних пристроїв, які включаються в мережу лише на момент пересилання даних (версії 4.0).

Бездротова мережа Bluetooth в класичному розумінні - це бездротова однорангова динамічна мережа зі змінною кількістю мобільних вузлів типу Piconet або Scatternet з децентралізованим управлінням, яка може бути розгорнута в обмеженому просторі (з кількістю вузлів до 80). Для організації бездротової сенсорної мережі необхідна загальна точка доступу в якості центрального вузла управління мережею і обробки інформації [6].

Специфікація Bluetooth була розроблена групою BluetoothSpecialInterestGroup (Bluetooth SIG) в 1998 р До неї увійшли компанії Ericsson, IBM, Intel, Toshiba і Nokia. Згодом група Bluetooth SIG і організація IEEE досягли угоди, на основі якого специфікація Bluetooth стала частиною стандарту IEEE 802.15.1 [16].

Радіозв'язок Bluetooth здійснюється в безліцензійному ISM-діапазоні (2,4 ... 2,4835 ГГц) зі швидкостями 1 Мбіт / с (версія 1.2); 3 Мбіт / с (версія 2.0); 24 Мбіт / с (версія 3.0) [2].

У Bluetooth застосовується метод розширення спектра зі стрибкоподібною перебудовою частоти FHSS. Метод FHSS простий і стійкий до перешкод, а радіоустройства в основному недорогі. Если говорить о преимуществах Bluetooth, то, прежде всего, следует отметить ее как высокоскоростную технологию, которую можно смело поставить в ряд с UWB или Wi-Fi (см. табл. 1). К ее недостаткам, скорее, можно отнести энергоемкость (по сравнению, например, с технологией ZigBee). Поэтому основная проблема, которая решалась на протяжении последних лет и решается в настоящее время в последних версиях Bluetooth, заключается в увеличении срока службы автономных источников электропитания. Вопросы по созданию технологии Bluetooth в качестве энергосберегающей решаются в т.ч. за счет специальных алгоритмов работы радиопередающих устройств, которые включаются в сеть лишь на момент пересылки данных (версии 4.0) [5].

Радіозв'язок *Bluetooth* здійснюється в безліцензійному ISM-діапазоні (2,4 ... 2,4835 ГГц) зі швидкостями:

- 1 Мбіт/с (версія 1.2);
- 3 Мбіт/с (версія 2.0);
- 24 Мбіт/с (версія 3.0);
- 1 Мбіт/с (версія 4.0, призначена для роботи з сенсорами, до 100 м.);
- 48 Мбіт/с (версія 5.0, збільшений радіус дії в 4 рази).

Принцип дії Bluetooth

Принцип дії оснований на використанні радіохвиль. Радіозв'язок Bluetooth відбувається в ISM-діапазоні (*Industry, Science and Medicine*), який використовується в різних битових приборах та безпроводових мережах (вільний від ліцензування діапазон 2,4-2,4835 ГГц). В Bluetooth використовується метод розширення спектра зі стрибкоподібною перебудовою частоти (*Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS*). Метод FHSS простий в реалізації, забезпечує стійкість до широкосмуговим завадам, а обладнання недороге.

Згідно алгоритму FHSS, в Bluetooth несуча частота сигналу скачкоподібно змінюється 1600 раз в секунду (всього виділяється 79 робочих частот шириною в 1 МГц, а в Японії, Франції та Іспанії смуга вужча — 23 частотних канала). Послідовність переключення між частотами для кожного з'єднання є псевдовипадковою й відома тільки передавачу та приймачу, які кожні 625 мкс (один часовий слот) синхронно переналаштовуються з однієї несчої частоти на іншу. Таким чином, якщо рядом працюють декілька пар приймач-передавач, то вони не заважають один одному. Цей алгоритм є також складовою частиною системи захисту конфіденційності передаваної інформації: перехід відбувається по псевдовипадковому алгоритму та визначається окремо для кожного з'єднання. При передачі цифрових даних й аудіосигнала (64 кбіт/с в обох напрямках) використовуються різномітні схеми кодування: аудіосигнал не повторюється (як правило), а цифрові дані у випадку втрати пакета інформації будуть передані повторно [6].

Протокол Bluetooth підтримує не тільки з'єднання «point-to-point», но й з'єднання «point-to-multipoint».

Інтерфейс *Bluetooth* дає змогу передавати як голос (зі швидкістю 64 Кбіт/с), так і дані. Для передачі даних можуть бути використані асиметричний (721 Кбіт/с в одному напрямку і 57,6 Кбіт/с в іншому) та симетричний (432,6 Кбіт/с в обох напрямках) методи. Працюючи на частоті 2.4 ГГц, прийомопередавач (*Bluetooth-chip*) дає змогу встановлювати зв'язок у межах 10 або 100 метрів. Різниця у відстані, безумовно, велика, однак з'єднання в межах 10 метрів дає змогу зберегти низьке енергоспоживання, компактний розмір і досить невисоку вартість компонентів. Так, малопотужний передавач споживає всього 0.3 мА в режимі standby і в середньому 30 мА під час обміну інформацією. У стандарті Bluetooth передбачене шифрування даних, що передаються з використанням ключа ефективної довжини від 8 до 128 біт і можливістю вибору односторонньої або двосторонньої аутентифікації. Додатково, до шифрування на рівні протоколу, може бути використано шифрування на програмному рівні.

Специфікації

Bluetooth 1.0

Пристрої версій 1.0 (1998) й 1.0B мають погану сумісність між продуктами різних виробників. В 1.0 и 1.0B була обов'язкова передача адреси пристрою (BD_ADDR) на етапі встановлення зв'язку, що робить неможливою реалізацію анонімності з'єднання на протокольному рівні й було основним недоліком даної специфікації.

Bluetooth 1.1

В Bluetooth 1.1 було виправлено більшість помилок, найдених в 1.0B, добавлена підтримка для нешифрованих каналів, індикація рівня потужності приймаємого сигналу (RSSI).

Bluetooth 1.2

Головні покращення включають наступні:

- Швидке підключення та виявлення.
- Адаптивне переналаштування частоти з розширеним спектром (AFH), яке підвищує стійкість до радіоперешкод.
- Більш високі, чим в 1.1, швидкості передачі даних, практично до 1 Мбіт/с.
- Розширені Синхронні Підключення (eSCO), які підвищують якість передачі мови в аудіопотоці, дозволяючи повторну передачу пошкоджених пакетів, й при необхідності можуть збільшувати затримку аудіо, щоби оказувати кращу підтримку для паралельної передачі даних.
- В Host Controller Interface (HCI) добавлена підтримка трьохпроводового інтерфейсу UART.
- Затвержений як стандарт *IEEE Standard 802.15.1-2005*.
- Введені режими управління потоком даних (Flow Control) і повторної передачі (*Retransmission Modes*) для L2CAP.

Bluetooth 2.0 + EDR

Bluetooth версії 2.0 був випущений 10 листопада 2004 г. Має зворотню сумісність з попередніми версіями 1.x. Основним нововведенням стала підтримка *Enhanced Data Rate* (EDR) для прискорення передачі даних. Номінальна швидкість EDR біля 3 Мбіт/с, однак на практиці це дозволило підвищити швидкість передачі даних тільки до 2,1 Мбіт/с. Додаткова продуктивність досягається за допомогою різних радіотехнологій для передачі даних.

Стандартна (базова) швидкість передачі даних використовує GFSK-модуляцію радіосигналу при швидкості передачі в 1 Мбіт / с. EDR використовує поєднання модуляцій GFSK і PSK з двома варіантами, $\pi / 4$ -DQPSK і 8DPSK. Вони мають великі швидкості передачі даних по повітря - 2 і 3 Мбіт / с відповідно.

Bluetooth SIG видала специфікацію як «Технологія Bluetooth 2.0 + EDR», яка має на увазі, що EDR є додатковою функцією. Крім EDR, є й інші незначні

удосконалення до 2.0 специфікації, і продукти можуть відповідати «Технології Bluetooth 2.0», не підтримуючи вищу швидкість передачі даних. Принаймні одне комерційне пристрій, HTC TuTN Pocket PC, використовує «Bluetooth 2.0 без EDR» в своїх технічних характеристиках.

Згідно 2.0 + EDR специфікації, EDR забезпечує наступні переваги:

- *Збільшення швидкості передачі в 3 рази (2,1 Мбіт / с) в деяких випадках.*
- *Зменшення складності декількох одночасних підключень через додаткової смуги пропускання.*
- *Зниження споживання енергії завдяки зменшенню навантаження.*

Bluetooth 2.1

2007 рік. Додана технологія розширеного запиту характеристик пристрою (для додаткової фільтрації списку при сполученні), енергозберігаюча технологія Sniff Subrating, яка дозволяє збільшити тривалість роботи пристрою від одного заряду акумулятора в 3-10 разів. Крім того оновлена специфікація істотно спрощує і прискорює встановлення зв'язку між двома пристроями, дозволяє проводити оновлення ключа шифрування без розриву з'єднання, а також робить зазначені сполуки більш захищеними, завдяки використанню технології *Near Field Communication*.

Bluetooth 2.1 + EDR

У серпні 2008 року *Bluetooth SIG* версію 2.1 + EDR. Нова редакція Bluetooth знижує споживання енергії в 5 разів, підвищує рівень захисту даних і полегшує розпізнавання і з'єднання Bluetooth-пристроїв завдяки зменшенню кількості кроків, за які воно виконується.

Bluetooth 3.0 + HS

3.0 + HS була прийнята Bluetooth SIG 21 квітня 2009 року. Вона підтримує теоретичну швидкість передачі даних до 24 Мбіт / с. Її основною особливістю є додавання AMP (Alternate MAC / PHY), додаток до 802.11 як високошвидкісне

сполучення. Для AMP були передбачені дві технології: 802.11 і UWB, але UWB відсутній в специфікації.

Модулі з підтримкою нової специфікації сполучають в собі дві радіосистеми: перша забезпечує передачу даних в 3 Мбіт / с (стандартна для Bluetooth 2.0) і має низьке енергоспоживання; друга сумісна зі стандартом 802.11 і забезпечує можливість передачі даних зі швидкістю до 24 Мбіт / с (порівнянна зі швидкістю мереж Wi-Fi). Вибір радіосистеми для передачі даних залежить від розміру переданого файлу. Невеликі файли передаються по повільному каналу, а великі - по високошвидкісному. Bluetooth 3.0 використовує більш загальний стандарт 802.11 (без суфікса), тобто несумісний з такими специфікаціями Wi-Fi, як 802.11b / g або 802.11n [4].

Bluetooth 4.0

Bluetooth з низьким енергоспоживанням

Bluetooth SIG затвердив специфікацію Bluetooth 4.0 30 червня 2010 року.

Bluetooth 4.0 включає в себе протоколи:

- Класичний Bluetooth;
- Високошвидкісний Bluetooth;
- Bluetooth з низьким енергоспоживанням.

Високошвидкісний Bluetooth заснований на Wi-Fi, а Класичний Bluetooth складається з протоколів попередніх специфікацій Bluetooth.

Частоти роботи системи Bluetooth (потужність не більше 0,0025 Вт).

Смуга частот 2 402 000 000 - 2 480 000 000 Гц (2,402 ГГц - 2,48 ГГц)

Протокол Bluetooth з низьким енергоспоживанням призначений, перш за все, для мініатюрних електронних датчиків (використовуються в спортивному взутті, тренажерах, мініатюрних сенсорах, що розміщуються на тілі пацієнтів і т. Д.). Низький рівень споживання енергії досягається за рахунок використання особливого алгоритму роботи. Передавач включається тільки на час відправки даних, що забезпечує можливість роботи від однієї батарейки типу CR2032 протягом декількох років. Стандарт надає швидкість передачі даних в 1 Мбіт / с при розмірі пакета даних 8-27 байт. У новій версії два Bluetooth-пристрої

зможуть встановлювати з'єднання менш ніж за 5 мілісекунд і підтримувати його на відстані до 100 м. Для цього використовується вдосконалена корекція помилок, а необхідний рівень безпеки забезпечує 128-бітове AES-шифрування.

Датчики температури, тиску, вологості, швидкості пересування і т. Д. На базі цього стандарту можуть передавати інформацію на різні пристрої контролю: мобільні телефони, КПК, ПК і т. П.

Перший чіп з підтримкою Bluetooth 3.0 і Bluetooth 4.0 був випущений компанією ST-Ericsson в кінці 2009 року. В даний час випускається велика кількість мобільних пристроїв з підтримкою цього стандарту.

Bluetooth 4.1

В кінці 2013 року Bluetooth Special Interest Group (SIG) представила специфікацію Bluetooth 4.1. Одне з поліпшень, реалізованих в специфікації Bluetooth 4.1, стосується спільної роботи Bluetooth і мобільного зв'язку четвертого покоління LTE. Стандарт передбачає захист від взаємних перешкод шляхом автоматичного координування передачі пакетів даних.

Bluetooth 4.2

3 грудня 2014 Bluetooth Special Interest Group (SIG) представила специфікацію Bluetooth 4.2. Основні поліпшення - підвищення конфіденційності та збільшення швидкості передачі даних.

Bluetooth 5.0

16 червня 2016 року Bluetooth Special Interest Group (SIG) представила специфікацію Bluetooth 5.0. Зміни торкнулися в основному режиму з низьким споживанням і швидкісного режиму. Радіус дії збільшений в 4 рази, швидкість збільшена в 2 рази.

3.4.5. Самоорганізуючі безпроводні сенсорні мережі і їх призначення

Їх основне призначення заключається не тільки в обміні даними між вузлами по децентралізованій самоорганізуючій мережі, але й в зборі інформації, що передається (в основному, даних) від датчиків (температури,

тиску, вологості, рівня радіації, акустичних коливань) в центральний вузол з метою її наступного аналізу або обробки.

Необхідність безпроводних сенсорних мереж на ринку також тісно пов'язана з концепцією інтелектуалізації таких об'єктів як дім, офіс і виробничі приміщення, де міська людина проводить до 90% свого часу, а також з концепцією створення кібернетичних виробництв (повністю оснащених роботами), основною задачею яких є впровадження безпроводних технологій на рівні АСУ ТП [4,7].

Що стосується концепції «роумного дому» і створення максимального комфорту на роботі, то в останній час такі безпроводні технології як Home RF (Shared Wireless Access Protocol - SWAP) і Bluetooth прийшли на заміну добре відомим проводимим рішенням LonWork и HomePNA, завоював свою нішу на ринку зв'язку для домашньої автоматизації і в сучасних будівлях адміністративно-офісного типу.

Сучасні безпроводні сенсорні мережі домашнього, офісного і промислового використання, орієнтовані в освному на передачу даних, представлені технологіями ZigBee и ZigBeePro (їх попередні назви HomeRF lite, Firefly и RF-EasyLink); Bluetooth; WHart (IEC) и ISA 100.11a.

Стандарт IEEE802.15.4 — основа безпроводних самоорганізуючих сенсорних мереж

Перераховані вище технології представлені різними протоколами верхнього рівня моделі OSI. Не дивлячись на різне призначення, усі стеки протоколів цих технологій (за виключенням Bluetooth) розроблені на базі єдиного стандарту LR WPAN IEEE802.15.4, який описує протоколи нижнього рівня (PHY и MAC) моделі OSI і пропонується в якості єдиного низькошвидкісного енергосберігаючого стандарту для безпроводних персональних мереж WPAN [8].

Пізніше у міжнародного стандарту IEEE802.15.4 з'явилося доповнення у вигляді IEEE802.15.4a, яке дозволяє на фізичному рівні повисистити швидкість передачі даних з 250 Кбіт/с до 1 Мбіт/с в 2,4-ГГц ISM-діапазоні і вище, тобто

до 480 Мбіт/с з радіусом дії до 2 м (DS UWB) в частотному діапазоні 3...10 ГГц [4].

Одночасно зі стандартом IEEE802.15.4a був створений ще один високошвидкісний стандарт — WPAN скороченого радіусу дії ECMA 368 (MB UWB) у вигляді ISO/IEC26907 (см. табл. 3.19) з врахуванням стандартів WiMedia/MBOA и рішень по IEEE802.15.3a [1].

Таблиця 3.19. Порівняння стандартів сімейств 802.15 и 802.11

Стандарт/характеристика	802.15.4 ZigBee™			802.15.1 Bluetooth	ECMA 368 (802.15.3a for High Rate WPAN), WiMedia (MB UWB OFDM)	802.15.4a DS-UWB Chirp (CSS)	802.11b Wi-Fi
Додатки	Моніторинг, управління, мережі датчиків, домашня/промислова автоматика			Голос, дані, заміна кабелей (провідного на безпроводний канал)	Потокові мультимедійні дані, заміна кабелей аудіо/відеосистем		Дані, голос, відео, LAN
Переваги	Ціна, енергосбереження, розміри мережі, вибір частотних діапазонів, DSSS и PSSS			Ціна, енергосбереження, передача голоса, FH	Висока швидкість, енергосбереження		Великий діапазон по швидкості, DSSS
Частота	868 МГц	915 МГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц	3,1...10,6 ГГц	2,4 ГГц; 3,1...10,6 ГГц	2,4 ГГц
Макс. швидкість	20 Кбіт/с	40 Кбіт/с	250 Кбіт/с	1, 3, 24 Мбіт/с (доп. 55 Мбіт/с)	53,3; 80; 106,7 МГц Доп.: 160, 200, 320, 400, 489 Мбіт/с	250 Кбіт/с, 1 Мбіт/с (chirp); 110 Мбіт/с (10 м), 200 Мбіт/с (4 м); (доп. 480 Мбіт/с)	1 Мбіт/с 2 Мбіт/с 11 Мбіт/с
Вихідна потужність, ном.	От 0 дБм (1 мВт)			0 дБм (клас 3) 4 дБм (клас 2) -30...20 дБм (клас 1)	0 дБм	<100 мВт (110 Мбіт/с) <250 мВт (200 Мбіт/с)	20 дБм
Дальність	1—10 м (укорочений радіус дії) 10—100 м (збільшений радіус дії)			1—5 м (клас 3) — укорочений радіус до 15 м (клас 2) 100 м (клас 1)	5...50 м	10 м (110 Мбіт/с) 4 м (200 Мбіт/с) 2 м (480 Мбіт/с)	10 м 100 м
Чутливість (специфікація)	-92 дБм	85 дБм	-70 дБм	-75 дБм	-	-76 дБм	-
Розмір стека	4...32 Кбайт			Больше 250	-	-	Більше 1

		Кбайт			Мбайт
Срок служби батареї (енергозбереження)	100—1000+ днів	1—7 днів	Немає статистики Теоретично більше 1000 днів		0,5—5 днів
Розмір мережі	65536 (16-бітні адреси), 264 (64-бітні адреси)	Мастер +7		До 127/хост	32

3.4.6. ZigBee

Останні досягнення в області безпроводних технологій у вигляді енергозберігаючих ad-hoc ZigBee і ZigBee-подобних технологій (IEEE802.15.4) (табл. 3.19) дозволили створювати низькокошвидкісні самоорганізуючі сенсорні в мережі коміркового типу (mesh).

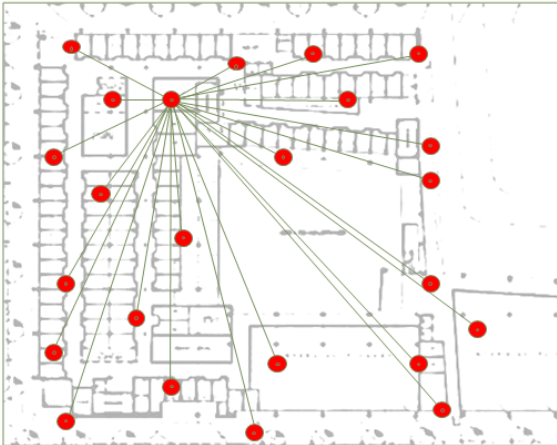
Відмінною особливістю мережі топології «осередок» в порівнянні з іншими топологіями в тому, що вона складається, як правило, з однорідних елементів, кожен з яких виступає як незалежний маршрутизатор. Mesh-мережа, в якій кожен вузол може зв'язатися з кожним іншим вузлом, являє собою повнозв'язну систему. Для неї характерна надмірність із заздалегідь визначеною кількістю вузлів, яка, в свою чергу, істотно підвищує надійність в порівнянні з мобільною технологією Bluetooth.

Як уже зазначалося, винятком із загального правила побудови енергозберігаючих бездротових систем, що самоорганізуються сенсорних мереж (IEEE802.15.4) є технологія Bluetooth (IEEE802.15.1) [16].

Порівняння мережевих топологій

Про підтримувані мережеві топології в попередньому розділі було сказано, але не було сказано про особливості. Розглянемо такий приклад: «Зірка» vs. «Mesh»

Wi-Fi, Bluetooth



ZigBee, Thread

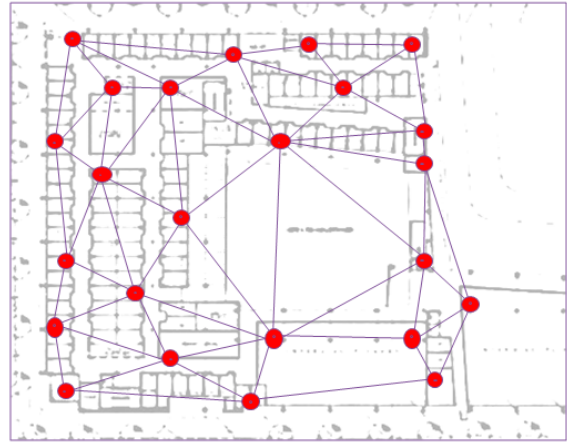


Рис. 3.32. Топології різних радіомереж

У мережах Bluetooth і Wi-Fi мережеве взаємодія йде через центральний шлюз. І якщо він вийде з ладу, то обмін даними стане неможливим.

Крім цього окремі вузли можуть залишитися без зв'язку, якщо несподівано виникла перешкода на шляху проходження радіосигналу.

У мережах ZigBee і Thread надійність зв'язку підвищується за рахунок наявності надлишкових зв'язків між пристроями. Всі пристрої, які не йдуть в сплячий режим, виконують роль роутерів, які відповідальні за маршрутизацію мережевого трафіку, вибору оптимального маршруту слідування і ретрансляцію пакетів. Навіть якщо з ладу вийде пристрій, яке виступало в якості організатора мережі, ZigBee-мережу продовжить функціонувати далі. Виникнення перешкоди або перешкоди, а також вихід будь-якого з роутерів з ладу не є критичним за рахунок наявності надлишкових зв'язків. Тому з введенням додаткових вузлів, які мають стаціонарне харчування і можуть виконувати завдання роутера, мережу стає надійніше [7].

Типова структура мережі ZigBee

Тепер зупинимося на структурі самої мережі ZigBee і типах пристроїв, які в ній можуть бути.

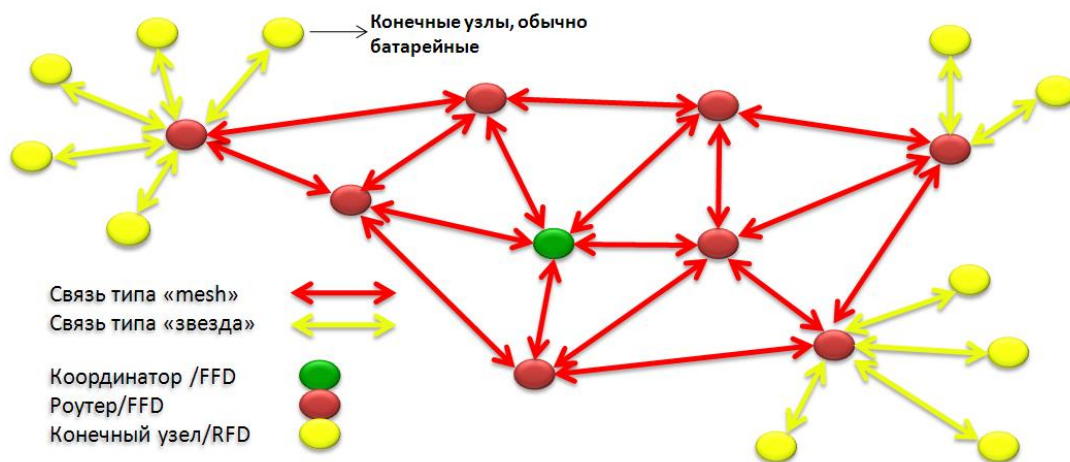


Рис.3.33. Типова структура мережі ZigBee

Координатор - це вузол, який організував мережу. Саме він вибирає політику безпеки мережі, дозволяє або забороняє підключення до мережі нових пристроїв, а також при наявності перешкод в радіофері ініціює процес перекладу всіх пристроїв в мережі на інший частотний канал.

Роутер - це вузол, який має стаціонарне харчування і отже може постійно брати участь в роботі мережі. Координатор також є роутером. На вузлах цього типу лежить відповідальність за маршрутизацію мережевого трафіку. Роутери постійно підтримують спеціальні таблиці маршрутизації, які використовуються для прокладки оптимального маршруту і пошуку нового, якщо раптом якийсь пристрій вийшов з ладу. Наприклад, роутерами в мережі ZigBee можуть бути розумні розетки, блоки управління освітлювальними приладами або будь-яке інше пристрій, який має підключення до мережі електроживлення.

Кінцевий пристрій - це пристрій, який підключається до мережі через батьківський вузол - роутер або координатор - і не бере участі в маршрутизації трафіку. Все спілкування з мережею для них обмежується передачею пакетів на «батьківський» вузол або зчитуванням даних, що надійшли з нього ж. «Батьком» для таких пристроїв може бути будь-який роутер або координатор. Кінцеві пристрої більшу частину часу перебувають у сплячому режимі і відправляють управліає або інформаційне повідомлення зазвичай тільки по певній події (натискання кнопки вимикача, відкриття вікна або двері). Це дозволяє їм довго зберігати енергію вбудованого джерела живлення.

Прикладом кінцевих пристроїв в мережах ZigBee можуть бути бездротові вимикачі, що керують роботою світильників і працюють від батарейок, датчики протікання води, датчики відкриття / закриття дверей. Варто сказати, що кінцеві пристрої діляться на 3 категорії, кожна з яких має свої особливості.

Так як кінцеві пристрої більшу частину часу перебувають у сплячому режимі і прокидаються лише для опитування батьківського вузла на наявність повідомлень для себе, або для передачі даних, то це дозволяє економно витрачати енергію батарейковому джерела живлення.

Переваги та недоліки Wi-Fi

Переваги

1. Найбільш висока пропускна спроможність до 600 Мб/с с версією протоколу 802.11n.
2. Постійна (25 МГц) або більш широка смуга частот каналів.
3. Підтримка каналів в діапазонах частот 2,4 и 5 ГГц.
4. Підвищений захист.

Недоліки

1. Скорочення радіусу дії при підвищенні швидкості передачі даних або переході в діапазон 5 ГГц.
2. Погано підходить для датчиків з живленням від батарей.

Переваги та недоліки Bluetooth

Переваги

1. Дуже мале споживання енергії.
2. Масове впровадження.
3. Гарна роботоспроможність в умовах інтенсивних сторонніх та взаємних завад.
4. Простота використання, відсутність необхідності частного і територіального планування.

Недоліки

1. Максимальна пропускна спроможність 2 Мб/с.

2.Немає режиму автоматичного роумінгу.

Переваги та недоліки Zigbee

Переваги

- 1.Дуже мале споживання енергії
- 2.Фіксовані канали між каналами Wi-Fi в діапазоні 2,4 ГГц.
- 3.Підтримка діапазонів нижче 1 ГГц.

Недоліки

- 1.Складна комерційна мережа.
- 2.Максимальна пропускна спроможність 259 кб/с.

Контрольні питання до розділу

1. Конфігурації стаціонарного радіодоступу до телефонних мереж
2. Які наступні технології доступу працюють на провідних каналах:
 - a. LMDS;
 - b. ISDN;
 - c. xDSL;
 - d. WLL;
 - e. MMDS;
 - f. CaTV.
3. Стандарт 802.15.4 представляє собою технологію:
 - a. WiMax;
 - b. Wi-Fi;
 - c. Bluetooth v. 2.0;
 - d. Bluetooth v. 3.0;
 - e. ZigBee;
 - f. Bluetooth v.1.1.
4. Порівняння технологій Bluetooth та ZigBee. Їх переваги та недоліки.
5. Багаточисленний доступ з частотним розподілом, при цьому виділений для визначеної системи спектр частот ділиться на смуги, в яких відбувається передача каналної інформації від різних абонентів:
 - a. TDD;
 - b. TDMA;
 - c. FDMA;
 - d. FHSS;
 - e. CDMA.

6. Порівняння технологій WiMAX і Wi-Fi. Переваги та недоліки цих технологій.
7. Технологія DECT має засіб розподілу каналів:
- a. FDMA;
 - b. TDMA;
 - c. CDMA;
 - d. FHSS;
 - e. ISM.
8. Технологія CT-2 Tangara має засіб розподілу каналів:
- a. FDMA;
 - b. TDMA;
 - c. CDMA;
 - d. FHSS;
 - e. ISM.
9. Стандарт 802.15.4 представляє собою технологію:
- a. WiMax;
 - b. Wi-Fi;
 - c. Bluetooth v. 2.0;
 - d. Bluetooth v. 3.0;
 - e. ZigBee;
 - f. Bluetooth v.1.1.
10. Технологія MGW Hopping має засіб розподілу каналів:
- a. FDMA;
 - b. TDMA;
 - c. CDMA;
 - d. FHSS;
 - e. ISM.
11. Технологія Wi-Fi має топологію:
- a. кільце;
 - b. зірка;
 - c. шина;
 - d. дерево;
 - e. повнозв'язна.
12. Технологія ZigBee має топологію:
- a. кільце;
 - b. зірка;
 - c. шина;
 - d. дерево;
 - e. повнозв'язна.
13. Які наступні технології працюють по радіоканалам:

- a. CDMA;
- b. FTTx;
- c. xDSL;
- d. WLL;
- e. DECT;
- f. CaTV.

14. Які існують конфігурації стаціонарного радіодоступу до телефонних мереж
15. Технологія радіодоступу CT-2. Особливості, переваги, недоліки.
16. Технологія радіодоступу DECT. Особливості, переваги, недоліки.
17. Технологія радіодоступу CDMA. Особливості, переваги, недоліки.
18. Технологія Wi-MAX. Особливості, переваги, недоліки.
19. Технологія ZigBee. Особливості, переваги, недоліки.
20. Технологія Bluetooth . Особливості, переваги, недоліки.
21. Радіозв'язок *Bluetooth (версія 1.2)* здійснюється в безліцензійному ISM-діапазоні (2,4 ... 2,4835 ГГц) зі швидкістю:
- a. 1 Мбіт/с;
 - b. 3 Мбіт/с;
 - c. 24 Мбіт/с;
 - d. 36 Мбіт/с;
 - e. 48 Мбіт/с.
22. Радіозв'язок *Bluetooth (версія 2.0)* здійснюється в безліцензійному ISM-діапазоні (2,4 ... 2,4835 ГГц) зі швидкістю:
- a. 1 Мбіт/с;
 - b. 3 Мбіт/с;
 - c. 24 Мбіт/с;
 - d. 36 Мбіт/с;
 - e. 48 Мбіт/с.
23. Радіозв'язок *Bluetooth (версія 3.0)* здійснюється в безліцензійному ISM-діапазоні (2,4 ... 2,4835 ГГц) зі швидкістю:
- a. 1 Мбіт/с;
 - b. 3 Мбіт/с;
 - c. в). 24 Мбіт/с;
 - d. з). 36 Мбіт/с;
 - e. д). 48 Мбіт/с.
24. Радіозв'язок *Bluetooth (версія 5.0, збільшений радіус дії в 4 рази)* здійснюється в безліцензійному ISM-діапазоні (2,4 ... 2,4835 ГГц) зі швидкістю:
- a. 1 Мбіт/с;
 - b. 3 Мбіт/с;

- c. 24 Мбіт/с;
 - d. 36 Мбіт/с;
 - e. 48 Мбіт/с.
25. Радіозв'язок *Bluetooth* (версія 4.0, призначена для роботи з сенсорами, до 100 м.) здійснюється в безліцензійному ISM-діапазоні (2,4 ... 2,4835 ГГц) зі швидкістю:
- a. 1 Мбіт/с;
 - b. 3 Мбіт/с;
 - c. 24 Мбіт/с;
 - d. 36 Мбіт/с;
 - e. 48 Мбіт/с.

Список рекомендованої літератури

1. Новиков Ю. В., Кондратенко С. В. Основы локальных сетей. Курс лекций. [Електронний ресурс]. – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступу до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/57/57/info>.
2. Жураковський Б.Ю. Системи доступу. Навчальний посібник. [Електронний ресурс] / Б. Ю. Жураковский, Н. В. Коршун // Київ, Державний університет телекомунікацій. – 2015. – 58 с.– Режим доступу до ресурсу: http://ir.nmapo.edu.ua:8080/jspui/bitstream/lib/277/1/1_841_81364872.pdf
3. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник для вищих навчальних закладів./ П.П.Воробієнко, Л.А.Нікітюк, П.І.Резніченко. – К.: САММІТ-КНИГА, 2010. – 708 с.
4. Жураковский Б.Ю. Перспективные сети доступа // Актуальные научные исследования в современном мире Том 1, Выпуск 9(53), Издавец Переяслав-Хмельницкий, 2019. - с. 87-93.
5. И. Баскаков, А. Бобков, В. Платонов, А. Пролетарский, Р. Федотов, Д. Чирков Беспроводные сети Wi-Fi. Курс лекций. [Електронний ресурс]. - М.: Интернет-университет информационных технологий, 2015, ISBN: 978-5-94774-737-9. Режим доступу до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/1004/202/info>
6. Бондарчук А. П. Проектування радіодоступу з оптимальними параметрами мережі / Андрій Петрович Бондарчук. // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2017. – №1. – С. 28–33.
7. Жураковский Б. Ю. Обработка информации в сенсорных сетях / Б. Ю. Жураковский, И. Р. Пархомей, В. А. Дружинин. // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2018. – №1. – С. 42–57.
URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=asau_2018_1_7

8. *Заика А.* Локальные сети и интернет. [Электронный ресурс]. - М.: Интернет-университет информационных технологий, 2012, Режим доступа до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/509/365/info>

Розділ 4. ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ

Вступ

В даний час в світі електронних комунікацій використовуються три принципово різні інформаційні інфраструктури: телефонна мережа для передачі мови, кабельна мережа і система телемовлення для трансляції відеозображення, мережі з комутацією пакетів для взаємодії між комп'ютерами. Крім перерахованих інфраструктур, багато організацій реалізують інші типи комунікаційних технологій в локальних мережах для передачі даних по приватним середовищах передачі.

По суті різні типи комунікаційних технологій еволюціонують паралельно, переслідуючи при цьому принципово різні цілі. Простежуються деякі спільні шляхи розвитку трьох основних комунікаційних інфраструктур. Всі вони переходять від аналогових технологій до цифрових методів передачі, мультиплексування і комутації. Професіонали, які спеціалізуються в області комунікації, поступово приходять до думки, що різні інформаційні інфраструктури потрібно злити в єдину мережеву інфраструктуру, здатну підтримувати передачу даних будь-якого типу. Проблеми подібного роду призвели до виникнення безлічі технологій, що дозволяють підібрати оптимальне рішення для побудови і розвитку операторської мережі, проте вибір цей часто дуже непростий. Поява нових стандартів, а також фірмових рішень від деяких виробників, безперервно змінює співвідношення сил в протистоянні технологій на магістралі і останній милі. Безліч чинників здатні схилити чашу терезів на користь тієї чи іншої технології, і тому тільки ретельний аналіз конкретної ситуації може допомогти вибрати ефективне рішення [1].

В першу чергу оператору необхідно визначитися з тим, які види послуг

буде надавати його мережу, оцінити співвідношення різних видів трафіку на поточний момент і спрогнозувати ситуацію на найближчу перспективу. Традиційними на сьогоднішній день завдань, які розв'язуються в мережі оператора, є:

- передача традиційного трафіку телефонії;
- передача трафіку даних Інтернет (для приватних осіб і / або компаній);
- передача трафіку даних корпоративних мереж (об'єднання ЛВС);
- передача трафіку IP-телефонії (для приватних осіб і / або в корпоративній мережі);
- передача відеотрафіка щодо невисокої якості (організація відеоконференцій або відеотрансляції з серверів);
- передача відеотрафіка від студій CATV (broadcast відео і відео за запитом, VoD).

Існуючі сьогодні тенденції до об'єднання в єдиний пакет послуг більшості з перерахованих сервісів обумовлені як реальним або прогнозованим попитом ринку, так і конкурентною боротьбою між сервіс-провайдерами. Так, наприклад, оператори мереж CATV і традиційні телефонні оператори починають активно пропонувати своїм абонентам доступ в Інтернет, а великі Інтернет провайдери організовують альтернативні мережі IP-телефонії. Після визначення пріоритетних видів послуг, оператору необхідно вибрати магістральну технологію для своєї мережі або її ділянки. Сучасна магістраль повинна відповідати наступним вимогам [2]:

- масштабованість, забезпечення розвитку мережі з урахуванням можливого значного зростання;
- висока швидкість передачі;
- керованість;
- надійність і можливість резервування, що гарантують достатній час безперебійної роботи, а також прийнятний час відновлення в разі аварії;
- безпеку інформації;
- забезпечення необхідної смуги пропускання;
- забезпечення необхідної якості обслуговування клієнтів.

Також важливою характеристикою магістралі є її протяжність, в разі MAN (Metropolitan Area Network) досягає десятків кілометрів. Очевидно, що оптичний кабель є найкращою середовищем передачі для таких мереж, хоча для деяких технологій існують і досить активно використовуються такі реалізації фізичного рівня, як радіорелейні лінії і, рідше, інфрачервона зв'язок. Базовими магістральними технологіями на сьогоднішній день є наступні технології [2]:

- DWDM;
- SDH;
- ATM;
- Gigabit / 10GB Ethernet;
- MPLS / GMPLS.

Варто зауважити, що вибір технології для магістралі визначається не тільки технічними факторами, а й економічною доцільністю її застосування для вирішення завдань оператора. Не менш важливим для оператора вибором є вибір технологій для забезпечення абонентського доступу. Нижче перераховані фактори, що визначають перевагу тій чи іншій технології доступу:

- вартість підключення на абонента, один з ключових чинників, оскільки всі витрати на обладнання несе конкретний абонент - вартість практично не знижується з ростом кількості користувачів;
- простота підключення - фактор, що визначає швидкість процесу «охоплення» абонентів і, власне, вартість підключення
- достатня для абонента швидкість;
- забезпечення необхідної смуги пропускання;
- забезпечення необхідної якості обслуговування клієнтів; орієнтація на існуючу кабельну інфраструктуру (коаксіальний кабель, вита пара, телефонна проводка, оптичне волокно і т.д.) - найчастіше визначальний фактор для багатьох операторів.

При виборі технології для створення магістралі і рішення задач "останньої милі", оператор повинен вирішувати такі економічні завдання:

- мережа повинна бути економічно ефективною, дана область вкладень вигідною і рентабельною;
- мережа повинна активно формувати для себе ринок збуту, тобто оператору необхідно використовувати маркетингові технології з дослідження, формування та впливу на ринок;
- послуги мережі повинні бути доступні за трьома складовими: операційної, комфортною і платіжною. Перша складова передбачає оперативну установку абонентського обладнання, що задовольняє поточним запитам і розрахованого на найближчу перспективу. Комфорт визначається простотою і зручністю використання обладнання, платіжна складова - простотою і зручністю оплати послуг (передоплата за допомогою пластикових карт).

4.1. Технологія синхронної цифрової ієрархії SONET / SDH

4.1.1 Загальні відомості

Технологія синхронної цифрової ієрархії спочатку була розроблена компанією Bellcore під назвою «Синхронні оптичні мережі» - Synchronous Optical NETs, SONET. Перший варіант стандарту з'явився в 1984 році. Потім ця технологія була стандартизована комітетом T1 ANSI. Міжнародна стандартизація технології проходила під егідою Європейського інституту телекомунікаційних стандартів (ETSI) і CCITT спільно з ANSI і провідними телекомунікаційними компаніями Америки, Європи і Японії. Основною метою розробників міжнародного стандарту було створення такої технології, яка дозволяла б передавати трафік всіх існуючих цифрових каналів (як американських T1 - T3, так і європейських E1 - E3) в рамках високошвидкісної магістральної мережі на волоконно-оптичних кабелях і забезпечила б ієрархію швидкостей, яка продовжує ієрархію технології SDH (специфікації G.707-G.709), а також доопрацювати стандарти PDH, до швидкості в кілька гігабіт на секунду [3].

В результаті тривалої роботи вдалося розробити міжнародний стандарт Synchronous Digital Hierarchy, SDH (специфікації G.707-G.709), а також доопрацювати стандарти SONET таким чином, що апаратура і стеки SDH і SONET стали сумісними і можуть мультиплексировать вхідні потоки практично будь-якого стандарту PDH - як американського, так і європейського. У термінології і початкової швидкості технології SDH і SONET залишилися розбіжності, але це не заважає сумісності апаратурі різних виробників, а технологія SONET / SDH фактично стала вважатися єдиною технологією.

Ієрархія швидкостей при обміні даними між апаратурою SONET / SDH, яку підтримує технологія, представлена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Швидкості технології SONET / SDH

SDH	SONET	Швидкість
---	STS-1, OC-1	51,840 Мб/с
STM-1	STS-3, OC-3	155,520 Мб/с
STM-3	STS-9, OC-9	466,560 Мб/с
STM-4	STS-12, OC-12	622,080 Мб/с
STM-6	STS-18, OC-18	933,120 Мб/с
STM-8	STS-24, OC-24	1,244 Гб/с
STM-12	STS-36, OC-36	1,866 Гб/с
STM-16	STS-48, OC-48	2,488 Гб/с
STM-64	STS-192, OC-192	9,9533 Гб/с
STM-256	STS-768, OC-768	39,813 Гб/с

У стандарті SDH всі рівні швидкостей (і, відповідно, формати кадрів для цих рівнів) мають загальну назву: STM-n - Synchronous Transport Module level n. В технології SONET існують два позначення для рівнів швидкостей: STS-n - Synchronous Transport Signal level n, вживане при передачі даних електричним сигналом, і OC-n - Optical Carrier level n, вживане при передачі даних світловим променем по волоконно-оптичному кабелю. Формати кадрів STS і OC ідентичні. Як видно з таблиці, стандарт SONET починається зі швидкості 51,84 Мбіт / с, а стандарт SDH - зі швидкості 155,52 Мбіт / с, що дорівнює потроєною початкової швидкості SONET. Міжнародний стандарт визначив початкову

швидкість ієрархії в 155,52 Мбіт / с, щоб зберігалася стрункість і спадкоємність технології SDH з технологією PDH - в цьому випадку канал SDH може передавати дані рівня DS-4, швидкість яких дорівнює 139,264 Мбіт / с. Будь-яка швидкість технології SONET / SDH кратна швидкості STS-1. Деяка надмірність швидкості 155,52 Мбіт / с для передачі даних рівня DS-4 пояснюється великими накладними витратами на службові заголовки кадрів SONET / SDH.

Кадри даних технологій SONET і SDH, звані також циклами, за форматами збігаються, природно починаючи з загального рівня STS-3 / STM-1. Ці кадри мають досить великий надмірністю, так як передають велику кількість службової інформації, яка потрібна для [4]:

- забезпечення гнучкої схеми мультиплексування потоків даних різних швидкостей дозволяють вставляти та виймати призначену для користувача інформацію будь-якого рівня швидкості немультіплексірую весь потік;
- забезпечення відмовостійкості мережі;
- підтримки операцій контролю і управління на рівні протоколу мережі;
- синхронізації кадрів в разі невеликого відхилення частот двох сполучених мереж.

4.1.2. Стек протоколів

Стек протоколів і основні структурні елементи мережі SONET / SDH показані на рис. 4.1 [5].

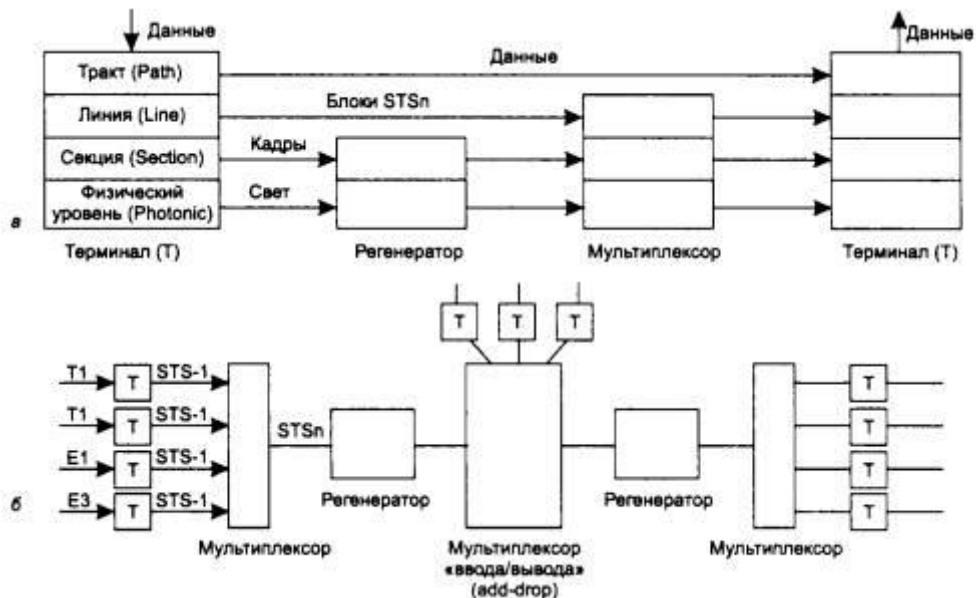


Рис. 4.1. Стек протоколів і структура мережі SONET / SDH

Нижче перераховані пристрої, які можуть входити в мережу технології SONET / SDH.

- **Термінальні пристрої** (Terminal, T), звані також сервісними адаптерами (Service Adapter, SA), приймають призначені для користувача дані від низькошвидкісних каналів технології PDH (типу T1 / E1 або T3 / E3) і перетворюють їх в кадри STS-n. (Далі аббревіатура STS-n використовується як загальне позначення для кадрів SONET / SDH.)

- **Мультиплексори** (Multiplexers) приймають дані від термінальних пристроїв і мультиплексують потоки кадрів різних швидкостей STS-n в кадри вищої ієрархії STS-m.

- **Мультиплексори «введення-виведення»** (Add-Drop Multiplexers) можуть приймати і передавати транзитом потік певної швидкості STS-n, вставляючи або видаляючи «на ходу», без повного демультимплексування, призначені для користувача дані, що приймаються з низькошвидкісних входів.

- **Цифрові крос-конектори** (Digital Cross-Connect, DCC), звані також апаратурою оперативного перемикавання (АОП), призначені для мультиплексування і постійної комутації високошвидкісних потоків STS-n різного рівня між собою (на рис. 1.1 не показані). Крос-конектор являє собою різновид мультиплексора, основне призначення якого - комутація

високошвидкісних потоків даних, можливо, різної швидкості. Крос-коннектори утворюють магістраль мережі SONET / SDH.

- **Регенератори сигналів**, які використовуються для відновлення потужності і форми сигналів, що пройшли значну відстань по кабелю. На практиці іноді складно провести чітку межу між описаними пристроями, так як багато виробників випускають багатофункціональні пристрої, які включають термінальні модулі, модулі «введення-виведення», а також модулі крос-конекторів.

Стек протоколів складається з протоколів 4-х рівнів.

- *Фізичний рівень*, названий в стандарті фотонним (photonic), має справу з кодуванням біт інформації за допомогою модуляції світла. Для кодування сигналу застосовується метод NRZ (завдяки зовнішній тактовій частоті його погані самосінхронізуючі властивості не домінують) [5].

- *Рівень секції* (section) підтримує фізичну цілісність мережі. Секцією в технології називається кожен безперервний відрізок волоконно-оптичного кабелю, який з'єднує пару пристроїв SONET / SDH між собою, наприклад мультиплексор і регенератор. Протокол секції має справу з кадрами і на основі службової інформації кадру може проводити тестування секції і підтримувати операції адміністративного контролю. У заголовку протоколу секції є байти, що утворюють звуковий канал 64 Кбіт / с, а також канал передачі даних управління мережею зі швидкістю 192 Кбіт / с. Тема секції завжди починається з двох байт 11110110 00101000, які є прапорами початку кадру. Наступний байт визначає рівень кадру: STS-1, STS-2 і т. Д. За кожним типом кадру закріплений певний ідентифікатор.

- *Рівень лінії* (line) відповідає за передачу даних між двома мультиплексорами мережі. Протокол цього рівня працює з кадрами різних рівнів STS-n для виконання різних операцій мультиплексування і демультиплексування, а також вставки і видалення призначених для користувача даних. Таким чином, лінією називається потік кадрів одного рівня між двома мультиплексорами. Протокол лінії також відповідальний за проведення операцій реконфігурування лінії в разі відмови будь-якого її елемента - оптичного волокна, порту або сусіднього

мультиплектора.

- *Рівень тракту* (path - шлях) відповідає за доставку даних між двома кінцевими користувачами мережі. Тракт (шлях) - це складене віртуальне з'єднання між користувачами. Протокол тракту повинен прийняти дані, що надходять в призначеному для користувача форматі, наприклад форматі T1, і перетворити їх в синхронні кадри STS-n / STM-m.

Як видно з рисунку 4.1, регенератори працюють тільки з протоколами двох нижніх рівнів, відповідаючи за якість сигналу і підтримки операцій тестування і управління мережею. Мультиплексори працюють з протоколами трьох нижніх рівнів, виконуючи, крім функцій регенерації сигналу і реконфігурації секцій, функцію мультиплексування кадрів STS-n різних рівнів. Крос-коннектор являє собою приклад мультиплектора, який підтримує протоколи трьох рівнів. І нарешті, функції всіх чотирьох рівнів виконують термінали, а також мультиплексори «введення-виведення», тобто пристрої, що працюють з одними потоками даних.

4.1.3. Формат кадру

Формат кадру STS-1 представлений на рис. 4.2. Кадри технології SONET / SDH прийнято представляти у вигляді матриці, що складається з n рядків і m стовпців. Таке уявлення добре відображає структуру кадру зі свого роду підкадрів, званими віртуальними контейнерами (Virtual Container, VC - термін SDH) або віртуальними притоками (Virtual Tributaries, VT - термін SONET). Віртуальні контейнери - це підкадрів, які переносять потоки даних, швидкості яких нижче, ніж початкова швидкість технології SONET / SDH в 51,84 Мбіт / с (наприклад, потік даних T1 зі швидкістю 1,544 Мбіт / с).



Рис. 4.2. Формат кадру STS-1

Кадр STS-1 складається з 9 рядків і 90 стовпців, тобто з 810 байт даних. Між пристроями мережі кадр передається послідовно по байтам - спочатку перший рядок зліва направо, потім друга і т. Д. Перші 3 байти кожного рядка є службові заголовки. Перші 3 рядки являють собою заголовок з 9 байт протоколу рівня секції і містять дані, необхідні для контролю і реконфігурації секції. Решта 6 рядків складають заголовок протоколу лінії, який використовується для реконфігурації, контролю та управління лінією. Пристрої мережі SONET / SDH, які працюють з кадрами, мають достатній буфер для розміщення в ньому всіх байт кадру, що протікають синхронно через пристрій, тому пристрій для аналізу інформації на деякий час має повний доступ до всіх частин кадру. Таким чином, розміщення службової інформації в несуміжних байтах не представляє складності для обробки кадру [6].

Ще один стовпець представляє собою заголовок протоколу шляху. Він використовується для вказівки місця розташування віртуальних контейнерів всередині кадру, якщо кадр переносить низькошвидкісні дані користувача каналів типу T1 / E1. Місцезнаходження віртуальних контейнерів задається не жорстко, а за допомогою системи покажчиків (pointers).

Концепція покажчиків є ключовою в технології SONET / SDH. Покажчик покликаний забезпечити синхронну передачу байт кадрів з асинхронним характером вставляються і видаляються призначених для користувача даних. Покажчики використовуються на різних рівнях.

Розглянемо, як за допомогою покажчика виконується виділення поля даних кадру з синхронного потоку байт. Незважаючи на живлення всіх

пристроїв мережі SONET / SDH тактовою частотою синхронізації з одного центрального джерела, синхронізація між різними мережами може незначно порушуватися. Для компенсації цього ефекту початку поля даних кадру (званого в стандарті SPE - Synchronous Payload Environment) дозволяється зміщуватися щодо початку кадру довільним чином. Реальний початок поля SPE задається покажчиком Н1, розміщеним в заголовку протоколу лінії. Кожен вузол, що підтримує протокол лінії, зобов'язаний стежити за частотою даних, що надходять і компенсувати її розбіжність з власною частотою за рахунок вставки або видалення одного байта з службового заголовка. Потім вузол повинен наростити або зменшити значення покажчика першого байта поля даних SPE щодо початку кадру STS-1. В результаті поле даних може розміщуватися в двох послідовних кадрах, як це показано на рис.4.3.

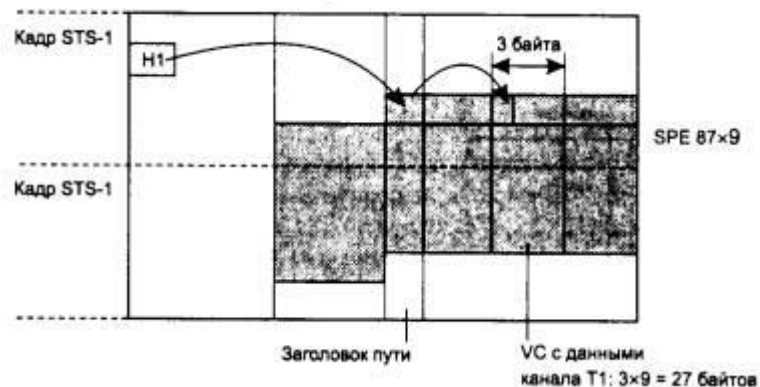


Рис. 4.3. Використання покажчиків для пошуку даних в кадрі

Той же прийом застосовується для вставки або видалення призначених для користувача даних в потоці кадрів STS-n. Призначені для користувача дані каналів типу T1 / E1 або T3 / E3 асинхронні по відношенню до потоку байтів кадру STS-n. Мультиплексор формує віртуальний контейнер і, користуючись покажчиком Н1, знаходить початок чергового поля даних. Потім мультиплексор аналізує заголовок шляху і знаходить в ньому покажчик Н4, який описує структуру містяться в кадрі віртуальних контейнерів. Виявивши вільний віртуальний контейнер потрібного формату, наприклад для 24 байт каналу T1, він вставляє ці байти в потрібне місце поля даних кадру STS-1. Аналогічно проводиться пошук початку даних цього каналу при виконанні операції

видалення призначених для користувача даних.

Таким чином, кадри STS-п завжди утворюють синхронний потік байтів, але за допомогою зміни значення відповідного покажчика можна вставити і витягти з цього потоку байти низької каналу, не виконуючи повного демультимплексування високошвидкісного каналу [6].

Віртуальні контейнери також містять додаткову службову інформацію по відношенню до даних користувача каналу, який вони переносять. Тому віртуальний контейнер для перенесення даних каналу T1 вимагає швидкості передачі даних не 1,544 Мбіт / с, а 1,728 Мбіт / с.

В технології SONET / SDH існує гнучка, але досить складна схема використання поля даних кадрів STS-п. Складність цієї схеми в тому, що потрібно «вкласти» в кадр найбільш раціональним способом мозаїку з віртуальних контейнерів різного рівня. Тому в технології SONET / SDH стандартизовано шість типів віртуальних контейнерів, які добре поєднуються один з одним при утворенні кадру STS-п. Існує ряд правил, за якими контейнери кожного виду можуть утворювати групи контейнерів, а також входити до складу контейнерів більш високого рівня. Відмовостійкість мережі SONET / SDH вбудована в її основні протоколи. Цей механізм називається автоматичним захисним перемиканням - Automatic Protection Switching, APS. Існують два способи його роботи. У першому способі захист здійснюється за схемою 1: 1. Для кожного робочого волокна (і обслуговуючого його порту) призначається резервне волокно. У другому способі, званому 1: n, для захисту n волокон призначається тільки одне захисне волокно.

У схемі захисту 1: 1 дані передаються як по робочому, так і по резервному волокну. При виявленні помилок приймає мультимплексор повідомляє передавальному, яке волокно має бути робочим. Зазвичай при захисті 1: 1 використовується схема двох кілець, схожа на подвійні кільця FDDI, але тільки з одночасною передачею даних в протилежних напрямках. При обриві кабелю між двома мультимплексорами відбувається згортання кілець, і, як і в мережах FDDI, з двох кілець утворюється одне робоче.

Застосування схеми резервування 1: 1 не обов'язково вимагає кільцевого

з'єднання мультиплексорів, можна застосовувати цю схему і при радіальному підключенні пристроїв, але кільцеві структури вирішують проблеми відмовостійкості ефективніше - якщо в мережі немає кілець, радіальна схема не зможе нічого зробити при обриві кабелю між пристроями. Управління, конфігурація і адміністрування мережі SONET / SDH також вбудовано в протоколи. Службова інформація протоколу дозволяє централізовано і дистанційно конфігурувати шляху між кінцевими користувачами мережі, змінювати режим комутації потоків в крос-коннекторах, а також збирати детальну статистику про роботу мережі. Існують потужні системи управління мережами SDH, що дозволяють прокладати нові канали простим переміщенням миші по графічній схемі мережі [6].

На основі первинної мережі SDH можна будувати мережі з комутацією пакетів, наприклад frame або ATM, або ж мережі з комутацією каналів, наприклад ISDN. Технологія ATM полегшила це завдання, прийнявши стандарти SDH в якості основних стандартів фізичного рівня. Тому при існуванні інфраструктури SDH для утворення мережі ATM досить з'єднати ATM-комутатори жорстко сконфігурованими в мережі SDH-каналами. Технологія SONET / SDH дуже економічно вирішує завдання мультиплексування і комутації потоків різної швидкості, тому сьогодні вона, незважаючи на неможливість динамічного перерозподілу пропускної спроможності між абонентськими каналами, є найбільш поширеною технологією створення первинних мереж. Технологія ATM, яка хоча і дозволяє динамічно перерозподіляти пропускну здатність каналів, вийшла значно складніше, і рівень накладних витрат у неї набагато вище.

4.1.4. Принципи мультиплексування в ієрархії SDH / SONET

Принцип передачі сигналів полягає в тому, що кожен 125 мс передається стандартний синхронний модуль (рис. 4.4), який називається "синхронний транспортний модуль" (STM - Synchronous Transport Module). Розглянемо детальніше модуль STM1 [5] При передачі в канал він містить 9 тимчасових

положень [6] в кожному, з яких утримуються 270 байтів (8 бітові одиниці).

Таким чином, необхідна швидкість дорівнює

$$9 \times 270 \times 8 \times 8000 = 155,2 \text{ Мбит/с}$$

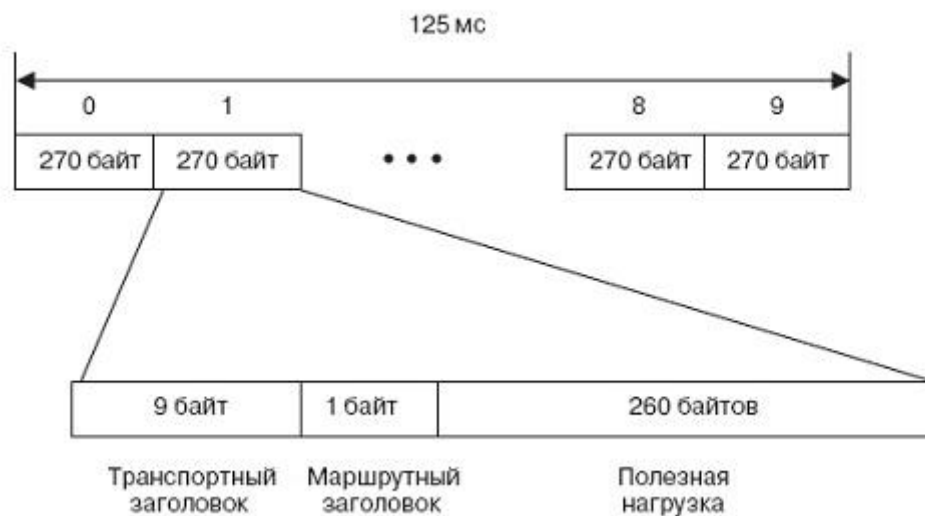


Рис. 4.4. Формат кадру синхронного транспортного модуля STM-1

З декількох циклів, що становлять формат модуля STM-1 (в даному випадку це цикл нижнього рівня), може бути складений мультицикл (надцикл), що містить кілька циклів нижнього рівня. Для об'єднання декількох модулів використовується конкатенація (зчеплення). Кожен з модулів нижнього рівня, що входить в модуль високого рівня, має байти для визначення його місця як компонента більш високошвидкісного каналу. Ці покажчики розташування початку модулів нижнього рівня включаються в службову інформацію модуля верхнього рівня. При цьому зміст біт кожного тимчасового положення збільшується. На рис.4.5 показаний модуль STM-4, який об'єднує чотири модуля STM-1.

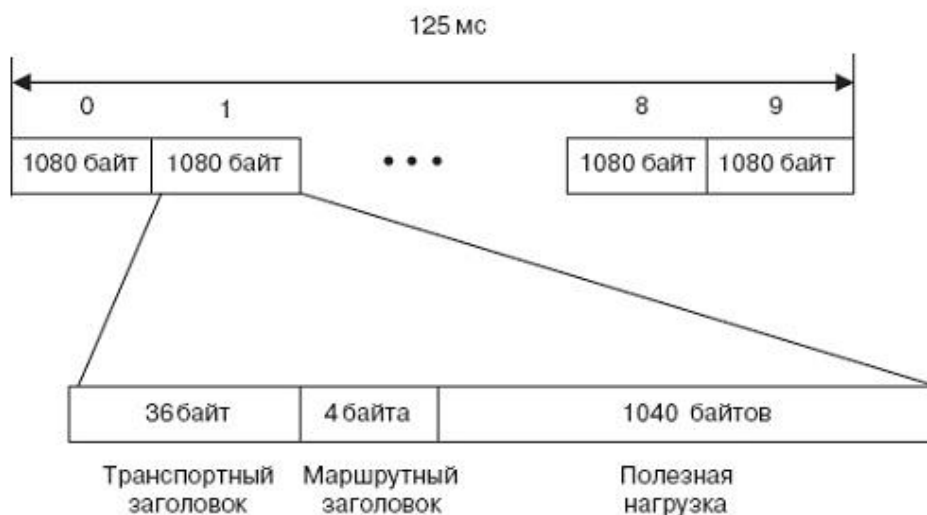


Рис. 4.5. Формат кадру синхронного транспортного модуля STM-4

При цьому зміст кожного з тимчасових положень збільшується в 4 рази і становить по 1080байт, з них:

36байт - транспортний заголовок;

4байта - маршрутний заголовок;

1040байт - корисна навантаження.

Лінійна швидкість збільшується також в 4 рази:

$$9 \times 1080 \times 8 \times 8000 = 622,08 \text{ Мбит/с}$$

При STM-16 зазначені поля формату збільшуються в 16 разів, і відповідно збільшується швидкість. Сигнал STM-N створюється шляхом чергування байтів STM-1, які взаємно синхронізовані (рис. 4.6).

Тимчасове (частотне) вирівнювання швидкостей здійснюється при генерації кожного STM-1. Якщо є сигнали від іншого вузла SDH, з іншою швидкістю або частотою, то для вирівнювання їх швидкостей вставляються вирівнюють байти, щоб синхронізувати тактові імпульси місцевого вузла. Тому незалежно від походження трафіку перед мультиплексуванням всі модулі STM-1, що вставляються в STM-N мають однакову швидкість передачі, а також один і той формат.



Рис. 4.6. Чергування байтів в форматі кадру синхронного транспортного модуля STM-4

Зауважимо, що чергування байтів досить просто здійснюється тільки тоді, коли всі STM-1 мають однакову структуру корисного навантаження,

наприклад, несучу тільки однакові дані потоку $E3 = 34$ Мбіт/с. Особливі правила (правила безконфліктної взаємозв'язку) застосовуються в тому випадку, якщо використовується каскадне мультиплексування. Наприклад, чотири $STM-1$ загружаються в один модуль $STM-4$ і далі отримані модулі завантажуються як $4STM-4$ в модуль $STM-16$. У цьому випадку перший каскад використовує мультиплексування по байтам, а другий - по групах, що складається з чотирьох.

4.1.5. Відображення корисного навантаження

Синхронна ієрархія SDH, як уже було сказано, використовує для передачі інформації транспортні модулі, що передаються кожні 125 мкс. Ці модулі будуються за принципом віртуальних контейнерів. "Упаковка" цих контейнерів може бути різноманітною і підпорядковується рекомендацій (ITU, ETSI, ANSI). На рис. 4.7 показаний приклад упаковки контейнерів відповідно до Європейської версії рекомендацій ITU для ієрархії SDH [9].

C-n - контейнери нижнього рівня. У ці контейнери завантажуються первинні потоки PDH (див. Таблицю 4.1). Надалі формуються контейнери наступного рівня.

V-n - віртуальні контейнери, які дозволяють розмістити дані потоків нижнього рівня в структурі мультиплексування SDH. Для цього до даних контейнера C-n додається маршрутний заголовок (рис. 4.4, рис. 4.5, рис. 4.6), що дозволяє обробку даних на транзитних ділянках. Найбільший віртуальний контейнер дозволяє розмістити не тільки контейнери в модулі STM-N (європейська інтерпретація ITU [21]) нижнього рівня, але також блоки більш високих рівнів TUG-3, про які сказано нижче. Наприклад, вказаний на рис. 4.7 TUG-3. Як видно на рис.4.7, кожен контейнер нижнього рівня обов'язково перетворюється в віртуальний контейнер. Наприклад, C-1 в VC-1, C-2 в VC-2, C-3 в VC-3 і C-4 в VC-4.

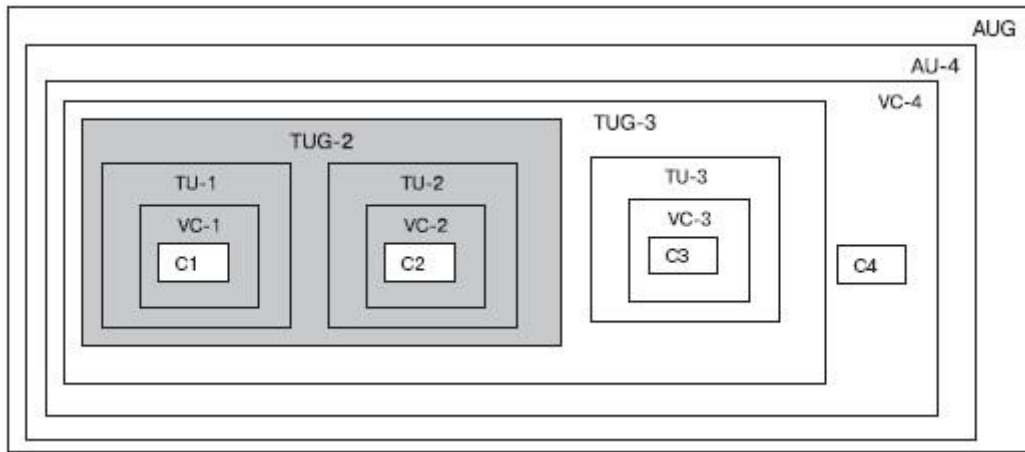


Рис.4.7. Структура упаковки контейнерів

Для подальшого викладу нам знадобиться термін "триб", тому наведемо визначення цього терміна [73]

Триб - цифровий потік або сигнал (набір даних), який використовується в схемі мультиплексування PDH або SDH або SONET ієрархії для формування більш високого рівня ієрархії. В [27] наведені також визначення трибов PDH і SDH.

Трибні блоки (TU - Tributary Unit) - віртуальні контейнери VC-n (один або кілька) можуть інкапсулюватися до складу трибних блоків (TU - Tributary Unit). Для переходу до трибного блоку TU необхідно до інформації віртуального контейнера додати - покажчик трибного блоку PTR (Pointer). Кожен з трибних блоків відповідає своєму типу віртуального контейнера на рис.4.7, VC-1 в T-1, VC-2 в T-2, VC-3 в T-3 [84]. Якщо віртуальний контейнер великого розміру (на рис. 7.7 VC-4), він може сам інкапсулювати інші трибного блоки.

Група трибних блоків (Tributary Unite Group) виходить шляхом мультиплексування трибних блоків. Трибні блоки (рис. 4.7) TU-1 і TU-2 мультиплексируються в TUG-2, TUG-2 - в TUG-3, який, як сказано вище, може інкапсулюватися в віртуальний контейнер VC-4. Слід звернути увагу на відмінність процесу мультиплексування (в даному випадку побайтного) і інкапсулювання, які вже були розглянуті вище.

Ще раз нагадаємо, що на рис. 4.7 наводиться один із можливих варіантів упаковки інформації в модулі STM-1. Для інших можливих варіантів можна

рекомендувати Адміністративний блок (AU - Administration Unit) виходить шляхом об'єднання віртуального контейнера VC-4 і покажчика адміністративного блоку (AU-PTR).

Група адміністративних блоків (AUG - Administration Unit Group) містить в Європейському варіанті схеми мультиплексування технології SDH тільки один адміністративний блок (в варіантах схеми мультиплексування технології SONET він складається з двох адміністративних блоків).

Порядок розміщення інформації в контейнерах і блоках структури SDH. Розміщення інформації в перерахованих контейнерах і блоках структури SDH підпорядковується схемами, які запропоновані міжнародними організаціями ITU, ETSI і ANSI. Вони детально розглянуті в [27]. Нижче наводиться європейська інтерпретація ITU упаковки контейнерів в модулі STM-N, прийнята ETSI в 1992 році. Вона показана на рис.4.8.

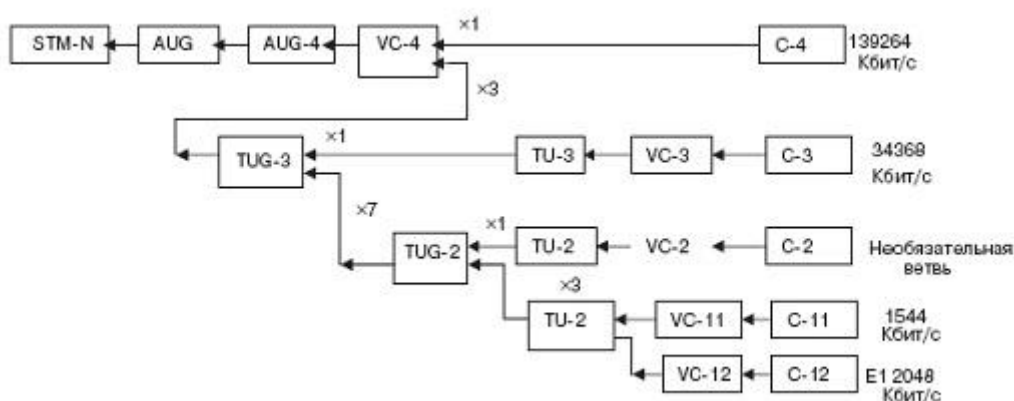


Рис. 4.8. Схема мультиплексування PDH-трибів в технології SDH (ETSI 1992 г.)

Надалі нас буде цікавити шлях формування модуля STM-1 з триба E1. В даний час є тільки один шлях такого формування.

Контейнери С-п. Типи контейнерів визначаються рівнями PDH ієрархії (див. Рис. 4.8). Склад контейнерних блоків і їх характеристики наведені в табл.4.2 [6].

Таблиця 4.2. Склад контейнерних блоків і їх характеристики

Номери блоків	контейнерних блоків	Можливе розбивання блоків	Швидкості з ряду ієрархій АС и ЕС (Мбіт/с)
---------------	---------------------	---------------------------	--

C-1	C-11	1544
	C-12	2 048
C-2	C-21	6312
	C-22	8448
C-3	C-31	44736
	C-32	34 368
C-4	Підрівнів не має	139 64

$C - 1, C - 2, C - 3, C - 4$ - контейнери, відповідні первинного, вторинного, третинного і четвертинного рівнями. При цьому вони можуть бути двох типів:

1. $C - 11, C - 21, C - 31$ - контейнери, що дозволяють інкапсулювати цифрові канали американської ієрархії PDH.
2. $C - 12, C - 22, C - 32, C - 4$ — контейнери, що дозволяють інкапсулювати цифрові канали європейської ієрархії PDH.

Ємність кожного контейнера дозволяє періодично завантажувати інформацію зазначених вище потоків. Наприклад, ємність контейнера C-12 призначена для перенесення послідовності первинних каналів європейської PDH-ієрархії в 32 байта, що повторюється кожні (інтервал такий же, як і всього модуля STM-1). При завантаженні цієї інформації в контейнер додаються службові і при необхідності вирівнюють біти, що збільшує ємність цього контейнера до 34 байт.

Контейнери V-n Кожному з контейнерів C-n відповідає віртуальний контейнер VC-n (див. Рис. 4.8). Він складається з корисного навантаження (PL - Payload) і маршрутного заголовка (PON - Path Overhead). Корисне навантаження формується з контейнерів або з інших компонентів системи SDH (наприклад, віртуальні контейнери великої місткості можуть містити трибні блоки). Наприклад, на рис. 9.7 показано відображення одного контейнера C-12 в віртуальний контейнер VC-12 модуля STM-1. Він містить маршрутний заголовок і 4 шпальти корисного навантаження, кожен по 9 байтів (36 байтів). Таким чином, швидкість передачі корисної інформації дорівнює

$$9 \times 4 \times 8 \times 8000 = 2,304 \text{ Мбит/с}$$

Трибний блок (TU). Перетворення послідовності віртуальних контейнерів (VC) в трибного блок TU може проводитися в двох режимах - фіксованому та плаваючому.

4.1.6. Топологія мережі SDH

Розглянемо топологію мереж SDH. Існує базовий набір стандартних топологій. Нижче розглянуті такі базові топології.

Топологія "точка-точка"

Сегмент мережі, зв'язуючий два вузла А і В, або топологія "точка - точка", є найбільш простим прикладом базової топології SDH мережі (рис.1.4.). Вона може бути реалізована за допомогою термінальних мультиплексорів ТМ, як за схемою без резервування каналу прийому / передачі, так і за схемою зі стовідсотковим резервуванням типу 1 + 1, що використовує основний і резервний електричні або оптичні агрегатні виходи (канали прийому / передачі).

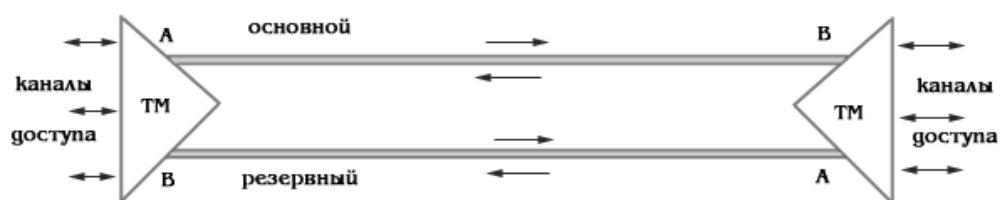


Рис. 4.9. Топологія "точка-точка", реалізована з використанням ТМ

Топологія "послідовний лінійний ланцюг"

Ця базова топологія використовується тоді, коли інтенсивність трафіку в мережі не так велика і існує необхідність відгалужень у ряді точок лінії, де можуть вводитися канали доступу. Вона може бути представлена або у вигляді простого послідовного лінійного ланцюга без резервування, як на рис.1.5., або

більш складної ланцюгом з резервуванням типу 1 + 1, як на рис.1.6. Останній варіант топології часто називають "спрощеним кільцем" [6].



Рис. 4.10. Топологія "послідовна лінійна ланцюг", реалізована на ТМ і ТДМ



Рис. 4.11. Топологія "послідовна лінійна ланцюг" типу "спрощене кільце" із захистом 1 + 1

Топологія "зірка", що реалізує функцію концентратора. У цій топології один з віддалених вузлів мережі, пов'язаний з центром комутації або вузлом мережі SDH на центральному кільці, грає роль концентратора, або хаба, де частина трафіку може бути виведена на термінали користувача, тоді як решта його частину може бути розподілено по інших віддаленим вузлам (рис.1.7.)

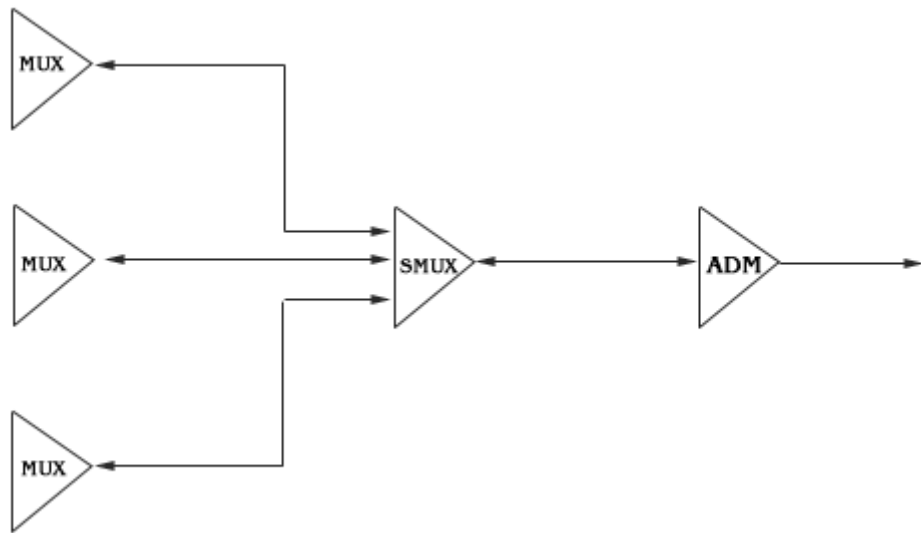


Рис. 4.12. Топологія "зірка" с мультиплексором в якості концентратора

Топологія "кільце"

Ця топологія (рис.4.13.) широко використовується для побудови SDH мереж перших двох рівнів SDH ієрархії (155 и 622 Мбіт/с). Основна перевага цієї топології - легкість організації захисту типу 1+1, завдяки наявності в синхронних мультиплексорах SMUX двох пар оптичних каналів прийому/передачі: схід - захід, надаючих можливість формування подвійного кільця зі зустрічними потоками.

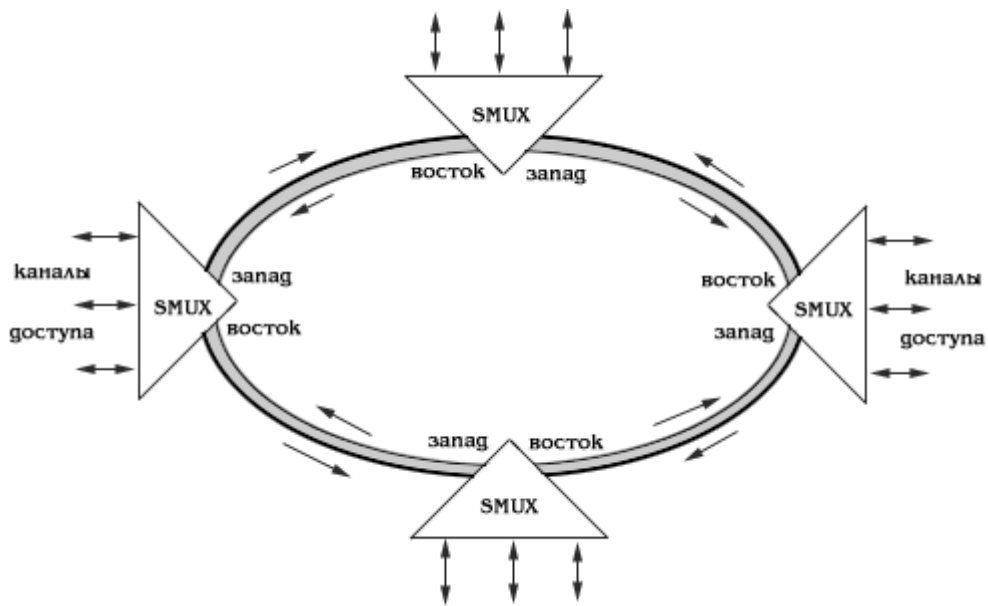


Рис. 4.13. Топологія "кільце" с захистом 1 + 1

Архітектура мережі SDH

Архітектурні рішення при проектуванні мережі SDH можуть бути сформовані на базі використання розглянутих вище елементарних топологій мережі в якості її окремих сегментів.

Радіально-кільцева архітектура

Приклад радіально-кільцевої архітектури SDH мережі приведений на рис.4.14. Ця мережа фактично побудована на базі використання двох базових топологій: "кільце" і "послідовна лінійна ланцюг".

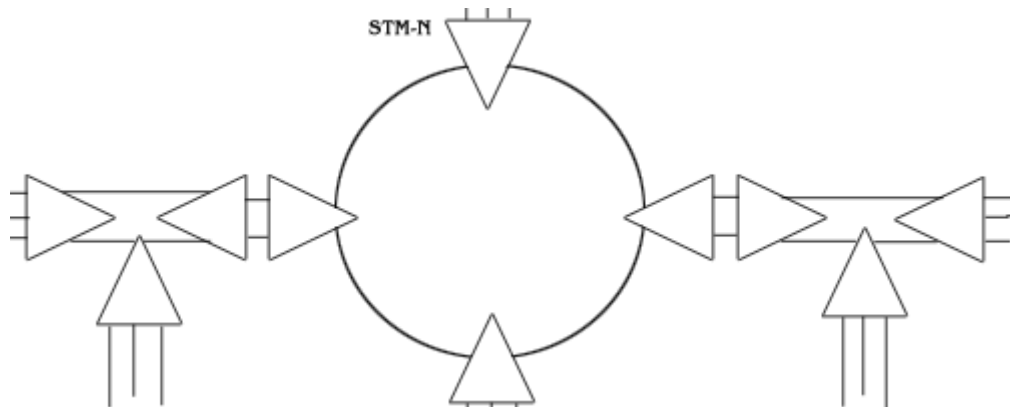


Рис. 4.14. Радіально-кільцева мережа SDH

Архітектура типу "кільце-кільце"

Інша часто використовується в архітектурі мереж SDH рішення - з'єднання типу "кільце-кільце". Кільця в цьому з'єднанні можуть бути або однакового, або різного рівнів ієрархії SDH. На рис.4.15. показана схема з'єднання двох кілець одного рівня - STM-4, а на рис.4.16. каскадна схема сполуки трьох кілець - STM-1, STM-4, STM-16 [7].

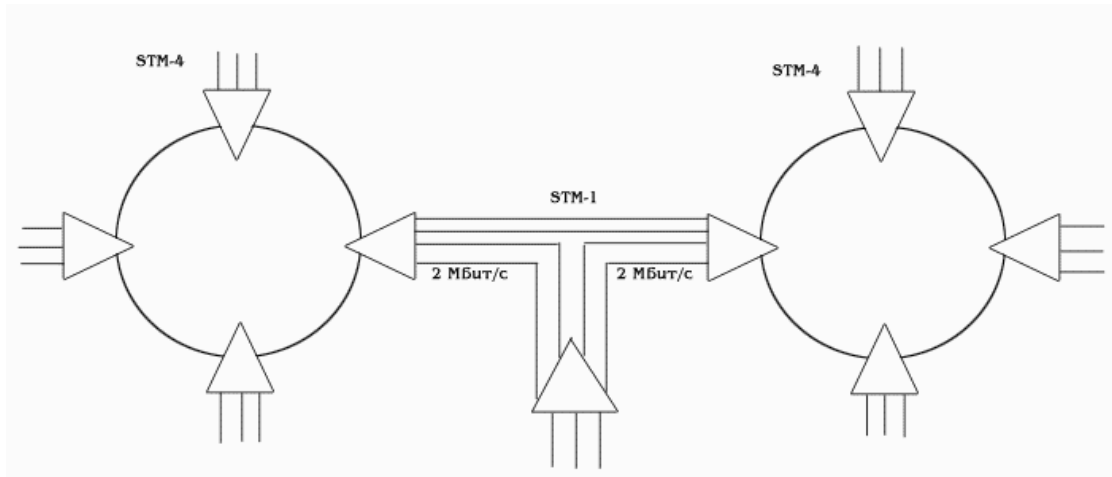


Рис. 4.15. Два кільця одного рівня

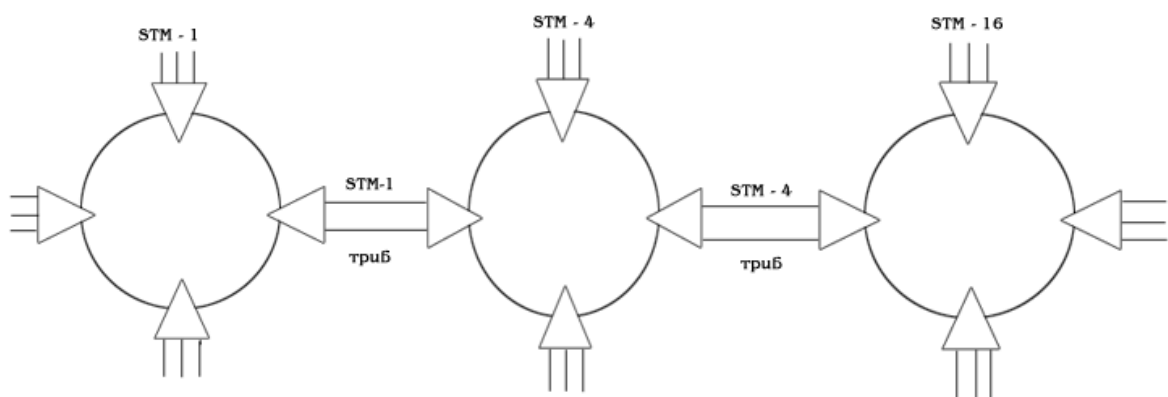


Рис. 4.16. Каскадне з'єднання трьох кілець

Лінійна архітектура для мереж великої протяжності. Для лінійних мереж великої протяжності відстань між термінальними мультиплексорами більше або значно більше того відстані, яку може бути рекомендовано з точки зору максимально допустимого загасання волоконно-оптичного кабелю. У цьому випадку на маршруті між ТМ (рис.4.17.) повинні бути встановлені окрім мультиплексорів і прохідного комутатора ще і регенератори для відновлення затухаючого оптичного сигналу. Цю лінійну архітектуру можна представити у вигляді послідовного з'єднання ряду секцій, специфікованих в рекомендаціях ІТУ-Т G.957 і ІТУ-Т G.958.

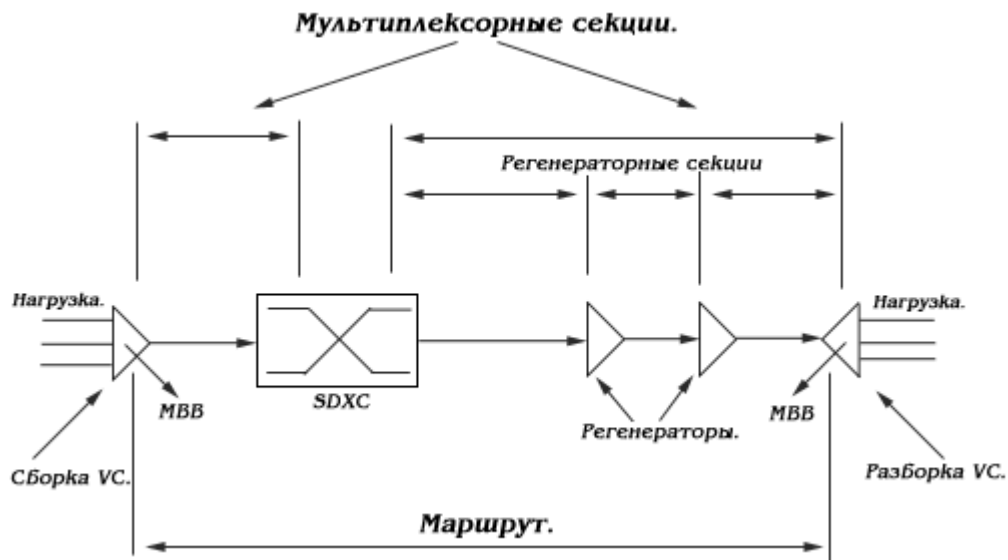


Рис. 4.17. Мережа SDH великої протяжності зі зв'язком типу

"Точка-точка" і її сегментація

В процесі розвитку мережі SDH розробники можуть використовувати ряд рішень, характерних, для глобальних мереж, таких як формування свого "остова" (backbone) або магістральної мережі у вигляді комірчастої (mesh) структури, що дозволяє організувати альтернативні (резервні) маршрути, які використовуються в разі виникнення проблем при маршрутизації віртуальних контейнерів по основному шляху. Це поряд з властивими мереж SDH внутрішнім резервуванням, дозволяє підвищити надійність всієї мережі в цілому. Причому при такому резервуванні на альтернативних маршрутах можуть бути використані альтернативні середовища поширення сигналу. Наприклад, якщо на основному маршруті використовується ВОК, то на резервному - РПЛ, або навпаки [8].

4.1.7. Переваги і недоліки технології SDH

Основні переваги технології SDH:

- проста технологія мультиплексування / демультиплексування;
- доступ до низькошвидкісних сигналів без необхідності мультиплексування / демультиплексування всього високошвидкісного

каналу. Це дозволяє досить просто здійснювати підключення клієнтського обладнання і виробляти крос-комутацію потоків;

- наявність механізмів резервування на випадок відмов каналів зв'язку або обладнання;

- можливість створення «прозорих» каналів зв'язку, необхідних для вирішення певних завдань, наприклад для передачі голосового трафіку між виносими АТС або передачі телеметрії;

- можливість нарощування рішення;

- сумісність обладнання від різних виробників;

- відносно низькі ціни обладнання;

- швидкість налаштування і конфігурації пристроїв.

Недоліки технології SDH:

- використання одного з каналів повністю під службовий трафік;

- неефективне використання пропускну здатності каналів зв'язку. Сюди відносяться як необхідність резервування смуги на випадок відмов, так і особливості технології TDM, нездатною динамічно виділяти смугу пропускання під різні додатки, а також відсутність механізмів пріоритезації трафіку;

- необхідність використовувати додаткове обладнання (найчастіше від інших виробників), щоб забезпечити передачу різних типів трафіку (дані, голос) по опорній мережі.

Технологію SDH можна рекомендувати для використання в задачах побудови опорних мереж за таких умов:

- завантаження каналів далека від граничної;

- є необхідність надавати «прозорі» канали зв'язку, наприклад, для передачі голосового трафіку між АТС;

- в комерційному плані більш вигідно і зручно надавати клієнтам канали з фіксованою пропускну спроможністю, а не визначати вартість послуг за кількістю переданого трафіку і за якістю сервісу.

Контрольні питання до розділу

1. Технологія *SDH*. Особливості функціонування, переваги, недоліки.
2. *STM-4* європейської ієрархії *SDH* має наступну швидкість:
 - a. 140 Мбіт/с;
 - b. 622 Мбіт/с;
 - c. 256 Мбіт/с;
 - d. 155 Мбіт/с;
 - e. 34 Мбіт/с;
 - f. 2.4 Гбіт/с;
 - g. 10 Гбіт/с.
3. Триб $E3 = 34$ Мбіт/с *SDH* інкапсулюється в контейнер:
 - a. C-4;
 - b. C-21;
 - c. C-22;
 - d. C-31;
 - e. C-11;
 - f. C-12;
 - g. C-32.
4. Триб $T2 = 6$ Мбіт/с *SDH* інкапсулюється в контейнер:
 - a. C-4;
 - b. C-21;
 - c. C-22;
 - d. C-31;
 - e. C-11;
 - f. C-12;
 - g. C-32.
5. Триб $E2 = 8$ Мбіт/с *SDH* інкапсулюється в контейнер:
 - a. C-4;
 - b. C-21;
 - c. C-22;
 - d. C-31;
 - e. C-11;
 - f. C-12;
 - g. C-32.
6. Триб $T1 = 1,5$ Мбіт/с *SDH* інкапсулюється в контейнер:
 - a. C-4;
 - b. C-21;
 - c. C-22;
 - d. C-31;

- e. C-11;
- f. C-12;
- g. C-32.

7. Скільки каналів E1 вміщує STM-1:

- a. 84;
- b. 63;
- c. 252;
- d. 1008;
- e. 2016;
- f. 756;
- g. 4032.

8. Триб E1 = 2 Мбіт/с SDH інкапсулюється в контейнер:

- a. C-4;
- b. C-21;
- c. C-22;
- d. C-31;
- e. C-11;
- f. C-12;
- g. C-32.

9. Групоутворення в багатоканальній системі передачі з часовим розподілом каналів (PDH).

10. СЦІ (SDH) європейської ієрархії мають наступні рівні:

- a. STM-1;
- b. STM-2;
- c. STM-4;
- d. STM-6;
- e. STM-8;
- f. STM-16;
- g. STM-24.

11. STM-16 європейської ієрархії SDH має наступну швидкість:

- a. 140 Мбіт/с;
- b. 622 Мбіт/с;
- c. 256 Мбіт/с;
- d. 155 Мбіт/с;
- e. 34 Мбіт/с;
- f. 2.4 Гбіт/с;
- g. 10 Гбіт/с.

12. STM-1 європейської ієрархії SDH має наступну швидкість:

- a. 140 Мбіт/с;
- b. 622 Мбіт/с;

- c. 256 Мбіт/с;
- d. 155 Мбіт/с;
- e. 34 Мбіт/с;
- f. 2.4 Гбіт/с;
- g. 10 Гбіт/с.

13. STM-4 європейської ієрархії SDH має наступну швидкість:

- a. 140 Мбіт/с;
- b. 622 Мбіт/с;
- c. 256 Мбіт/с;
- d. 155 Мбіт/с;
- e. 34 Мбіт/с;
- f. 2.4 Гбіт/с;
- g. 10 Гбіт/с.

14. Особливості систем передачі СЦІ європейської ієрархії.

15. Скільки каналів E1 вміщує STM-64:

- a. 84;
- b. 63;
- c. 252;
- d. 1008;
- e. 2016;
- f. 756;
- g. 4032.

16. СЦІ (SDH) європейської ієрархії мають наступні рівні:

- a. STM-1;
- b. STM-2;
- c. STM-4;
- d. STM-6;
- e. STM-8;
- f. STM-16;
- g. STM-24.

17. STM-16 європейської ієрархії SDH має наступну швидкість:

- a. 140 Мбіт/с;
- b. 622 Мбіт/с;
- c. 256 Мбіт/с;
- d. 155 Мбіт/с;
- e. 34 Мбіт/с;
- f. 2.4 Гбіт/с;
- g. 10 Гбіт/с.

18. Для побудови вузлів, як елементів транспортної мережі СЦІ використовують:

- a. асинхронні транспортні модулі;
 - b. термінальні мультиплексори;
 - c. синхронні транспортні модулі;
 - d. мультиплексори вводу-виводу;
 - e. кросс-конектори;
 - f. віртуальні контейнери;
 - g. кросс-комутатори.
19. STM-64 європейської ієрархії SDH має наступну швидкість:
- a. 140 Мбіт/с;
 - b. 622 Мбіт/с;
 - c. 256 Мбіт/с;
 - d. 155 Мбіт/с;
 - e. 34 Мбіт/с;
 - f. 2.4 Гбіт/с;
 - g. 10 Гбіт/с.
20. STM-256 європейської ієрархії SDH має наступну швидкість:
- a. 140 Мбіт/с;
 - b. 622 Мбіт/с;
 - c. 2,5 Гбіт/с;
 - d. 155 Мбіт/с;
 - e. 40 Гбіт/с;
21. Скільки каналів E1 вміщує STM-1:
- a. 84;
 - b. 63;
 - c. 252;
 - d. 1008;
 - e. 2016;
 - f. 756;
 - g. 4032.
22. Наведіть формат кадру SDH.

Список рекомендованої літератури

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — [ISBN 978-5-49807-389-7](#).
2. Кудінов В.А., Хахановський В.Г., Смаглюк В.М., Пакриш О.Є., Тоневицький А.М. Комп'ютерні мережі та телекомунікаційні технології Навчально-методичний комплекс навчальної дисципліни. К.: НАВС, 2013 – 256 с.

3. Берлин А. Абонентские сети доступа и технологии высокоскоростных сетей. Курс лекций. [Электронный ресурс]. – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2010. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступа до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/986/212/info>
4. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник для вищих навчальних закладів./ П.П.Воробієнко, Л.А.Нікітюк, П.І.Резніченко. – К.: САММІТ-КНИГА, 2010. – 708 с.
5. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. Мультисервисные сети: Учебное пособие / Сост. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. – Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2004. – 114 с.
6. Хмелёв К. Ф. Основы SDN: Монография. - К.: ІВЦ «Видавництво "Політехніка"», 2003. - 584 с.: ил.
7. Гордиенко В.Н., Ксенофонтов С.Н., Кунегин С.В., Цыбулин М.К. Современные высокоскоростные цифровые телекоммуникационные системы. Ч. 1. Синхронная цифровая иерархия: Учебное пособие / МТУСИ. - М., 1998. - 30 с.
8. Семенов Ю.А. Алгоритмы и протоколы каналов и сетей передачи данных/ Курс лекций. [Электронный ресурс]. - М.: Интернет-университет информационных технологий, 2014. ISBN: 978-5-94774-706-5. Режим доступа до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/9/9/info>

4.2.Мережа асинхронного режиму передачі (АТМ)

Вступ

Технологія асинхронного режиму передачі (Asynchronous Transfer Mode, АТМ) розроблена як єдиний універсальний транспорт для нового покоління мереж з інтеграцією послуг, які називаються широкосмуговими мережами ISDN (Broadband-ISDN, В-ISDN). Технологія АТМ поєднує в собі підходи двох технологій - комутації пакетів і комутації каналів. Від першої вона взяла на озброєння передачу даних у вигляді адресованих пакетів, а від другої - використання пакетів невеликого фіксованого розміру, в результаті чого затримки в мережі стають більш передбачуваними. За допомогою техніки віртуальних каналів, попереднього замовлення параметрів якості обслуговування каналу і пріоритетного обслуговування віртуальних каналів з різною якістю обслуговування вдається домогтися передачі в одній мережі різних типів трафіку без дискримінації. Хоча мережі ISDN також розроблялися для передачі різних видів трафіку в рамках однієї мережі, голосовий трафік явно був для розробників більш пріоритетним. Технологія АТМ з самого початку розроблялася як технологія, здатна обслуговувати всі види трафіку відповідно до їх вимог [1].

Комутація пакетів відбувається на основі ідентифікатора віртуального каналу (Virtual Channel Identifier, VCI), який призначається з'єднанню при його встановленні і знищується при розриві з'єднання. Адреса кінцевого вузла АТМ, на основі якого прокладається віртуальний канал, має ієрархічну структуру, подібну номеру в телефонній мережі, і використовує префікси, відповідні кодам країн, міст, мережам постачальників послуг і т. П., Що спрощує маршрутизацію запитів встановлення з'єднання.

Віртуальні з'єднання можуть бути постійними (Permanent Virtual Circuit, PVC) і комутуваними (Switched Virtual Circuit, SVC). Для прискорення комутації в великих мережах використовується поняття віртуального шляху - Virtual Path, який об'єднує віртуальні канали, що мають в мережі АТМ

загальний маршрут між вихідним і кінцевим вузлами або загальну частину маршруту між деякими двома комутаторами мережі. Ідентифікатор віртуального шляху (Virtual Path Identifier, VPI) є старшою частиною локальної адреси і являє собою загальний префікс для деякої кількості різних віртуальних каналів. Таким чином, ідея агрегування адрес в технології АТМ застосована на двох рівнях - на рівні адрес кінцевих вузлів (працює на стадії встановлення віртуального каналу) і на рівні номерів віртуальних каналів (працює при передачі даних по наявному віртуальному каналі).

З'єднання кінцевої станції АТМ з комутатором нижнього рівня визначаються стандартом UNI (User Network Interface). Специфікація UNI визначає структуру пакета, адресацію станцій, обмін інформацією, що управляє, рівні протоколу АТМ, способи встановлення віртуального каналу і способи управління трафіком. Стандарт АТМ не вводить свої специфікації на реалізацію фізичного рівня. Тут він ґрунтується на технології SDH / SONET, приймаючи її ієрархію швидкостей. Відповідно до цього початкова швидкість доступу користувача мережі - це швидкість OC-3 155 Мбіт / с. Організація АТМ Forum визначила для АТМ не всі ієрархії швидкостей SDH, а тільки швидкості OC-3 і OC-12 (622 Мбіт / с). На швидкості 155 Мбіт / с можна використовувати не тільки волоконно-оптичний кабель, але і неекрановану виту пару категорії 5. На швидкості 622 Мбіт / с допустимо тільки волоконно-оптичний кабель [2].

4.2.1 Основні принципи технології АТМ

Мережа АТМ має класичну структуру великої територіальної мережі - кінцеві станції з'єднуються індивідуальними каналами з комутаторами нижнього рівня, які в свою чергу з'єднуються з комутаторами більш високих рівнів. Комутатори АТМ користуються 20-байтними адресами кінцевих вузлів для маршрутизації трафіку на основі техніки віртуальних каналів. Для приватних мереж АТМ визначено протокол маршрутизації PNNI (Private NNI), за допомогою якого комутатори можуть будувати таблиці маршрутизації автоматично. У публічних мережах АТМ таблиці маршрутизації можуть

будуватися адміністраторами вручну, як і в мережах X.25, або можуть підтримуватися протоколом PNNI.

Є і інші фізичні інтерфейси до мереж АТМ, відмінні від SDH / SONET. До них відносяться інтерфейси T1 / E1 і T3 / E3, поширені в глобальних мережах, і інтерфейси локальних мереж - інтерфейс з кодуванням 4B / 5B зі швидкістю 100 Мбіт / с (FDDI) і інтерфейс зі швидкістю 25 Мбіт / с, запропонований компанією IBM і затверджений АТМ Forum. Крім того, для швидкості 155,52 Мбіт / с визначений так званий «cell-based» фізичний рівень, тобто рівень, заснований на осередках, а не на кадрах SDH / SONET. Цей варіант фізичного рівня не використовує кадри SDH / SONET, а відправляє по каналу зв'язку безпосередньо осередки формату АТМ, що скорочує накладні витрати на службові дані, але дещо ускладнює завдання синхронізації приймача з передавачем на рівні осередків [3].

Підхід, реалізований в технології АТМ, складається в передачі будь-якого виду трафіку - комп'ютерного, телефонного або відео - пакетами фіксованої і дуже маленькою довжини в 53 байта. Пакети АТМ називають осередками - cell. Поле даних осередку займає 48 байт, а заголовок - 5 байт.

Щоб пакети містили адресу вузла призначення і в той же час відсоток службової інформації не перевищував розмір поля даних пакета, в технології АТМ застосований стандартний для глобальних обчислювальних мереж прийом - передача осередків відповідно до технікою віртуальних каналів з довжиною номера віртуального каналу в 24 біт.

Вибір для передачі даних будь-якого типу невеликої комірки фіксованого розміру ще не вирішує завдання поєднання різнорідного трафіку в одній мережі, а тільки створює передумови для її вирішення. Для повного вирішення цього завдання технологія АТМ залучає і розвиває ідеї замовлення пропускну здатності і якості обслуговування, реалізовані в технології frame relay. Розробники технології АТМ проаналізували всілякі зразки трафіку, що створюються різними додатками, в результаті було визначено п'ять класів трафіку, що відрізняються наступними якісними характеристиками:

- наявністю або відсутністю пульсації трафіку, тобто трафіки CBR або

VBR;

- вимогою до синхронізації даних проміжній сторонами;
- типом протоколу, що передає свої дані через мережу АТМ, - з встановленням з'єднання або без встановлення з'єднання (тільки для випадку передачі комп'ютерних даних).

Основні характеристики класів трафіку АТМ наведені в табл. 4.3 [4].

Таблиця 4.3. Класи трафіку АТМ

Класи трафіку	Характеристика
А	Постійна бітова швидкість-Constant Bit Rate, CBR. Потрібні тимчасові співвідношення між переданими і прийнятими даними. Зі встановленням з'єднання. Приклади: голосовий трафік, телевізійне зображення.
В	Мінлива бітова швидкість -Variable Bit Rate, VBR. Потрібні тимчасові співвідношення між переданими і прийнятими даними. Зі встановленням з'єднання. Приклади: компресований голос, компресоване відеозображення.
С	Мінлива бітова швидкість - Variable Bit Rate, VBR. Не потрібні тимчасові співвідношення між переданими і прийнятими даними. Зі встановленням з'єднання. Приклади: трафік комп'ютерних мереж, в яких кінцеві вузли працюють по протоколах з встановленням з'єднань: frame relay, X.25, LLC2, TCP.
Д	Мінлива бітова швидкість - Variable Bit Rate, VBR. Не потрібні тимчасові співвідношення між переданими і прийнятими даними. Без встановлення з'єднання. Приклади: трафік комп'ютерних мереж, в яких кінцеві вузли працюють по протоколах без встановлення з'єднань: IP, Ethernet, DNS, SNMP.
Х	Тип трафіку і його параметри визначаються користувачем.

У технології АТМ підтримується наступний набір основних кількісних параметрів:

- Peak Cell Rate (PCR) - максимальна швидкість передачі даних;
- Sustained Cell Rate (SCR) - середня швидкість передачі даних;
- Minimum Cell Rate (MCR) - мінімальна швидкість передачі даних;
- Maximum Burst Size (MBS) - максимальний розмір пульсації;
- Cell Loss Ratio (CLR) - частка втрачених осередків;
- Cell Transfer Delay (CTD) - затримка передачі осередків;
- Cell Delay Variation (CDV) - варіація затримки осередків.

Параметри швидкості вимірюються в осередках в секунду, максимальний

розмір пульсації - в осередках, а тимчасові параметри - в секундах. Максимальний розмір пульсації задає кількість осередків, яке додаток може передати з максимальною швидкістю PCR, якщо задана середня швидкість. Частка втрачених осередків є відношенням загублених комірок до загальної кількості відправлених осередків по даному віртуальному з'єднанню. Так як віртуальні з'єднання є дуплексними, то для кожного напрямку з'єднання можуть бути задані різні значення параметрів.

В АТМ характеристики пропускної спроможності називають параметрами трафіку і не включають їх в число параметрів якості обслуговування QoS, хоча по суті вони такими є. Параметрами QoS в АТМ є тільки параметри CTD, CDV та CLR. Угода між додатком і мережею АТМ називається трафік - контрактом. Основною його відмінністю від угод, що застосовуються в мережах frame relay, є вибір одного з декількох певних класів трафіку, для якого поряд з параметрами пропускної здатності трафіку можуть зазначатися параметри затримок осередків, а також параметр надійності доставки осередків.

У деяких випадках специфіка додатка така, що її графік не може бути віднесений до одного з чотирьох стандартних класів. Тому для цього випадку введений ще один клас X, який не має ніяких додаткових описів, а повністю визначається тими кількісними параметрами трафіку і QoS, які обумовлюються в трафік - контракті.

Якщо для програми не критично підтримку параметрів пропускної здатності і QoS, то воно може відмовитися від завдання цих параметрів, вказавши ознака «Best Effort» в запиті на встановлення з'єднання. Такий тип трафіку отримав назву трафіку з невизначеною бітовою швидкістю - Unspecified Bit Rate, UBR.

Технологія АТМ спочатку розроблялася для підтримки як постійних, так і комутованих віртуальних каналів. Автоматичне висновок трафік - контракту при встановленні комутованого віртуального з'єднання являє собою досить непросте завдання, тому що комутаторів АТМ необхідно визначити, чи зможуть вони надалі забезпечити передачу трафіку даного віртуального каналу поряд з трафіком інших віртуальних каналів таким чином, щоб виконувалися

вимоги якості обслуговування кожного каналу [4].

4.2.2 Стек протоколів ATM

Стек протоколів ATM показаний на рис 4.81, а розподіл протоколів по кінцевим вузлам і комутаторів ATM - на рис. 4.19.

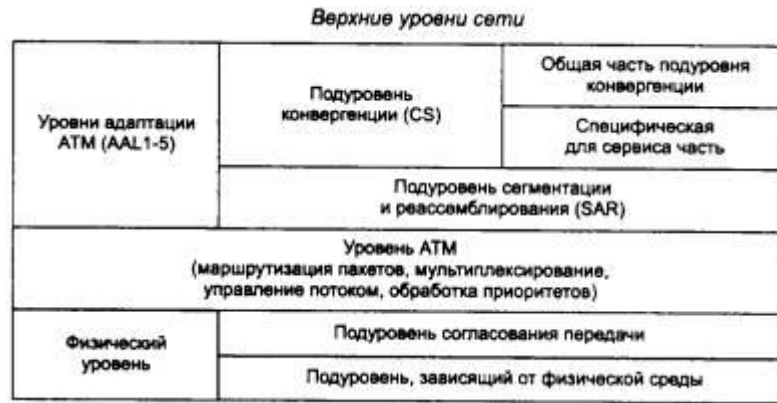


Рис. 4.18. Структура стека протоколів ATM

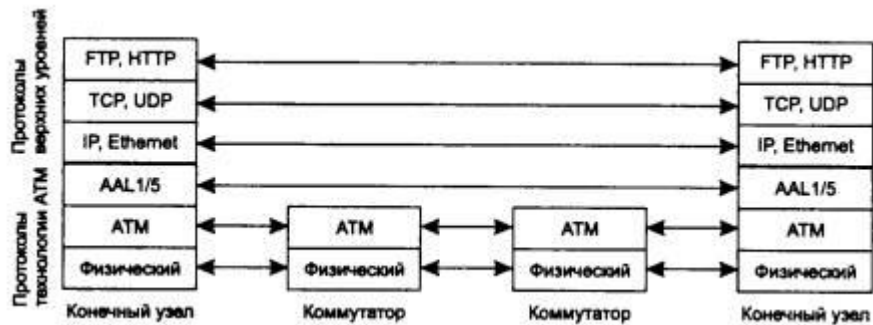


Рис. 4.19. Розподіл протоколів по вузлам і комутаторам мережі ATM

Стек протоколів ATM відповідає нижнім рівнями семиуровневої моделі ISO / OSI і включає рівень адаптації ATM, власне рівень ATM і фізичний рівень. Прямого відповідності між рівнями протоколів технології ATM і рівнями моделі OSI немає.

Рівень адаптації AAL

Рівень адаптації (ATM Adaptation Layer, AAL) являє собою набір протоколів AAL1-AAL5, які перетворюють повідомлення протоколів верхніх

рівнів мережі АТМ в осередку АТМ потрібного формату. Функції цих рівнів є досить умовним відповідають функціям транспортного рівня моделі OSI, наприклад функцій протоколів TCP або UDP. Протоколи AAL при передачі користувальницького трафіку працюють тільки в кінцевих вузлах мережі (див. Рис. 4.18), як і транспортні протоколи більшості технологій.

Кожен протокол рівня AAL обробляє призначений для користувача трафік певного класу. Сьогодні дозволяється використовувати для одного і того ж класу трафіку різні протоколи рівня AAL.

Рівень адаптації складається з декількох підрівнів. Нижній підрівень AAL називається підрівнем сегментації і реасемблювання (Segmentation And Reassembly, SAR). Ця частина не залежить від типу протоколу AAL (і, відповідно, від класу переданого трафіку) і займається розбиттям (сегментацією) повідомлення, прийнятого AAL від протоколу верхнього рівня, на осередки АТМ, постачанням їх відповідним заголовком і передачею рівню АТМ для відправки в мережу. Верхній підрівень AAL називається підрівнем конвергенції - Convergence Sublayer, CS. Цей підрівень залежить від класу переданого трафіку. Протокол підрівня конвергенції вирішує такі завдання, як забезпечення тимчасової синхронізації між передавачем і приймають вузлами, контролем і можливим відновленням бітових помилок в призначеній для користувача інформації, контролем цілісності переданого пакета комп'ютерного протоколу [4].

Протоколи AAL для виконання своєї роботи використовують службову інформацію, що розміщується в заголовках рівня AAL. Після прийому осередків, які прийшли по віртуальному каналу, підрівень SAR протоколу AAL збирає надіслане мережі вихідне повідомлення (яке в загальному випадку було розбите на кілька осередків АТМ) за допомогою заголовків AAL, які для комутаторів АТМ є прозорими, так як містяться в 48-бітному полі даних осередку, як і годиться протоколу більш високого рівня. Після складання вихідного повідомлення протокол AAL перевіряє службові поля заголовка і кінцівки кадру AAL і на їх підставі приймає рішення про коректність отриманої інформації. Жоден з протоколів AAL при передачі призначених для

користувача даних кінцевих вузлів не займається відновленням втрачених або перекручених даних. Максимум, що робить протокол AAL, - це повідомляє кінцевий вузол про таку подію. Відновлення втрачених даних відводиться протоколам верхніх рівнів, що не входять в стек протоколів технології ATM.

Протокол AAL1 зазвичай обслуговує трафік класу А з постійною бітовою швидкістю (Constant Bit Rate, CBR), який характерний, наприклад, для цифрового відео і цифровий мови і чутливий до тимчасових затримок. Цей трафік передається в мережах ATM таким чином, щоб емулювати звичайні виділені цифрові лінії. Тема AAL1 займає в поле даних осередку ATM 1 або 2 байта, залишаючи для передачі призначених для користувача даних відповідно 47 або 46 байт. У заголовку один байт відводиться для нумерації осередків, щоб прийомна сторона могла судити про те, чи всі надіслані осередку дійшли до неї чи ні. При відправці голосового трафіку тимчасова відмітка кожного виміру відома, так як вони слідують один за одним з інтервалом в 125 мкс, тому при втраті комірки можна скорегувати тимчасову прив'язку байт наступної комірки, зсунувши її на 125x46 мкс. Втрата кількох байт вимірів голосу не так страшна, так як на приймальній стороні відтворює обладнання згладжує сигнал. До завдань протоколу AAL1 входить згладжування нерівномірності надходження осередків даних в вузол призначення.

Протокол AAL2 був розроблений для передачі трафіку класу В, але при розвитку стандартів він був виключений з стека протоколів ATM, і сьогодні трафік класу В передається за допомогою протоколу AAL1, AAL3 / 4 або AAL5.

Протокол AAL3 / 4 обробляє пульсуючий трафік - зазвичай характерний для трафіку локальних мереж - зі змінною бітовою швидкістю (Variable Bit Rate, VBR). Цей трафік обробляється так, щоб не допустити втрат осередків, але осередки можуть затримуватися комутатором. Протокол AAL3 / 4 виконує складну процедуру контролю помилок при передачі осередків, нумерує кожен складову частину вихідного повідомлення і забезпечуючи кожен клітинку контрольною сумою. Правда, при викривлення або втрати осередків рівень не займається їх відновленням, а просто відкидає всі повідомлення - тобто все, що

залишилися осередки, так як для комп'ютерного трафіку або компресированного голосу втрата частини даних є фатальною помилкою. Протокол AAL3 / 4 утворився в результаті злиття протоколів AAL3 і AAL4, які забезпечували підтримку трафіку комп'ютерних мереж відповідно з встановленням з'єднання і без встановлення з'єднання. Однак з огляду на великий близькості використовуваних форматів службових заголовків і логіки роботи протоколи AAL3 і AAL4 були згодом об'єднані.

Протокол AAL5 є спрощеним варіантом протоколу AAL4 і працює швидше, так як обчислює контрольну суму не для кожного осередку повідомлення, а для всього вихідного повідомлення в цілому і поміщає її в останню комірку повідомлення. Спочатку протокол AAL5 розроблявся для передачі кадрів мереж frame relay, але тепер він найчастіше використовується для передачі будь-якого комп'ютерного трафіку. Протокол AAL5 може підтримувати різні параметри якості обслуговування, крім тих, які пов'язані з синхронізацією передавальної і приймаючої сторін. Тому він зазвичай використовується для підтримки всіх класів трафіку, що відноситься до передачі комп'ютерних даних, тобто класів C і D. Деякі виробники обладнання за допомогою протоколу AAL5 обслуговують трафік CBR, залишаючи завдання синхронізації трафіку протоколам верхнього рівня.

Протокол AAL5 працює не тільки в кінцевих вузлах, але і в комутаторах мережі ATM. Однак там він виконує службові функції, не пов'язані з передачею даних користувача. У комутаторах ATM, протокол AAL5 підтримує службові протоколи більш високих рівнів, що займаються встановленням комутованих віртуальних з'єднань.

Існує певний інтерфейс між додатком, якому потрібно передати трафік через мережу ATM, і рівнем адаптації AAL. За допомогою цього інтерфейсу додаток (протокол комп'ютерної мережі, модуль оцифрування голосу) замовляє необхідну послугу, визначаючи тип трафіку, його параметри, а також параметри QoS. Технологія ATM допускає два варіанти визначення параметрів QoS: перший - безпосереднє завдання їх кожним додатком, другий - призначення їх за замовчуванням в залежності від типу трафіку. Останній

спосіб спрощує завдання розробника програми, так як в цьому випадку вибір максимальних значень затримки доставки осередків і варіації затримок перекладається на плечі адміністратора мережі. Самостійно забезпечити необхідні параметри трафіку і QoS протоколи AAL не можуть. Для виконання угод трафік - договору потрібно злагоджена робота комутаторів мережі уздовж всього віртуального з'єднання. Ця робота виконується протоколом АТМ, що забезпечує передачу осередків різних віртуальних з'єднань з заданим рівнем якості обслуговування.

4.2.3.Протокол АТМ

Протокол АТМ займає в стеку протоколів АТМ приблизно те ж місце, що протокол ІР в стеці ТСР / ІР або протокол LAR-F в стеку протоколів технології frame relay. Протокол АТМ займається передачею осередків через комутатори при встановленому і налаштованому віртуальному з'єднанні, тобто на підставі готових таблиць комутації портів. Протокол АТМ виконує комутацію за номером віртуального з'єднання, який в технології АТМ розбитий на дві частини - ідентифікатор віртуального шляху (Virtual Path Identifier, VPI) і ідентифікатор віртуального каналу (Virtual Channel Identifier, VCI). Крім цього основного завдання протокол АТМ виконує ряд функцій з контролю за дотриманням трафік - контракту з боку користувача мережі, маркування осередків-порушників, відкидання осередків-порушників при перевантаженні мережі, а також управління потоком осередків для підвищення продуктивності мережі (природно, при дотриманні умов трафік - контракту для всіх віртуальних з'єднань). Протокол АТМ працює з комірками наступного формату, представленого на рис. 4.20 [3].

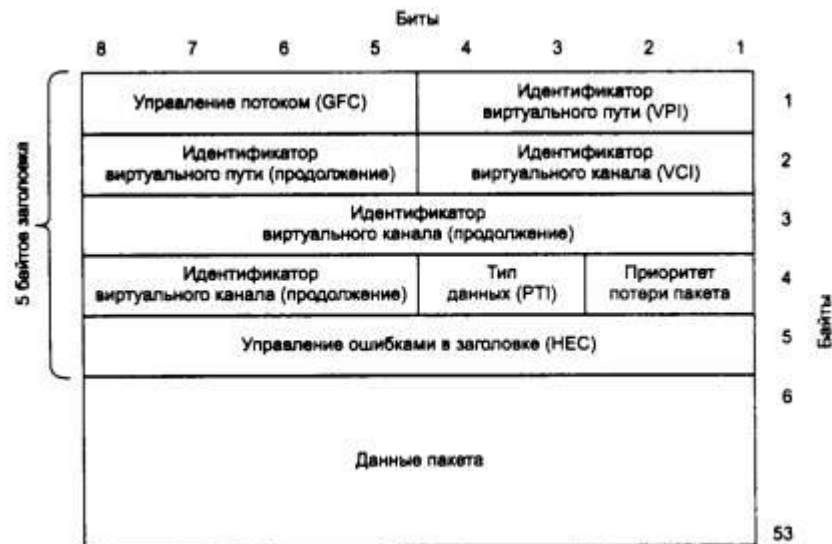


Рис. 4.20. Формат комірки АТМ

Поле Управління потоком (Generic Flow Control) використовується тільки при взаємодії кінцевого вузла і першого комутатора мережі. В даний час його точні функції не визначені.

Поля Ідентифікатор віртуального шляху (Virtual Path Identifier, VPI) і Ідентифікатор віртуального каналу (Virtual Channel Identifier, VCI) займають відповідно 1 і 2 байта. Ці поля задають номер віртуального з'єднання, розділений на старшу (VPI) і молодшу (VCI) частини.

Поле Ідентифікатор типу даних (Payload Type Identifier, PTI) складається з 3-х біт і задає тип даних, які переносяться осередком, - призначені для користувача або керуючі (наприклад, керуючі встановленням віртуального з'єднання). Крім того, один біт цього поля використовується для вказівки перевантаження в мережі - він називається Explicit Congestion Forward Identifier, EFCI - і грає ту ж роль, що біт FECN в технології frame relay, тобто передає інформацію про перевантаження по напрямку потоку даних.

Поле Пріоритет втрати кадру (Cell Loss Priority, CLP) грає в даній технології ту ж роль, що і поле DE в технології frame relay - в ньому комутатори АТМ відзначають осередку, які порушують угоди про параметри якості обслуговування, щоб видалити їх при перевантаженнях мережі. Таким чином, осередки з CLP = 0 є для мережі високопріоритетними, а осередки з CLP = 1 -

фонової.

Поле Управління помилками в заголовку (Header Error Control, HEC) містить контрольну суму, обчислену для заголовка комірки. Контрольна сума обчислюється за допомогою техніки коригувальних кодів Хеммінга, тому вона дозволяє не тільки виявляти помилки, але і виправляти всі одиночні помилки, а також деякі подвійні. Поле HEC забезпечує не тільки виявлення і виправлення помилок в заголовку, але і знаходження межі початку кадру в потоці байтів кадрів SDH, які є добрим фізичним рівнем технології ATM, або ж в потоці біт фізичного рівня, заснованого на осередках. Показчиків, що дозволяють в поле даних кадру STS-n (STM-n) технології SONET / SDH виявляти кордону осередків ATM (подібних до тих вказівниками, які використовуються для визначення, наприклад, меж віртуальних контейнерів підканалов T1 / E1), не існує. Тому комутатор ATM обчислює контрольну суму для послідовності з 5 байт, що знаходяться в полі даних кадру STM-n, і, якщо обчислена контрольна сума говорить про коректність заголовка комірки ATM, перший байт стає кордоном осередки. Якщо ж це не так, то відбувається зсув на один байт і операція триває. Таким чином, технологія ATM виділяє асинхронний потік комірок ATM в синхронних кадрах SDH або потоці біт фізичного рівня, заснованого на осередках.

4.2.4. Передача трафіку IP через мережі ATM

Технологія ATM може використовуватися безпосередньо для транспортування повідомлень протоколів прикладного рівня, поки вона частіше переносить пакети інших протоколів канального і мережевого рівнів, співіснуючи з ними, а не повністю замінюючи. Тому протоколи і специфікації, які визначають способи взаємодії технології ATM з іншими технологіями, дуже важливі для сучасних мереж. А так як протокол IP є на сьогодні основним протоколом побудови складних мереж, то стандарти роботи IP через мережі ATM є стандартами, що визначають взаємодію двох найбільш популярних технологій сьогодення.

Протокол Classical IP (RFC 1577) є першим (за часом появи) протоколом, який визначив спосіб роботи інтермережі IP в тому випадку, коли одна з проміжних мереж працює за технологією ATM. Через класичної концепції підмереж протокол і отримав свою назву - Classical.

Однією з основних завдань, що вирішуються протоколом Classical IP, є традиційна для IP-мереж завдання - пошук локальної адреси наступного маршрутизатора або кінцевого вузла по його IP-адресою, тобто обов'язок, який покладено в локальних мережах на протокол ARP. Оскільки мережа ATM не підтримує широкомовність, традиційний для локальних мереж спосіб широкомовних ARP-запитів тут не працює. Технологія ATM, звичайно, не єдина технологія, в якій виникає така проблема, - для позначення таких технологій навіть ввели спеціальний термін - «нешіроковещательними мережі з множинним доступом» (Non-Broadcast networks with Multiple Access, NBMA). У загальному випадку для нешироковещательними мереж стандарти TCP / IP визначають тільки ручний спосіб побудови ARP-таблиць, однак для технології ATM робиться виняток - для неї розроблена процедура автоматичного відображення IP-адрес на локальні адреси. Такий особливий підхід до технології ATM пояснюється наступними причинами. Мережі NBMA використовуються, як правило, як транзитні глобальні мережі, до яких підключається обмежене число маршрутизаторів, а для невеликого числа маршрутизаторів можна задати ARP-таблицю вручну. Технологія ATM відрізняється тим, що вона застосовується для побудови не тільки глобальних, а й локальних мереж. В останньому випадку розмірність ARP-таблиці, яка повинна містити записи і про прикордонні маршрутизатори, і про безліч кінцевих вузлів, може бути дуже великий. До того ж, для великої локальної мережі характерно постійна зміна складу вузлів, а значить, часто виникає необхідність в коректуванні таблиць. Все це робить ручний варіант вирішення завдання відображення адрес для мереж ATM мало придатним [4].

Відповідно до специфікації Classical IP одна мережа ATM може бути представлена у вигляді декількох IP-підмереж, так званих логічних підмереж (Logical IP Subnet, LIS) (рис. 4.21). Всі вузли однієї LIS мають загальний адреса

мережі. Як і в класичній IP-мережі, весь трафік між підмережами обов'язково проходить через маршрутизатор, хоча і існує принципова можливість передавати його безпосередньо через комутатори АТМ, на яких побудована мережа АТМ. Маршрутизатор має інтерфейси у всіх LIS, на які розбита мережу АТМ.

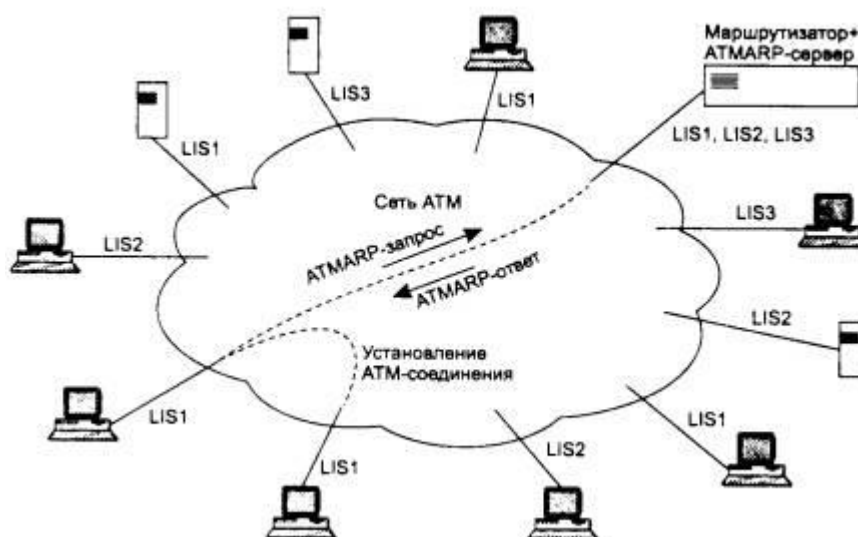


Рис. 4.21. Логічні IP-підмережі в мережі АТМ

На відміну від класичних підмереж маршрутизатор може бути підключений до мережі АТМ одним фізичним інтерфейсом, якому присвоюється кілька IP-адрес відповідно до кількості LIS в мережі.

Рішення про введення логічних підмереж пов'язано з необхідністю забезпечення традиційного поділу великої мережі АТМ на незалежні частини, зв'язність яких контролюється маршрутизаторами, як до цього звикли мережеві інтегратори і адміністратори. Рішення має і очевидний недолік - маршрутизатор повинен бути досить продуктивним для передачі високошвидкісного трафіку АТМ між логічними підмережами, в іншому випадку він стане вузьким місцем мережі. Всі кінцеві вузли конфігуруються традиційним чином - для них задається їх власний IP-адреса, маска і IP-адреса маршрутизатора за замовчуванням. Крім того, задається ще один додатковий параметр - адреса АТМ (або номер VPI / VCI для випадку використання постійного віртуального каналу, тобто PVC) так званого сервера АТМАРР.

Кожен вузол використовує адресу АТМ сервера АТМАРР, щоб виконати звичайний запит АРР. Цей запит має формат, дуже близький до формату запиту протоколу АРР з стека ТСР / ІР. Довжина адреси апаратури в ньому визначена в 20 байт, що відповідає довжині адреси АТМ. У кожній логічній підмережі є свій сервер АТМАРР, так як вузол може звертатися без посередництва маршрутизатора тільки до вузлів своєї підмережі. Зазвичай роль сервера АТМАРР виконує маршрутизатор, який має інтерфейси в усіх логічних підмережах [3].

При надходженні першого запиту АРР від кінцевого вузла сервер спочатку направляє йому зустрічний інверсний запит АТМАРР, щоб з'ясувати ІР- і АТМ-адреси цього вузла. Цим способом виконується реєстрація кожного вузла в сервері АТМАРР, і сервер отримує можливість автоматично будувати базу даних відповідності ІР- і АТМ - адрес. Потім сервер намагається виконати запит АТМАРР вузла шляхом перегляду своєї бази. Якщо шуканий вузол вже зареєструвався в ній і він належить тій же логічній підмережі, що і запитувач вузол, то сервер відправляє в якості відповіді запитуваний адресу. В іншому випадку дається негативна відповідь.

Кінцевий вузол, отримавши відповідь АРР, дізнається АТМ-адресу свого сусіда по логічній підмережі і встановлює з ним комутуєме віртуальне з'єднання. Якщо ж він запитував АТМ-адреса маршрутизатора за замовчуванням, то він встановлює з ним з'єднання, щоб передати ІР-пакет в іншу мережу.

Для передачі ІР-пакетів через мережу АТМ специфікація Classical ІР визначає використання протоколу рівня адаптації ААL5, при цьому специфікація нічого не говорить ні про параметри трафіку і якості обслуговування, ні про необхідної категорії послуг.

4.2.5. Співіснування АТМ з традиційними технологіями локальних мереж

Технологія АТМ розроблялася спочатку як «річ у собі», без урахування

того факту, що в існуючі технології зроблені великі вкладення і тому ніхто не стане відразу відмовлятися від встановленого і працюючого обладнання, навіть якщо з'являється нове, більш досконале. Ця обставина виявилася не настільки важливим для територіальних мереж, які в разі потреби могли надати свої оптоволоконні канали для побудови мереж АТМ. З огляду на, що вартість високошвидкісних оптоволоконних каналів, прокладених на великі відстані, часто перевищує вартість решти мережевого обладнання, перехід на нову технологію АТМ, пов'язаний із заміною комутаторів, в багатьох випадках виявлявся економічно виправданим.

Для локальних мереж, в яких заміна комутаторів і мережевих адаптерів рівнозначна створенню нової мережі, перехід на технологію АТМ міг бути викликаний тільки вельми серйозними причинами. Набагато привабливіше повної заміни існуючої локальної мережі новою мережею АТМ виглядала можливість «поступового» впровадження технології АТМ в існуючу на підприємстві мережу. При такому підході фрагменти мережі, що працюють за новою технологією АТМ, могли б мирно співіснувати з іншими частинами мережі, побудованими на основі традиційних технологій. Застосування маршрутизаторів ІР, що реалізують протокол Classical ІР, вирішує цю проблему [5].

4.2.6. Переваги і недоліки технології АТМ

Основні переваги технології АТМ:

- динамічне управління смугою пропускання каналів зв'язку;
- надання QoS для різних типів трафіку;
- можливості резервування каналів зв'язку і обладнання;
- можливість інтегрування найрізноманітніших типів трафіку, включаючи голос, дані, відео;
- можливість економії смуги пропускання за рахунок спеціальних технологій обробки голосового трафіку;
- можливість емуляції «прозорих» каналів зв'язку;

- сумісність з технологією FR і надання сервісів користувачам FR.
- використовуючи технологію MPLS (Tag Switching), сервіс-провайдер, який має опорну мережу ATM, може динамічно комутувати трафік IP по опорній мережі ATM в реальному масштабі часу. При цьому з'являється можливість надавати необхідний QoS, співвідносячи рівні пріоритетності IP і ATM.

Недоліки технології ATM:

- складність технології;
- відносно високі ціни обладнання;
- недостатня сумісність обладнання від різних виробників;
- в специфічних завданнях (наприклад, при частій передачі невеликих об'ємів трафіку) застосування технології ATM може привести до невиправдано великих затримок при встановленні з'єднань і до досить високому відсотку службової інформації, завантажує канал зв'язку.

Використання технології ATM при побудові опорної мережі можна рекомендувати в наступних випадках:

- завантаження каналів близька до граничної;
- потрібно передавати різнорідний трафік з наданням різних класів обслуговування (голос, дані, відео);
- частка голосового трафіку в загальній завантаженні каналу є суттєвою;
- можливі вимоги щодо надання «прозорих» каналів зв'язку, наприклад для з'єднання виносів АТС.

Контрольні питання до розділу

1. Технологія *ATM*. Особливості, переваги, недоліки.
2. До якого класу трафіку *ATM* відноситься наступна характеристика: змінна бітова швидкість – *Variable Bit Rate, VBR*. Вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання.
 - a. *A*;
 - b. *B*;
 - c. *C*;
 - d. *D*;

- e. X.
2. До якого класу трафіку *ATM* відноситься наступна характеристика: „постійна бітова швидкість-*Constant Bit Rate, CBR*. Вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання».
- a. A;
 - b. B;
 - c. C;
 - d. D;
 - e. X.
3. В технології *ATM* підтримується наступний набір основних кількісних параметрів:
- a. (*PCR*) - максимальна швидкість передачі даних;
 - b. (*SCR*) - середня швидкість передачі даних;
 - c. (*MCR*) - мінімальна швидкість передачі даних;
 - d. (*MBS*) - мінімальний розмір пульсації;
 - e. (*CLR*) - доля переданих комірок;
 - f. (*CTD*) - затримка передачі комірок;
 - g. (*CDV*) - варіація затримки комірок.
4. До якого класу трафіку *ATM* відноситься наступна характеристика: змінна бітова швидкість –*Variable Bit Rate, VBR*. Вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання.
- a. A;
 - b. B;
 - c. C;
 - d. D;
 - e. X.
5. До класу **A** трафіку *ATM* відноситься наступна характеристика:
- a. змінна бітова швидкість –*Variable Bit Rate, VBR*. Не вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання;
 - b. постійна бітова швидкість-*Constant Bit Rate, CBR*. Вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання;
 - c. змінна бітова швидкість –*Variable Bit Rate, VBR*. Вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання;
 - d. тип трафіку та його параметри визначаються користувачем;
 - e. змінна бітова швидкість –*Variable Bit Rate, VBR*. Не вимагаються

часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. Без встановленням з'єднання.

6. До якого класу трафіку АТМ відноситься наступна характеристика: тип трафіку та його параметри визначаються користувачем.
 - a. A;
 - b. B;
 - c. C;
 - d. D;
 - e. X.

7. До якого класу трафіку АТМ відноситься наступна характеристика: змінна бітова швидкість –*Variable Bit Rate, VBR*. Не вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання.
 - a. A;
 - b. B;
 - c. C;
 - d. D;
 - e. X.

8. До класу С трафіку АТМ відноситься наступна характеристика:
 - a. змінна бітова швидкість –*Variable Bit Rate, VBR*. Не вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання;
 - b. постійна бітова швидкість–*Constatnt Bit Rate, CBR*. Вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання;
 - c. змінна бітова швидкість –*Variable Bit Rate, VBR*. Вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання;
 - d. тип трафіку та його параметри визначаються користувачем;
 - e. змінна бітова швидкість –*Variable Bit Rate, VBR*. Не вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. Без встановленням з'єднання.

9. До класу В трафіку АТМ відноситься наступна характеристика:
 - a. змінна бітова швидкість –*Variable Bit Rate, VBR*. Не вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання;
 - b. постійна бітова швидкість–*Constatnt Bit Rate, CBR*. Вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання;
 - c. змінна бітова швидкість –*Variable Bit Rate, VBR*. Вимагаються

часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання;
d. тип трафіку та його параметри визначаються користувачем;
e. змінна бітова швидкість – *Variable Bit Rate, VBR*. Не вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. Без встановленням з'єднання.

10. До якого класу трафіку АТМ відноситься наступна характеристика: змінна бітова швидкість – *Variable Bit Rate, VBR*. Не вимагаються часові співвідношення між даними, що приймаються та передаються. З встановленням з'єднання.
- a. А;
 - b. В;
 - c. С;
 - d. D;
 - e. Х.
11. Що собою представляє стек протоколів АТМ?
12. Який клас трафіку зазвичай обслуговує протокол ААЛ1?
13. Який клас трафіку зазвичай обслуговує протокол ААЛ2?
14. Який клас трафіку зазвичай обслуговує протокол ААЛ3 / 4?
15. Який клас трафіку зазвичай обслуговує протокол ААЛ5?
16. Що собою представляє формат комірки АТМ?
17. Основні переваги технології АТМ.
18. Основні недоліки технології АТМ.
19. Яким чином відбувається передача трафіку ІР через мережі АТМ?
20. Як співіснують технологія АТМ з традиційними технологіями локальних мереж?

Список рекомендованої літератури

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — [ISBN 978-5-498-07389-7](https://www.isbn-international.org/product/978-5-498-07389-7).
2. Блэк Ю. Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы. – М.: Мир, 1990. – 506 с.
3. Кунегин С.В. Основы технологии АТМ. Учебно-методическое пособие М., в/ч 33965, 1999, - 80 с. с илл.
4. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. Мультисервисные сети: Учебное пособие / Сост. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. – Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2004. – 114 с.
5. Берлин А. Абонентские сети доступа и технологии высокоскоростных сетей. Курс лекций. [Электронный ресурс]. – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2010. – ISBN 5-9556-0032-9. Режим доступа до матеріалу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/986/212/info>.

4.3. ТЕХНОЛОГІЯ MPLS (Multi Protocol Label Switching)

4.3.1. Загальні відомості

Технологія *MPLS (Multi Protocol Label Switching)*, незважаючи на свою відносно молодість, вже стала одним з наріжних каменів фундаменту нових технологій *IP*-мереж. Сьогодні за допомогою *MPLS* можна вирішувати різні завдання:

- прискорювати просування пакетів за рахунок заміни на магістралі мережі маршрутизації на комутацію;
- вирішувати завдання *Traffic Engineering*, тобто конструювати шляху проходження трафіку через мережу таким чином, щоб домогтися максимально ефективного використання маршрутизаторів і каналів зв'язку;
- забезпечувати необхідні параметри якості обслуговування (*QoS*) за рахунок резервування пропускної здатності для трафіку, що проходить по шляхах *MPLS*;
- будувати масштабовані віртуальні приватні мережі (*VPN*).

Сфера застосування *MPLS* постійно розширюється, з'явилися перспективи перенесення методів вибору і встановлення шляхів, що застосовуються в *MPLS*, на первинні транспортні мережі, такі як *SDH* і *DWDM*, за допомогою розробленого в даний час стандарту *Generalized MPLS (GMPLS)*.

MPLS (MultiProtocol Label Switching) - це технологія швидкої комутації пакетів в багато протокольних мережах, заснована на використанні міток. *MPLS* розробляється і позиціонується як спосіб побудови високошвидкісних *IP*-магістралей, однак область її застосування не обмежується протоколом *IP*, а поширюється на трафік будь-якого маршрутизації мережевого протоколу [1].

Традиційно головними вимогами, що пред'являються до технології магістральної мережі, були висока пропускна здатність, мале значення затримки і хороша масштабованість. Однак сучасний стан ринку диктує нові правила гри. Тепер постачальнику послуг недостатньо просто надавати доступ до своєї *IP*-магістралі. Змінилися потреби користувачів включають в себе і

доступ до інтегрованих сервісів мережі, і організацію віртуальних приватних мереж (*VPN*), і ряд інших інтелектуальних послуг. Зростаючий попит на додаткові послуги, що реалізуються поверх простого *IP*-доступу, обіцяє принести *Internet*-провайдерам величезні доходи.

Для вирішення виникаючих завдань і розробляється архітектура *MPLS*, яка забезпечує побудову магістральних мереж, що мають практично необмежені можливості масштабування, підвищену швидкість обробки трафіку і безпрецедентну гнучкість з точки зору організації додаткових сервісів. Крім того, технологія *MPLS* дозволяє інтегрувати мережі *IP* і *ATM*, за рахунок чого постачальники послуг зможуть не тільки зберегти кошти, інвестовані в обладнання асинхронної передачі, а й отримати додаткову вигоду зі спільного використання цих протоколів.

За розвиток архітектури *MPLS* відповідає робоча група з однойменною назвою, що входить в секцію по маршрутизації консорціуму *IETF*. У діяльності групи беруть активну участь представники найбільших постачальників мережеских рішень і обладнання. Ця архітектура виросла з системи *Tag Switching*, запропонованої *Cisco Systems*, проте деякі ідеї були запозичені у конкуруючої технології *IP*-комутації, створеної компанією *Ipsilon*, і проекту *ARIS* корпорації *IBM*. В архітектурі *MPLS* зібрані найбільш вдалі елементи всіх згаданих розробок, і незабаром вона повинна перетворитися в стандарт *Internet* завдяки зусиллям *IETF* і компаній, зацікавлених у якнайшвидшому просуванні даної технології на ринок.

4.3.2 Принцип комутації

В основі *MPLS* лежить принцип обміну міток. Будь-який пакет, що передається, асоціюється з тим чи іншим класом мережевого рівня (*Forwarding Equivalence Class, FEC*), кожен з яких ідентифікується певною міткою. Значення мітки унікальне лише для ділянки шляху між сусідніми вузлами мережі *MPLS*, які називаються також маршрутизаторами, комутуючими по мітках (*Label Switching Router, LSR*). Мітка передається в складі будь-якого

пакета, причому спосіб її прив'язки до пакету залежить від використовуваної технології канального рівня.

Маршрутизатор *LSR* отримує топологічну інформацію про мережі, беручи участь в роботі алгоритму маршрутизації - *OSPF, BGP, IS-IS*. Потім він починає взаємодіяти з сусідніми маршрутизаторами, розподіляючи мітки, які в подальшому будуть застосовуватися для комутації. Обмін мітками може проводитися за допомогою як спеціального протоколу розподілу міток (*Label Distribution Protocol, LDP*), так і модифікованих версій інших протоколів сигналізації в мережі (наприклад, незначно видозмінених протоколів маршрутизації, резервування ресурсів *RSVP* і ін.) [2].

Розподіл міток між *LSR* призводить до встановлення всередині домену *MPLS* шляхів з комутацією по мітках (*Label Switching Path, LSP*). Кожен маршрутизатор *LSR* містить таблицю, яка ставить у відповідність парі «вхідний інтерфейс, вхідна мітка» трійку «префікс адреси одержувача, вихідний інтерфейс, вихідна мітка». Отримуючи пакет, *LSR* за номером інтерфейсу, на який прийшов пакет, і за значенням прив'язаної до пакету мітки визначає для нього вихідний інтерфейс. (Значення префікса застосовується лише для побудови таблиці і в самому процесі комутації не використовується.) Старе значення мітки замінюється новим, що містилися в поле «вихідна мітка» таблиці, і пакет відправляється до наступного пристрою на шляху *LSP*.

Вся операція вимагає лише одноразової ідентифікації значень полів в одному рядку таблиці. Це займає набагато менше часу, ніж порівняння *IP*-адреси відправника з найбільш довгим адресним префіксом в таблиці маршрутизації, яке використовується при традиційній маршрутизації [3].

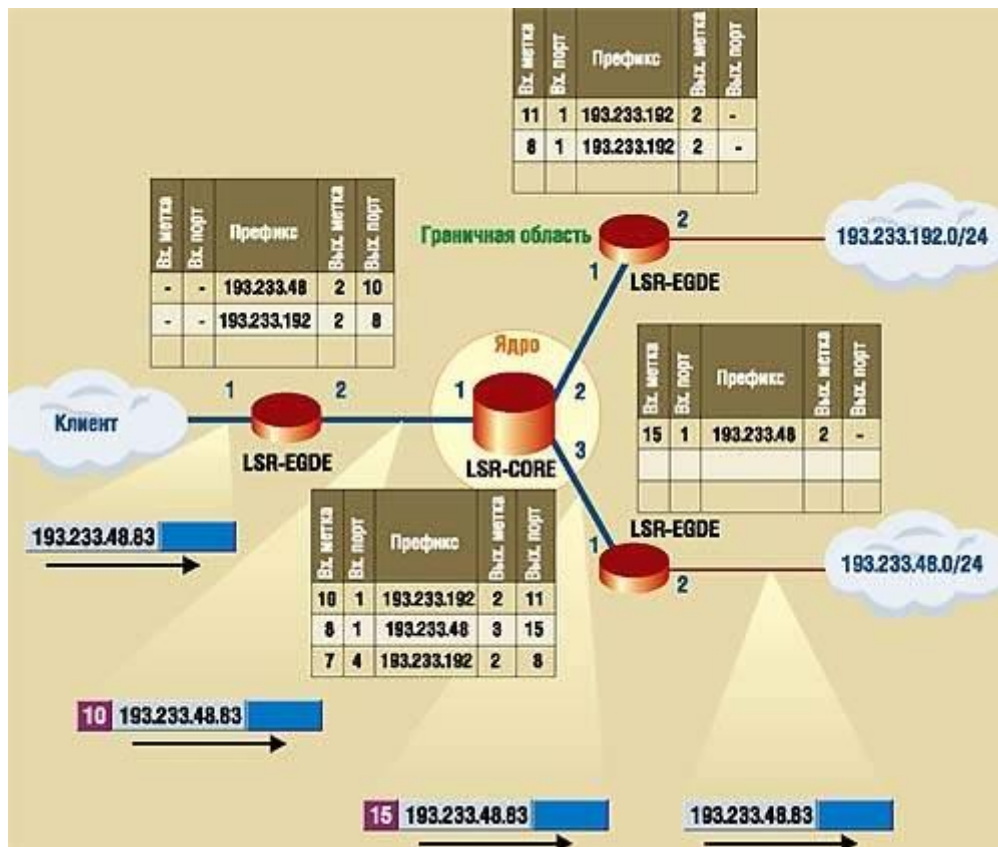


Рис. 4.22. Схема комутації MPLS

Мережа *MPLS* ділиться на дві функціонально різні області - ядро і граничну область (рисунок 4.22). Ядро утворюють пристрої, мінімальним вимогою до яких є підтримка *MPLS* і участь в процесі маршрутизації трафіку для того протоколу, який комутується за допомогою *MPLS*. Маршрутизатор ядра займаються тільки комутацією. Всі функції класифікації пакетів за різними *FEC*, а також реалізацію таких додаткових сервісів, як фільтрація, явна маршрутизація, вирівнювання навантаження і управління трафіком, беруть на себе граничні *LSR*. В результаті інтенсивні обчислення припадають на граничну область, а високопродуктивна комутація виконується в ядрі, що дозволяє оптимізувати конфігурацію пристроїв *MPLS* в залежності від їх місця розташування в мережі.

Таким чином, головна особливість *MPLS* - відокремлення процесу комутації пакета від аналізу *IP*-адрес в його заголовку, що відкриває ряд привабливих можливостей. Очевидним наслідком описаного підходу є той

факт, що черговий сегмент *LSP* може не збігатися з черговим сегментом маршруту, який був би обраний при традиційній маршрутизації.

Оскільки на встановлення відповідності пакетів певних класів *FEC* можуть впливати не тільки *IP*-адреси, а й інші параметри, неважко реалізувати, наприклад, призначення різних *LSP* пакетам, які належать до різних потоків *RSVP* або мають різні пріоритети обслуговування. Звичайно, подібний сценарій вдається здійснити і в звичайних маршрутизованих мережах, але рішення на базі *MPLS* виявляється простіше і до того ж набагато краще масштабується.

Кожен з класів *FEC* обробляється окремо від інших - не тільки тому, що для нього будується свій шлях *LSP*, але і в сенсі доступу до загальних ресурсів (смузі пропускання каналу і буферного простору). В результаті технологія *MPLS* дозволяє дуже ефективно підтримувати необхідну якість обслуговування, не порушуючи наданих користувачеві гарантій. Застосування в *LSR* таких механізмів управління буферизацією і чергами, як *WRED*, *WFQ* або *CBWFQ*, дає можливість оператору мережі *MPLS* контролювати розподіл ресурсів і ізолювати трафік окремих користувачів.

Використання явно задається маршруту в мережі *MPLS* вільно від недоліків стандартної *IP*-маршрутизації від джерела, оскільки вся інформація про маршрут міститься в мітці і пакету не потрібно нести адреси проміжних вузлів, що покращує управління розподілом навантаження в мережі.

4.3.3. Елементи архітектури

Мітки і способи маркування

Мітка - це короткий ідентифікатор фіксованої довжини, який визначає клас *FEC*. За значенням мітки пакета визначається його приналежність до певного класу на кожній з ділянок комутованого маршруту.

Як уже зазначалося, мітка повинна бути унікальною лише в межах з'єднання між кожною парою логічно сусідніх *LSR*. Тому один і той же її значення може використовуватися *LSR* для зв'язку з різними сусідніми

маршрутизаторами, якщо тільки є можливість визначити, від якого з них прийшов пакет з даної міткою. Іншими словами, в з'єднаннях «точка-точка» допускається застосовувати один набір міток на інтерфейс, а для середовищ з множинним доступом необхідний один набір міток на модуль або весь пристрій. В реальних умовах загроза вичерпання простору міток дуже малоймовірна.

Перед включенням до складу пакета мітка певним чином кодується. У разі використання протоколу IP вона поміщається в спеціальний «тонкий» заголовок пакета, що інкапсулює IP. В інших ситуаціях мітка записується в заголовок протоколу канального рівня або кодується у вигляді певного значення *VPI / VCI* (в мережі *ATM*). Для пакетів протоколу *IPv6* мітку можна розмістити в поле ідентифікатора потоку.

Стек міток

В рамках архітектури *MPLS* разом з пакетом дозволено передавати не одну мітку, а цілий їх стек. Операції додавання / вилучення мітки визначені як операції на стеку (*push / pop*). Результат комутації задає лише верхня мітка стека, нижні ж передаються прозора до операції вилучення верхньої. Такий підхід дозволяє створювати ієрархію потоків в мережі *MPLS* і організовувати тунельні передачі. Стек складається з довільного числа елементів, кожен з яких має довжину 32 біта: 20 біт складають власне мітку, 8 відводяться під лічильник часу життя пакета, один вказує на нижню межу стека, а три не використовуються. Мітка може приймати будь-яке значення, крім декількох зарезервованих [3].

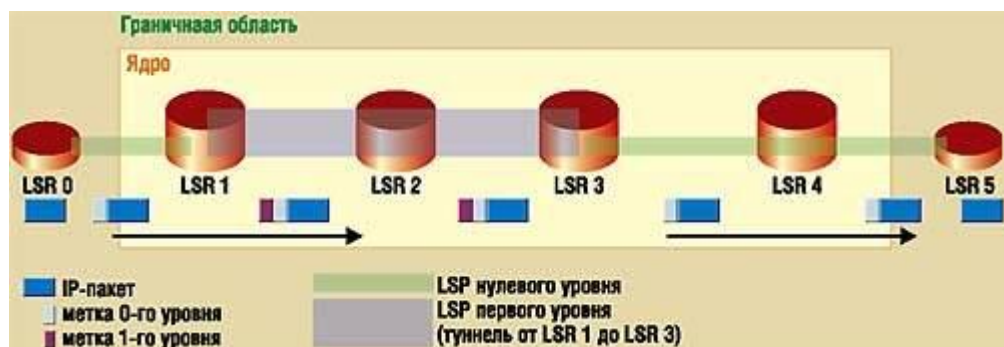


Рис. 4.23. Компоненти комутованого з'єднання

Комутований шлях (*LSP*) одного рівня складається з послідовного набору ділянок, комутація на яких відбувається за допомогою мітки даного рівня (рисунок 4.23). Наприклад, *LSP* нульового рівня проходить через пристрої *LSR 0*, *LSR 1*, *LSR 3*, *LSR 4* і *LSR 5*. При цьому *LSR 0* і *LSR 5* є, відповідно, вхідним (ingress) і вихідним (egress) маршрутизаторами для шляху нульового рівня. *LSR 1* і *LSR 3* грають ту ж роль для *LSP* першого рівня; перший з них виробляє операцію додавання мітки в стек, а другий - її видалення. З точки зору трафіку нульового рівня, *LSP* першого рівня є прозорим тунелем. У будь-якому сегменті *LSP* можна виділити верхній і нижній *LSR* по відношенню до трафіку. Наприклад, для сегмента «*LSR 4* - *LSR 5*» четвертий маршрутизатор буде верхнім, а п'ятий - нижнім.

Прив'язка і розподіл міток

Під прив'язкою розуміють відповідність між певним класом *FEC* і значенням мітки для даного сегмента *LSP*. Прив'язку завжди здійснює «нижній» маршрутизатор *LSR*, тому і інформація про неї поширюється тільки в напрямку від нижнього *LSR* до верхнього. Разом з цими відомостями можуть віддаватися атрибути прив'язки.

Обмін інформацією про прив'язку міток і атрибутах здійснюється між сусідніми *LSR* за допомогою протоколу розподілу міток. Архітектура *MPLS* не залежить від конкретного протоколу, тому в мережі можуть застосовуватися різні протоколи мережевої сигналізації. Дуже перспективно в даному відношенні - використання *RSVP* для суміщення резервування ресурсів і організації *LSP* для різних потоків [3].

Існують два режими розподілу міток: незалежний і упорядкований. Перший передбачає можливість повідомлення верхнього вузла про прив'язку до того, як конкретний *LSR* отримає інформацію про прив'язку для даного класу від свого нижнього сусіда. Другий режим дозволяє висилати подібне повідомлення тільки після отримання такої інформації від нижнього *LSR*, за

винятком випадку, коли маршрутизатор *LSR* є вихідним для цього *FEC*.

Поширення інформації про прив'язку може бути ініційовано запитом від верхнього пристрою *LSR* (*downstream on-demand*) або здійснюватися спонтанно (*unsolicited downstream*).

Побудова комутованого маршруту

Розглянемо, як система *MPLS* автоматично створює шлях *LSP* в найпростішому випадку - за допомогою протоколу *LDP*. Архітектура *MPLS* не вимагає обов'язкового застосування *LDP*, однак, на відміну від інших можливих варіантів, він найбільш близький до остаточної стандартизації.

Спочатку за допомогою під *LGPL* повідомлень *UDP* комутуючі маршрутизатори визначають своє «сусідство» (*adjacency*) в рамках протоколу *LDP*. Крім близькості на каналному рівні, *LDP* може встановлювати зв'язок між «логічно сусідніми» *LSR*, що не належать до одного каналу. Це необхідно для реалізації тунельної передачі. Після того як сусідство встановлено, *LDP* відкриває транспортне сполучення між учасниками сеансу поверх *TCP*. З цього з'єднання передаються запити на установку прив'язки і сама інформація про прив'язку. Крім того, учасники сеансу періодично перевіряють працездатність один одного, відправляючи тестові повідомлення (*keepalive message*).

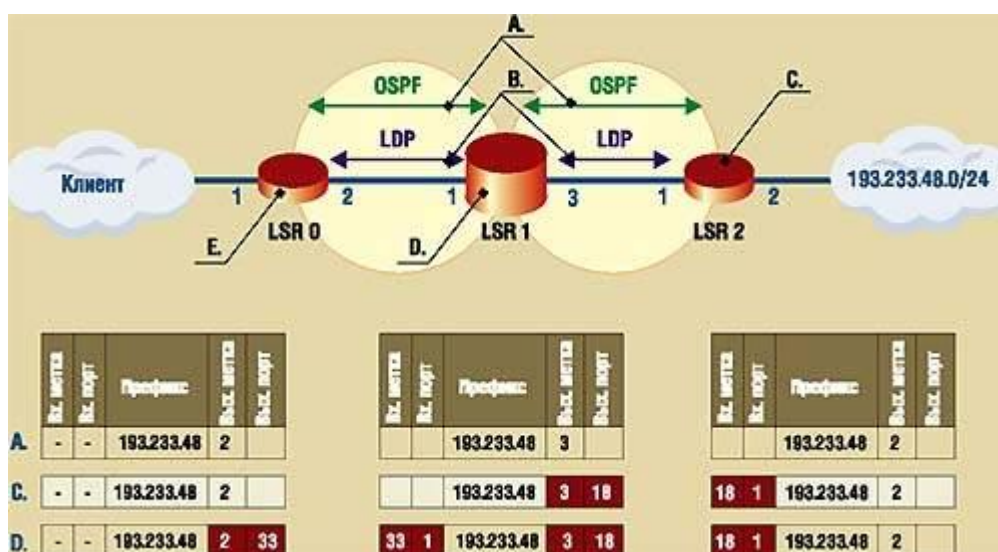


Рис. 4.24 Побудова комутованого шляху по протоколу LDP

Розглянемо на прикладі, як відбувається заповнення таблиць міток по протоколу *LDP* (рисунок 5.3). Припустимо, що обраний упорядкований режим розподілу міток *LSP* зі спонтанним поширенням відомостей про прив'язку.

На стадії А кожне з пристроїв мережі *MPLS* буде базу топологічної інформації, задіюючи будь-який з сучасних протоколів маршрутизації (на схемі - *OSPF*). На стадії В маршрутизатори *LSR* застосовують процедуру знаходження сусідніх пристроїв і встановлюють з ними сеанси *LDP*.

Далі (стадія С) *LSR 2* на основі аналізу власних таблиць маршрутизації виявляє, що він є вихідним *LSR* для шляху, що веде до IP-мережі 193.233.48.0. Тоді *LSR 2* асоціює клас *FEC* з пакетами, адреса одержувача яких відповідає префіксу даної мережі, і привласнює цього класу випадкове значення мітки - в нашому випадку 18. Отримавши прив'язку, протокол *LDP* повідомляє верхній маршрутизатор *LSR* (*LSR 1*) про те, що потоку, адресованому мережі з префіксом 193.233.48, присвоєна мітка 18. *LSR 1* поміщає це значення в поле вихідний мітки своєї таблиці.

На стадії D пристрій *LSR 1*, якому відомо значення мітки для потоку, адресованого на префікс 193.233.48, привласнює власне значення мітки даному *FEC* і повідомляє верхнього сусіда (*LSR 0*) про цю прив'язку. Тепер *LSR 0* записує отриману інформацію в свою таблицю. Після завершення даного процесу все готово для передачі пакетів з мережі «клієнта» в мережу з адресою 193.233.48.0, тобто обраним шляхом *LSP*.

Специфікація класу *FEC* може містити кілька компонентів, кожен з яких визначає набір пакетів, відповідних даному класу. На сьогоднішній день визначені два компонента *FEC*: адреса вузла (host address) і адресний префікс (address prefix). Пакет класифікується як належить до даного класу *FEC*, якщо адреса одержувача точно збігається з компонентом адреси вузла або має максимальний збіг з адресним префіксом. У нашому прикладі вузол *LSR 0* виконує в процесі передачі класифікацію пакетів, що надходять до нього з мережі клієнта, і (якщо адреса одержувача в них збігається з префіксом 193.233.48), присвоївши пакету мітку 33, відправляє його через інтерфейс 2.

4.3.4. MPLS Traffic Engineering

Загальні рекомендації щодо застосування технології *MPLS* для вирішення завдань TE сформульовані в інформаційному RFC 2702 «*Requirements for Traffic Engineering over MPLS*». Потрібно відзначити, що, хоча цей документ і не претендує на роль стандарту Internet, проте, більшість виробників досить точно слідують описаним в ньому принципам і механізмам.

Для вирішення завдання TE технологія MPLS використовує розширення протоколів маршрутизації, що працюють на основі алгоритму стану зв'язків. Сьогодні такі розширення стандартизовані для протоколів OSPF і IS-IS. Причина застосування протоколів маршрутизації даного класу досить очевидна - ці протоколи, на відміну від дистанційно-векторних протоколів, до яких відноситься, наприклад, RIP, дають маршрутизатора повну топологічну інформацію про мережі. Їх оголошення містять інформацію про маршрутизаторах і мережах, а також про фізичних зв'язках між ними. Кожна зв'язок характеризується поточним станом працездатності і метрикою, в якості якої використовується величина, зворотна пропускної здатності каналу. У традиційному варіанті для вибору найкоротшого (з мінімальною сумарною метрикою) шляху до кожної з мереж маршрутизатора необхідний граф мережі, ребра якого навантажені значеннями метрик. При цьому з знайденого шляху в таблиці маршрутизації запам'ятовується тільки наступний транзитний вузол (IP-адреса найближчого маршрутизатора), а інші проміжні вузли відкидаються - так вимагає розподілений принцип просування пакетів, прийнятий в мережах IP, відповідно до якого кожен маршрутизатор приймає рішення тільки про одне кроці маршруту.

Для вирішення завдання TE в протоколи OSPF і IS-IS включені нові типи оголошень для поширення по мережі інформації про номінальну і незарезервованних (доступною для потоків TE) пропускної здатності кожного зв'язку. Таким чином, ребра результуючого графа мережі, що створюється в топологічній базі кожного маршрутизатора, будуть марковані цими двома додатковими параметрами.

4.3.5. Практичне застосування MPLS

В цілому практичні успіхи MPLS сьогодні можна порівняти з становищем ATM на початку 90-х. Основні стандарти прийняті, провідні виробники їх підтримують, обладнання випускається і навіть забезпечується його сумісність з основних режимів роботи. Але серйозних впроваджень поки немає, більшість потенційних споживачів - операторів телекомунікаційних мереж - вичікують або з'ясовують можливості нової технології, застосовуючи її в експериментальних зонах мережі. У той же час досить широке застосування MPLS може початися вже в найближчі кілька років.

MPLS підтримується сьогодні в пристроях *Cisco, Juniper, Lucent, Nortel, Siemens* і ряду інших великих виробників обладнання операторського класу. Сумісність цих магістральних пристроїв перевірена, звичайно, не на 100% і не для всіх поєднань виробників, але цього не можна сказати і про пристрої ATM, незважаючи на набагато більш високу ступінь зрілості даної технології, на місце якої MPLS претендує. Зокрема, прискорити вирішення проблеми впровадження MPLS в мережах операторів і сумісності обладнання повинен *MPLS Forum*, створений на початку 2000 р і нараховує вже понад 80 членів.

Що ж стосується основи сумісності стандартів, то кілька базових специфікацій MPLS (архітектура, протокол сигналізації LDP, деталі взаємодії з ATM і frame relay і ще ряд специфікацій) почали просування по треку стандартів Internet, отримавши початковий статус *Proposed Standard*. На жаль, ряд досить важливих компонентів технології MPLS поки описані як робочі документи IETF, тобто як *Internet Drafts*.

Розширюється і сфера застосування MPLS. Крім первісної мети - підвищення якості магістралей мереж операторів, MPLS почала поширюватися і на мережі доступу. Ряд компаній став виробляти інтегровані пристрої доступу (*Integrated Access Device, IAD*) і концентратори доступу з підтримкою MPLS. Організацією MPLS Forum розробляється (і нещодавно було повідомлено про значний прогрес в цій області) інтерфейс User-Network Interface (UNI) для спрощеного доступу пристроїв користувача до мережі оператора по протоколу

MPLS. MPLS Forum завершив роботу по створенню угоди по передачі голосу через мережі MPLS.

В даний час існують два основних способи створення магістральних IP-мереж: за допомогою IP-маршрутизаторів, з'єднаних каналами «точка-точка», або на базі транспортної мережі АТМ, поверх якої працюють IP-маршрутизатори. Застосування MPLS виявляється вигідним в обох випадках. У магістральній мережі АТМ воно дає можливість одночасно надавати клієнтам як стандартні сервіси АТМ, так і широкий спектр послуг IP-мереж разом з додатковими послугами. Такий підхід суттєво розширює пакет послуг провайдера, помітно підвищуючи його конкурентоспроможність. ТанDEM IP і АТМ, з'єднаних за допомогою MPLS, сприяє ще більшому поширенню цих технологій і створює основу для побудови великомасштабних мереж з інтеграцією сервісів [4].

Багато великих компаній, такі як Cisco Systems, Nortel Networks і Ascend (підрозділ Lucent), вже зараз пропонують рішення на базі MPLS, а постачальники послуг на зразок AT & T, Hongkong Telecom, vBNS і Swisscom оголосили про початок експлуатації мереж MPLS.

4.3.6. Переваги технології MPLS

- Відділення вибору маршруту від аналізу IP-адреси (дає можливість надавати широкий спектр додаткових сервісів при збереженні масштабованості мережі)
- Прискорена комутація (скорочує час пошуку в таблицях)
- Гнучка підтримка QoS, інтегрованих сервісів і віртуальних приватних мереж
- Ефективне використання явного маршруту
- Збереження інвестицій у встановлений АТМ-обладнання
- Поділ функціональності між ядром і граничної областю мережі

4.3.7. Generalized Multiprotocol Lambda Switching

Одночасно з підкоренням світу IP концепція MPS спустилася по рівням моделі OSI до рівня фотонів і оптичного транспорту. Сьогодні розробляється новий стандарт - багатопрокольна лямбда-комутація (Multi-protocol Lambda Switching, MPIS - трохи дивна аббревіатура, придумана для того, щоб уникнути плутанини з «класичною» технологією MPLS). Шляхи MPLS організуються на рівні довжин хвиль (лямбда-рівень), так що процедури MPLS отримують можливість управляти процесом взаємодії оптичних пристроїв. Це дасть можливість мережевим адміністраторам операторів зв'язку і провайдерів телекомунікаційних послуг створювати шляху для оптичних пакетів на рівні щільного мультиплексування по довжині хвилі (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM), з використанням команд електричного рівня. Головна відмінність між MPLS і MPIS полягає в ступені деталізації - якщо MPIS управляє лямбда, то MPLS потоками пакетів, які передаються за допомогою цих лямбда.

Застосовані разом, обидва стандарти дозволяють пристроям IP (маршрутизаторів, комутаторів) динамічно запитувати пропускну здатність у рівня оптичного транспорту за допомогою наявних засобів шару управління. Для реалізації цієї властивості MPIS виконує багато різних функцій, включаючи підтримку оголошень (сигналізацію) про необхідної пропускну спроможності і організацію оптичного шляху через мережу, для чого необхідно знати про характеристики мережеских каналів даної мережі, зокрема про їх ємності.

Домінуюче становище SDH / SONET в сьогоднішньому оптичному світі послужило причиною того, що технологія MPIS, спочатку, що призначалася для лямбда-комутації та обладнання DWDM, була поширена на обладнання мультиплексування з поділом часу (*Time Division Multiplexing, TDM*) і SDH / SONET. Новий, більш широкий стандарт отримав назву узагальненої багатопрокольної лямбда-комутації (*Generalized Multiprotocol Lambda Switching, GMPLS*). Сфера його дії включає мультиплексори з поділом за часом, мультиплексори введення / виведення SONET / SDH, оптичні крос-конектори і

маршрутизатори довжин хвиль. Це означає, що стандарт *GMPLS* застосуємо до пристроїв, які приймають рішення на основі тимчасових інтервалів (time slots), портів або індивідуальних довжин хвиль. Основна ідея полягає в тому, щоб забезпечити наскрізну інтелектуальність - від одного кордону мережі оператора через її ядро до іншої кордону - на основі уніфікованих засобів сигналізації, що має полегшити управління мережею. При цьому ті ж самі протоколи, які створюють шлях на другому або третьому рівнях, використовуються для створення фізичного шляху на першому рівні.

Класична технологія MPLS використовує мітки, які фізично додаються до пакетів, GMPLS абстрагує цю концепцію шляхом введення нових типів міток для різних оптичних елементів, таких, як волокна, лямбда, групи лямбда, віртуальні контейнери *SONET / SDH* і т. Д. Ці елементи представляються в керуючій площині протоколів мережі 32-бітовими числами (мітками), які оптичні комутатори / маршрутизатори використовують для встановлення з'єднань або маркованих оптичних шляхів (зазвичай двонапрямлених) [3].

Стандарт GMPLS дозволяє змінювати процес комутації міток для того, щоб врахувати відмінності в способах призначення міток, поширення повідомлень про помилки і взаємодії з вхідними та вихідними пристроями. Простіше кажучи, GMPLS - це уніфікована парадигма для пакетних, оптичних мереж та мереж з комутацією каналів, відповідно до якої протоколи сигналізації MPLS використовуються для управління оптичними шляхами, т. Е. Вхідними та вихідними маршрутами, за якими потік перетинає мережу.

Накладена і однорангова моделі

Оптична мережа наступного покоління з динамічним виділенням пропускної спроможності може бути побудована одним з основних способів, як накладена (overlay) або однорангова (peer). Технологія GMPLS використовує обидва способи. Накладену і однорангову моделі можна розглядати як два різних підходи до вирішення питання про те, яке саме мережеве обладнання відповідає за прийняття рішення про виділення пропускної здатності і

управлінні нею.

Накладена модель приховує деталі нижележащей магістральної мережі за рахунок створення двох керуючих площин, які взаємодіють досить слабо. Протоколи одній площині керують ядром оптичної мережі, протоколи інший - оточуючими ядро прикордонними пристроями за допомогою інтерфейсу «користувач-мережа» (User-to-Network Interface, UNI). Прикордонні пристрої або вимагають світлові шляхи за допомогою динамічної сигналізації через ядро, або конфігуруються статично. Абстрагуючись від топології ядра, накладена модель може встановити адміністративні межі відповідальності між ядром мережі і решті її частиною.

Даний підхід, яким виробники оптичного мережевого обладнання зазвичай віддають перевагу, вимагає повнозв'язних з'єднань «точка-точка» між прикордонними пристроями, як для передачі даних, так і для оголошень протоколів маршрутизації. Це породжує інтенсивний трафік службових повідомлень, що, в свою чергу, призводить до поганої масштабованості накладеної моделі і обмежує кількість застосовуваних прикордонних пристроїв. Але на цю модель орієнтується широкий діапазон прикордонних пристроїв, крім того, більшість оглядачів погоджуються з тим, що накладену модель легше реалізувати, ніж однорангову.

Тимчасова модель використовує єдину площину управління, що включає домен адміністрування, куди входять як ядро оптичної мережі, так і оточуючі його прикордонні пристрої. В цьому випадку прикордонні пристрої бачать топологію ядра. Модель більш масштабуєма, ніж попередня, так як пористі з'єднання «точка-точка» між прикордонними пристроями хоча і використовуються як і раніше, але тільки для передачі призначених для користувача даних. Інформація протоколів маршрутизації передається прикордонним пристроєм тільки «материнському» фотонному комутатору, до якого цей пристрій приєднано, а не всім іншим прикордонним пристроїв. Так як більшість операторів хотіли б застосовувати обидва підходи в залежності від ситуації, зокрема від конкретної топології мережі і підтримуваних сервісів, то, швидше за все, найбільш популярною буде гібридна модель [4].

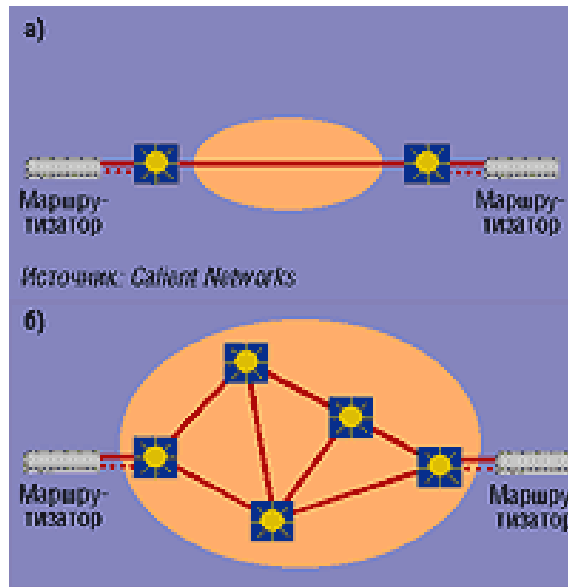


Рис. 4.25. Загальна схема мережі GMPLS відповідно до:

а) накладеної;

б) тимчасової моделі - погляд з мережевого рівня

В цьому випадку одні прикордонні пристрої зможуть працювати як рівноправні партнери з ядром мережі, розділяючи з ним спільну площину управління. Одночасно, управління іншими може здійснюватися відповідно до накладеної моделлю зі своєю площиною управління, при цьому вони будуть взаємодіяти з ядром за допомогою інтерфейсу «користувач-мережа». Необхідно відзначити, що функціональність тимчасової моделі включає функціональність накладеної моделі, тому один набір протоколів площині управління може підтримувати обидві моделі. Таким чином, оператор може вибрати однорангову модель і працювати по будь-якій схемі, в залежності від вимог бізнесу (див. Рисунок 4.25).

4.3.8. Переваги технології GMPLS

Велика ступінь контролю над пропускнуною спроможністю, гнучкість її розподілу, простота управління, висока пропускна здатність, велика ступінь передбачуваності, підтримка QoS і угод про рівень сервісу (*Service Level Agreement, SLA*), що робить формування сервісу справою швидким і оперативним.

Можна збільшувати або зменшувати необхідну пропускну здатність у міру необхідності, в залежності від вимог додатків кінцевих користувачів, одночасно резервуючи мережеві ресурси.

Спочатку сфера застосування GMPLS швидше за все буде обмежуватися кордонами ядра мережі, але в міру дозрівання технології вона розшириться, включивши кінцеві точки, де потрібна надвисока пропускну здатність. Як приклад застосування GMPLS можна привести додаток звичайної мережі IP супермагістраль на вимогу. Поєднання оптичної комутації / маршрутизації з технологією SDH / SONET уможливить за лічені мілісекунди створювати між будь-якими кінцевими точками шляху з надзвичайно високою пропускну спроможністю.

Забезпечення QoS буде дуже простою справою, оскільки пропускну спроможність в разі реалізації GMPLS гарантується. «Технологія DiffServ (як приклад механізму підтримки QoS) не може бути застосована для світлових або TDM-шляхів. DiffServ обробляє кожен пакет окремо. Обробляти кожен фотон або часовий інтервал (як в технології TDM) окремо від інших фізично неможливо.

GMPLS дозволить провайдерам «підлаштовувати» топологію мережі у відповідь на зміни картини трафіку, так що маршрутизатори або інші пристрої, яким потрібно взаємодіяти, будуть з'єднуватися різними способами.

Іншою перевагою можна назвати зменшення числа рівнів мережі. Багато мережі сьогодні будуються відповідно до чотирирівневої моделлю: DWDM, SONET / SDH, ATM і IP (якщо йти від нульового рівня до третього). Передбачається, що GMPLS дозволить IP функціонувати безпосередньо по DWDM, виключаючи SONET / SDH і ATM - два найбільш дорогих і погано масштабованих рівня. В цьому випадку забезпечувати підтримку QoS в стилі ATM і конструювання трафіка буде технологія MPLS - за допомогою маршрутизації з урахуванням обмежень (Constraint-Based Routing). Ця ж методика маршрутизації повинна полегшити швидка зміна шляху (сильна сторона SONET / SDH) для захисту трафіку і відновлення мережі після відмов (Рисунок 4.26).

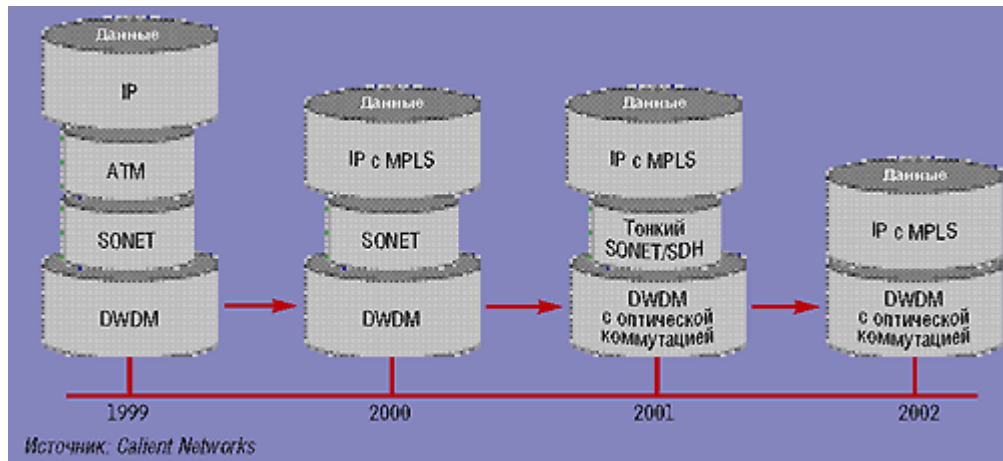


Рис. 4.26. Скорочення числа рівнів в оптичній мережі майбутнього

Міграція цих властивостей в загальну площину управління буде поступовою, особливо щодо функцій SONET / SDH. Оптичне відновлення трафіку (в разі розриву передавального шляху) першим перейде під контроль MPLS, в той час як залишився більш тонкий шар SONET / SDH буде відповідати за кадрювання інформації, управління мережею і моніторинг продуктивності. «SONET / SDH почне мігрувати у напрямку до сервісного інтерфейсу, який буде збирати трафік і упаковувати його в надшвидкісні потоки. Однак реальна комутація та конструювання трафіка будуть виконуватися на рівні довжин хвиль. Коли-небудь SDH / SONET зійде зі сцени, і моніторинг продуктивності, виявлення помилок, ізоляція збоїв і відмов і відновлення будуть справою GMPLS.

Перспективи GMPLS

Еволюційний перехід до GMPLS буде, ймовірно, відбуватиметься повільно і в кілька етапів. Головне питання - якою мірою DWDM, GMPLS і оптичної комутації вдасться замінити SONET / SDH. Всі суперечки в кінцевому підсумку зводяться до того, наскільки оператори зв'язку готові довірити функції SONET / SDH рівня оптичного транспорту. Перевірка практикою цієї концепції буде, швидше за все, відбуватиметься повільно, але неухильно.

Спочатку існуюча інфраструктура SDH / SONET буде продовжувати

використовувати одну або кілька довжин хвиль оптичного діапазону, а що залишилися довжини хвиль будуть застосовуватися в нових оптичних мережах. У короткостроковій перспективі прозора оптична комутаційна інфраструктура фотонних комутаторів буде оточена електронними лінійними картами і інтерфейсами, що встановлюються в систему в залежності від потреби. У міру зростання можливостей фотонних комутаторів і придбання операторами зв'язку досвіду роботи з керованими на оптичному рівні мережами, використання електронних карт буде зменшуватися і може бути зовсім виключено. З цього моменту SDH / SONET стане сервісним інтерфейсом для фотонної мережі. Для досягнення цього необхідно домогтися прогресу в таких областях, як перетворення довжин хвиль, повністю оптична регенерація і моніторинг оптичної продуктивності, а також в частині підвищення ефективності резервування пропускної здатності при надзвичайному перемиканні.

Формування шляху GMPLS далеко від стану, яке можна було б назвати дружнім для адміністратора. Покращення потрібні для спрощення наступних операцій:

- організації шляху MPLS в мережі IP за допомогою доступу за допомогою інтерфейсу командного рядка до двох маршрутизаторів (по одному в кожній кінцевій точці шляху);
- визначення та управління політикою відображення пакетів на шляху MPLS;
- ефективного управління простором міток MPLS;
- специфічного підтримки QoS за допомогою MPLS, щоб провайдери могли пропонувати і підтримувати угоди про рівень сервісу (Service Level Agreement, SLA).

Ці проблеми з'явилися ще в MPLS, але вони залишаються і в GMPLS.

Важко оцінити обсяг робіт, що проводяться зараз в цій області, але ясно, що технологія GMPLS буде набагато менш привабливою без розвинених функцій формування послуг. Напевно оператори телекомунікації та оптові провайдери не проявлять значного інтересу до нової технології, поки вона не дасть їм спосіб заробляння грошей (а не просто засіб скорочення

експлуатаційних витрат). Проте, послідовники GMPLS скоро з'являться, ними стануть насамперед ті оператори, у яких є власні транспортні мережі, оптичні волокна і вертикальні послуги, включаючи послуги IP і додатків; традиційні оператори швидше за все не будуть поспішати з впровадженням, враховуючи регламентують їх діяльність обмежувальні інструкції.

Відсутність будь-якого способу отримання прибутку з GMPLS - ймовірно, єдиний серйозний бар'єр на шляху його широкого застосування. Стандарти і сумісність безглузді, якщо немає можливості продати достатню кількість послуг для повернення інвестицій. Оператори будуть тільки приймати цю технологію до відома до тих пір поки вони не зможуть отримувати прибуток за допомогою послуг передачі даних і інформаційних сервісів, що займе ще два або три роки.

Очікування може бути довгим, але воно варте того. Від адміністраторів корпоративних мереж не буде потрібно ніяких додаткових зусиль для того, щоб почати користуватися перевагами GMPLS, так як ця технологія буде повністю прозора для кінцевих користувачів, а всі труднощі ляжуть на плечі провайдера. Це може дещо ускладнити оцінку послуг GMPLS, коли вони з'являться, але якість даного сервісу визначається його можливістю підтримувати майже миттєве формування каналу і забезпечувати додавання або зменшення пропускної здатності, так що користувач платить тільки за те, в чому він дійсно потребує. При цьому він отримує можливість одночасно управляти параметрами QoS в рамках відповідної угоди про рівень сервісу.

Контрольні питання до розділу

1. Технологія MPLS та задачі, які вона виконує.
2. Який принцип комутації покладений в основу технології MPLS?
3. Дайте визначення мітки в технології MPLS.
4. Які способи маркування існують в технології MPLS?
5. Який стек міток використовується в MPLS?
6. Яким чином відбувається прив'язка і розподіл міток?
7. Яким чином будується комутований маршрут в технології MPLS?

8. MPLS Traffic Engineering.
9. Наведіть приклади практичного застосування MPLS.
10. Наведіть переваги технології MPLS.
11. В чому полягає відмінність накладеної і однорангової моделі.
12. В чому полягає відмінність багатопротокольної лямбда-комутації (Multi-protocol Lambda Switching, MPLS) від «класичної» технології MPLS?
13. Узагальнена багатопротокольна лямбда-комутація (*Generalized Multiprotocol Lambda Switching, GMPLS*).
14. Переваги технології GMPLS.
15. Перспективи GMPLS.
16. Які покращення потрібні для формування шляху GMPLS?

Список рекомендованої літератури

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — [ISBN 978-5-49807-389-7](#).
2. Битнер В.И. Мультисервисные сети связи. Лекции по дисциплине. М.: 2009. — 1267 с.
3. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. Мультисервисные сети: Учебное пособие / Сост. Субботин Е.А., Лапина Н.Ф. — Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2004. — 114 с.
4. Системы и сети передачи информации: Учеб. пособие для вузов / М.В.Гаранин, В.И.Журавлев, С.В.Кунегин. - М.: Радио и связь, 2001.-336 с.: ил.

4.4. МЕРЕЖА ЩІЛЬНОГО ХВИЛЬОВОГО МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ (DWDM)

4.4.1. Введення в технологію WDM

Технологія спектрального мультиплексування (WDM) це спосіб транспортування по одній фізичній оптоволокну декількох каналів передачі даних, шляхом рознесення довжин хвиль (квітів), заснований на здатності оптичного волокна одночасно передавати світло різних довжин хвиль (квітів) без взаємного впливу. Кожна довжина хвилі представляє окремих оптичний канал. За допомогою мультиплексування в єдиному світловому потоці, що пересилається через оптичне волокно, можна об'єднати від чотирьох до 80 і більше інформаційних каналів з різною довжиною хвилі. Дана технологія призначена для передачі даних, що надходять в єдину транспортну магістраль від різних джерел на різній швидкості та з використанням різних протоколів (*Fibre Channel, Ethernet* або *ATM*) [1]. В наш час отримали розповсюдження наступні технології спектрального мультиплексування [2]:

- 2-канальний WDM;
- грубе спектральне мультиплексування (CWDM);
- щільне спектральне ущільнення (DWDM);
- надщільне спектральне ущільнення (HDWDM).

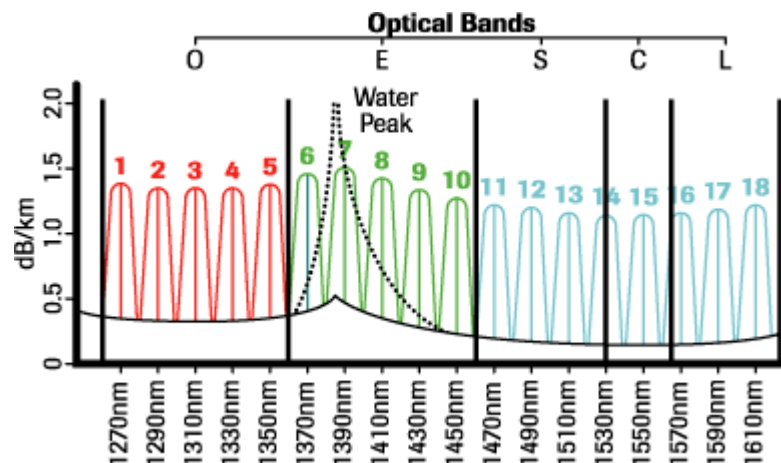


Рис. 4. 27. Залежність втрат в типовому одномодовому оптоволокну

На рис. 4.27 схематично зображено залежність втрат в типовому одномодовому оптоволоконі в діапазоні, відповідному його «вікна прозорості», від довжини хвилі переданого оптичного сигналу. Там же для наочності позначені назви діапазонів відповідно до рекомендації міжнародного телекомунікаційного союзу (ITU) ITU-T G.692, а також довжини хвиль, що застосовуються в CWDM. Нижче наведені розшифровки назв оптичних діапазонів [3]:

- *O* - первинний діапазон (*Original*, 1260-1360 нм);
- *E* - розширений діапазон (*Extended*, 1360-1460 нм);
- *S* - короткохвильовий діапазон (*short wavelength*, 1460-1530 нм);
- *C* - стандартний діапазон (*Conventional*, 1530-1570);
- *L* - довгохвильовий діапазон (*Long wavelength*, 1570-1625 нм).

Двоканальний WDM (двонаправлений, *bi-di WDM*) є в даний час найбільш поширеним рішенням зі світу технологій WDM. При його використанні в одному волоконі комбінуються довжини хвиль 1310 нм і 1550 нм, дозволяючи при відносно скромних витратах отримати подвоєння ємності оптичної інфраструктури. Принцип роботи двоканального WDM можна зрозуміти з рисунка 4.28 [3].

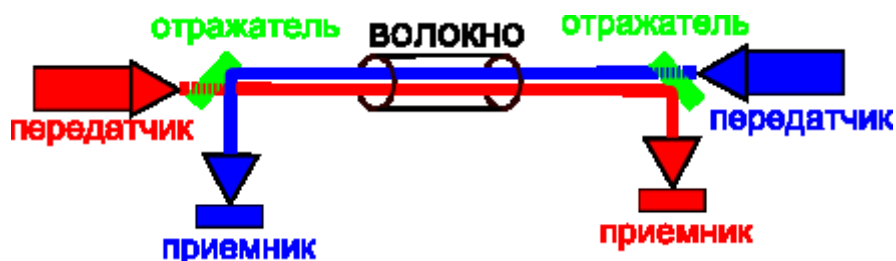


Рис. 4.28. Принцип роботи двоканального WDM

Грубе спектральне мультиплексування - CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) - є технологією спектрального ущільнення, що базується на використанні оптичних каналів, що лежать в діапазоні від 1270 до 1610 нм і

віддалених один від одного на відстані 20 нм, як специфіковане рекомендацією ІТУ з ідентифікатором ІТУ-Т G-694.2.

Спочатку використовувався тільки діапазон хвиль 1470 - 1610 нм (8 довжин хвиль), а область 1260 - 1360 не використовувалася за збільшення загасання на довжинах менше 1310 нм (збільшується коефіцієнт розсіювання Релея).

Для компенсації ефекту поглинання на довжині хвилі 1383 нм стали застосовувати спеціальні волокна з нульовим «водяним піком» (ZWPF, LWPF). Якщо система використовує весь діапазон хвиль 1270 - 1610 нм, то її називають FS-CWDM-системою (Full-spectrum CWDM).

Щільне спектральний мультиплексування - DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) - технологія для об'єднання ще набагато більшого числа довжин хвиль, ніж це передбачено попередньою технологією. Більшість провідних виробників пропонують DWDM-обладнання, що дозволяє мультиплексувати в С-діпазоні (1530-1565 нм) до 40 оптичних каналів при ширині одного каналу 100 ГГц або до 80 оптичних каналів при його ширині 50 ГГц. В цьому випадку максимальна ємність одного оптичного каналу становить 10 Гбіт / с (рівень STM-64). У діапазоні L (1570-1605 нм) максимальне число оптичних каналів може досягати 160 при ширині каналу 50 ГГц. У цій же смузі працюють леговані ербієм підсилювачі оптичного сигналу (EDFA).

Надщільне спектральне ущільнення - HDWDM (High Dense Wavelength Division Multiplexing) - перспективна технологія спектрального ущільнення, що дозволяє підняти кількість ущільнюються каналів ще в 2 - 4 рази, по відношенню до DWDM. На даний момент ще не набула поширення.

В таблиці 4.4 показані данні по технологіям спектрального ущільнення [3].

До середини 90-х рр років ХХ століття для мультиплексування використовувалася дискретна оптика (призми), з їх допомогою не вдавалося домогтися кроку каналів менше 20 нм, і втрат менше 2 - 4 дБ. Однак це вже дозволяло використовувати близько чотирьох каналів у вікні прозорості оптичних волокон того часу. Пізніше відбувся перехід до інтегральним оптичним технологіям і, крім того, вдалося істотно поліпшити якість

виготовлення елементів традиційної дискретної оптики, що забезпечило значне поширення технологій спектрального ущільнення аж до теперішнього часу.

Таблиця 4.4. *Різновиди технологій WDM*

	CWDM (грубеє СУ)	DWDM (щільне СУ)	HDWDM (снадщільне СУ)
Шаг каналів	20 нм	1,6 нм	0,4 нм
Діапазони, що використовуються	O, E, S, C, L	S, C, L	C, L
Число каналів	до 18	десятки/сотні	десятки
Відносна вартість	низька	висока	висока

У загальному випадку схема застосування технологій WDM може бути представлена так, як вказано на рис.4.29.

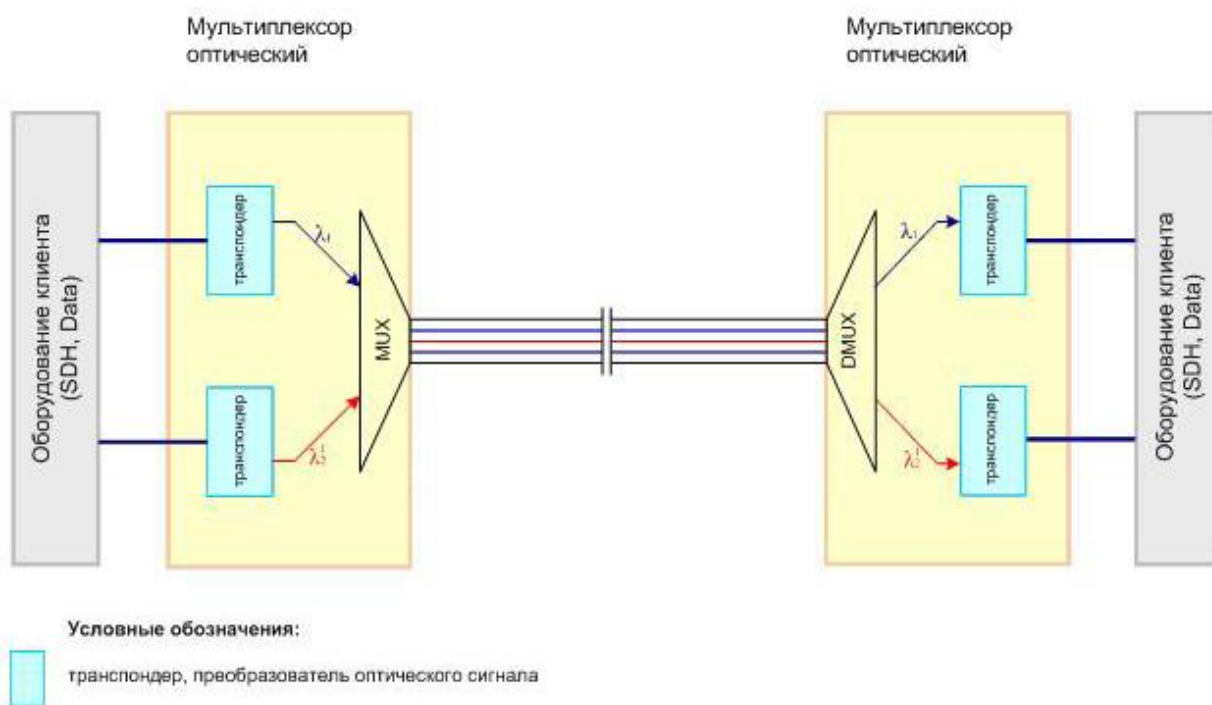


Рис 4.29. Схема застосування технологій WDM

Типовий склад устаткування являє собою необхідну кількість оптичних транспондерів, які здійснюють перетворення довжин хвиль і оптичний мультиплексор, що змішує їх все в один мультиспектральний сигнал [2].

Оптичний транспондер - пристрій, що забезпечує інтерфейс між обладнанням кінцевого доступу і лінією WDM. Згідно з рекомендаціями МСЕ

G.957 для систем СЦІ (SDH) допустимі значення спектральних параметрів на вихідних оптичних інтерфейсів мають таке значення: ширина спектральної лінії $\Delta\lambda \approx \pm 0.5$ нм (для STM -16), а центральна довжина хвилі може мати будь-яке значення в межах діапазону 1 530 ... 1565 нм. На входи же оптичного мультиплексора повинні надходити оптичні сигнали, спектральні параметри яких, повинні строго відповідати стандартам, певним рекомендацією ІТУ-T G.692. Очевидно, що якщо на оптичні входи мультиплексорів подати сигнали з виходів оптичних передавачів SDH, то мультиплексування здійснено не буде. Необхідна відповідність досягається завдяки застосуванню в апаратурі WDM спеціального перетворювача довжин хвиль - транспондера. Це пристрій може мати різну кількість оптичних входів і виходів. Але якщо на будь-який вхід транспондера може бути поданий оптичний сигнал, параметри якого визначені рекомендації G.957, то вихідні його сигнали повинні за параметрами відповідати рекомендації G.692. При цьому, якщо ущільнюється m оптичних сигналів, то на виході транспондера довжина хвилі кожного каналу повинна відповідати тільки одному з них відповідно до сіткою частотного плану ІТУ.

Оптичний (де) мультиплексор CWDM. Основою мультиплексора / демультиплексора є дисперсійний елемент, здатний розділити сигнали різних довжин хвиль. В сучасних CWDM-системах для розділення оптичних несучих застосовуються, як правило, відносно недорогі пристрої на основі тонкоплівкових фільтрів (TFF, Thin Film Filter). Втрати, що вносяться такими пристроями, складають близько 1 дБ на канал (в реальних системах були отримані величини менше 2,5 дБ для 8 - каналного пристрої). Тонкоплівкова технологія характеризується високою розв'язкою (ізоляцією) сусідніх каналів - близько 30 дБ, високою температурною стабільністю - 0,002 нм / °С, що еквівалентно зміни робочої довжини хвилі на $\pm 0,07$ нм при зміні температури на ± 35 °С. Для виділення довжин хвиль з розносом 20 нм потрібні фільтри з істотно меншим числом діелектричних шарів, ніж в разі DWDM-фільтрів (приблизно 50 і 150 шарів відповідно), що позитивно позначається на вартості.

Мультиплектори/демультиплектори, засновані на застосуванні багатошарових тонкоплівкових фільтрів, є (де) мультиплекторами послідовного типу, тобто один фільтр виділяє один канал. Використання таких пристроїв в системах зі великим числом каналів (на практиці більше 4-х) може привести до значного зростання внесених втрат, і в цьому випадку іноді використовують ґраткових (де) мультиплектори паралельного або гібридного паралельно-послідовного типу. Принцип їх роботи полягає в тому, що приходить сигнал проходить через хвилевід-пластину і розподіляється по безлічі хвилеводів, фактично представляють собою дифракційну структуру AWG (arrayed waveguide grating). При цьому в кожному волноводі як і раніше присутні всі довжини хвиль, тобто сигнал залишається мультиплексний, тільки розпаралеленого. Так як довжини хвилеводів відрізняються один від одного на фіксовану величину, потоки проходять різний по довжині шлях. В результаті світлові потоки збираються в волноводі-пластині, де відбувається їх фокусування, і створюються просторово рознесені максимуми, під які і розраховуються вихідні полюса. Фізика процесу така ж, як у звичайній дифракційній решітці, що і дало назву технології. Мультиплексування відбувається зворотним шляхом.

Оптичне мультиплексування з поділом по довжинах хвиль МРДВ (WDM) - порівняно нова технологія оптичного (або спектрального) ущільнення, яка була розроблена в 1970-1980 роках. В даний час WDM грає для оптичних синхронних систем ту ж роль, що і мультиплексування з частотним поділом МЧР (FDM) для аналогових систем передачі даних. З цієї причини системи з WDM часто називають системами оптичного мультиплексування з частотним поділом ОМЧР (OFDM). Однак по суті своїй ці технології (FDM і OFDM) істотно відрізняються один від одного. Їх відмінність полягає не тільки у використанні оптичного (OFDM) або електричного (FDM) сигналу. При FDM використовується механізм АМ модуляції з однією бічною смугою (ОЧП) та обраної системою піднесуть, модулюючий сигнал яких однаковий за структурою, так як представлений набором стандартних каналів ТЧ. При OFDM

механізм модуляції, необхідний в FDM для зсуву несучих, взагалі не використовується, що несуть генеруються окремими джерелами (лазерами), сигнали яких просто об'єднуються мультиплексором в єдиний багаточастотний сигнал. Кожна його складова (несуча) принципово може передавати потік цифрових сигналів, сформований за законами різних синхронних технологій. Наприклад, одна несуча формально може передавати АТМ трафік, інша SDH, третя PDH і т.д. Для цього несучі модулюються цифровим сигналом відповідно до переданих трафіком.

4.4.2. Модель взаємодії WDM з транспортними технологіями

Формально для систем WDM байдуже, які методи кодування і формування конкретного цифрового сигналу використовувалися. Хоча, як правило, в цих системах і передається однотипний трафік, це диктується використовуваними методами синхронізації і одноманітністю процесу обробки. На відміну від систем SDH транспортується сигнал не пакувати в контейнери і не піддається обробці відповідно до структури мультиплексування SDH для формування транспортного модуля STM-N, який тільки і може бути переданий через фізичний рівень в канал зв'язку (середовище передачі) [4].

Якщо спрощено уявити багаторівневу модель взаємодії основних технологій SDH / SONET, АТМ, ІР (без урахування можливості перенесення ІР через АТМ), які здійснюють транспортування сигналу в глобальних цифрових мережах, і WDM, то до появи останньої вона мала вигляд, представлений на рис. 4.30-1а. Модель складалася з трьох рівнів і оптичного середовища передачі і показувала, що для транспортування трафіку верхнього рівня (АТМ і ІР) по оптичному середовищі передачі він повинен бути розміщений (інкапсулюваний) в транспортні модулі STM-N / OC-n технологій SDH / SONET, здатні, використовуючи фізичний інтерфейс цих технологій, пройти через фізичний рівень в оптичне середовище передачі. Звідси була зрозуміла необхідність створення технологій інкапсуляції осередків АТМ, наприклад, в

віртуальні контейнери SDH (ATM over SDH), або пакетів IP у віртуальні триби SONET (IP over SONET). Цим і займалися відповідні підкомітети з стандартизації в таких інститутах, як ANSI, ISO, ITU-T і ETSI, розробляючи стандарти на зазначені технології.

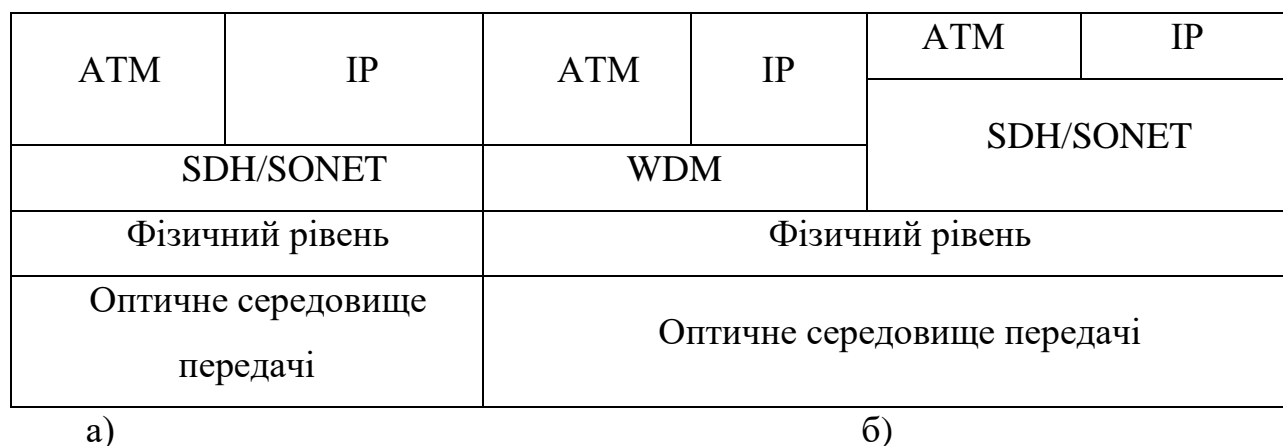


Рис. 4.30. Багаторівнева модель взаємодії основних технологій

Після появи систем WDM модель приймає вигляд, представлений на рис. 4.30-1б. Тепер модель має чотири рівні, не рахуючи оптичного середовища передачі. З'явився проміжний рівень WDM, який, як і SDH / SONET, забезпечує фізичний інтерфейс, що дозволяє через фізичний рівень вийти в оптичне середовище передачі не тільки технології SDH / SONET, а й технологіями ATM і IP [3]. В останньому випадку не потрібно інкапсуляції осередків ATM або пакетів IP в проміжний транспортний модуль технологій SDH / SONET, що не тільки спрощує процедуру обробки і транспортування трафіку, що генерується системами ATM і IP, а й істотно зменшує загальну довжину заголовків (які пристиковуються в міру проходження з верхнього рівня на нижній), підвищуючи відсоток, яку він обіймає інформаційної складової трафіку, в загальній довжині переданого повідомлення, а значить, і ефективність передачі в цілому. Природно, що ATM і IP трафік може бути переданий і за традиційною схемою з використанням SDH / SONET, трафік яких може бути також переданий з допомогою систем WDM, що зберігає спадкоємність старих схем транспортування і збільшує гнучкість композитних систем WDM-SDH / SONET

в цілому.

Блок-схема систем с WDM

Основна схема системи с WDM (для прикладу взято чотири канали) має вигляд, представлений на рис. 4.31 (показаний один прямий канал).

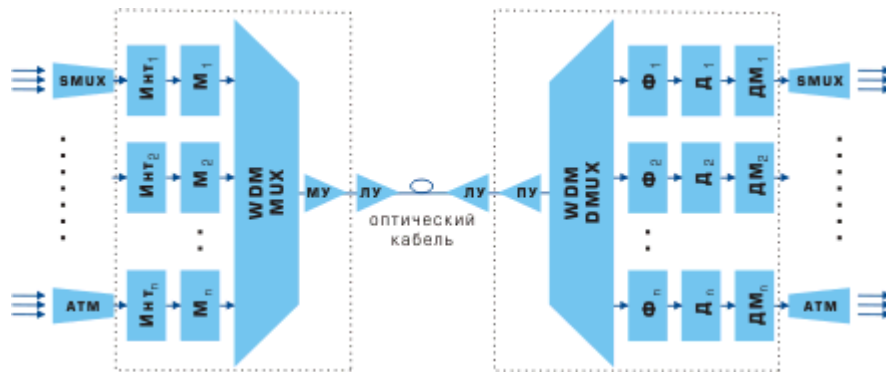


Рис. 4.31. Схема системи с WDM

Тут n вхідних потоків даних (кодованих цифрових імпульсних послідовностей) модулюють (модуляція основною смугою) за допомогою оптичних модуляторів M_i оптичні несучі з довжинами хвиль l_i . Модульовані несучі мультиплексируються (об'єднуються) за допомогою мультиплексора $WDM Mux$ в агрегатний потік, який після посилення (за допомогою бустера або потужного підсилювача - МУ) подається в ОВ. На приймальному кінці потік з виходу ОВ посилюється попереднім підсилювачем - ПУ, демультіплексируються, тобто розділяється на складові потоки - модульовані несучі l_i , які фіксуються за допомогою детекторів D_i (на вході яких можуть додатково використовуватися смугові фільтри Φ_i для зменшення перехідних перешкод і збільшення тим самим завадостійкості детектування), і, нарешті, демодулюються демодуляторами DM_i , що формують на виході вихідні кодовані цифрові імпульсні послідовності. Крім МУ і ПУ в системі можуть бути використані і лінійні підсилювачі - ЛУ (як розглядалося вище) [3].

4.4.3. Вузькополосні і широкосмугові WDM

Хвильовий мультиплексування практично використовується вже більше 10 років і спочатку було направлено на об'єднання двох основних несучих 1310 нм і 1550 нм (2-го і 3-го вікон прозорості) в одному оптоволоконі, що дозволяло подвоїти ємність системи та було виправдано всією історією розвитку ВОЛЗ. Багато стандартні системи SDH пропонують це зараз, як один з варіантів конфігурації. Ряд дослідників називає такі системи широкосмуговими WDM (рознос по довжині хвилі - 240 нм) на противагу вузькосмуговим WDM (рознос в яких був на порядок нижче - 24-12 нм, що давало можливість розмістити в 3 вікні (1550 нм) 4 канали). Такий поділ систем здається на даний момент не зовсім коректним, так як у таких "широкосмугових" WDM спектр не перекривали, а складався з двох ізольованих смуг. З іншого боку, в даний час формується клас дійсно широкосмугових систем WDM, що перекривають в суміжних вікнах прозорості (3-м і 4-м) смугу порядку 84 нм від 1528-1612 нм. Цей клас в майбутньому, можливо, буде перекривати смугу 1280-1620 нм, якщо орієнтуватися на характеристики піонера в цій області WaveStar AllMetro DWDM System компанії Lucent Technologies, що використовує волокно, що усуває пік поглинання в області 5-го вікна (~ 1383 нм).

Канальний (частотний) план

Хоча розраховувати зараз на взаємну сумісність обладнання різних виробників систем WDM не доводиться, необхідно було стандартизувати номінальний ряд несучих - "канальний або частотний план", щоб дати виробникам орієнтир на майбутнє, а також позиціонувати вже існуючі WDM системи. Це завдання в першому наближенні вирішив Сектор стандартизації МСЕ, випустивши стандарт ITU-T Rec. G.692.

4.4.4.Стандартний каналний план і його використання

Спочатку в основу проекту стандарту покладено каналний (частотний) план з рівномірним розташуванням несучих частот каналів з мінімальним розносом (кроком) каналів на 0,1 ТГц, або 100 ГГц. Обрана в плані область частот покриває стандартизований діапазон $D_{ст} = 5,1$ ТГц і практично відповідає діапазону довжин хвиль (від 1528,77 до 1569,59 нм) амплітудно-хвильової характеристики АВХ широко використовуваних ОУ. При виборі постійного кроку $h = 0,1$ ТГц (100 ГГц) в цьому діапазоні можна розмістити максимально 51 канал з несучими, зазначеними в верхньому ряду нижченаведеної таблиці (для перерахунку на довжини хвиль використовується звичайна (уточнена) формула $l = 2.99792458 \cdot 10^{17} / f$ [нм / Гц], при цьому крок за l виходить різним від 0,780 до 0,821 нм, або в середньому 0,8 нм).

При використанні кроку 0,2 ТГц (200 ГГц, або в середньому 1,6 нм) можна отримати похідну таблицю [4].

Таблиця 4.5. Стандартний каналний план при використанні кроку 0,2 ТГц

f ТГц	λ нм
196,1	1528,77
196,0	1529,55
195,9	1530,33
195,8	1531,12
195,7	1531,90
...	...
191,4	1566,31
191,3	1567,13
191,2	1567,95
191,1	1569,59
191,0	1568,77

Аналогічно можна отримати похідні таблиці як при використанні більшого кроку 0,4 ТГц (400 ГГц, або 3,2 нм), 0,6 ТГц (600 ГГц, або 4,8 нм) і 1,0 ТГц (1000 ГГц, або 8,0 нм).

Таблиця 4.6. Стандартний каналний план при використанні кроку 0,4 ТГц

f ТГц	λ нм
196,1	1528,77
195,9	1530,33
195,7	1531,90
195,5	1533,47
195,3	1535,04
...	...
191,9	1562,23
191,7	1563,86
191,5	1565,50
191,3	1567,13
191,1	1568,77

Класифікація WDM на основі каналного плану

Схема розширеного каналного плану дозволяє запропонувати наступну схему класифікації, що враховує сучасні погляди та тенденції виділяти три типи мультиплексорів WDM [4]:

звичайні (грубі) WDM (CDWM) - ГМРДВ, або просто WDM – МРДВ;

щільні WDM (DWDM) – ПМРДВ;

високощільні WDM (HDWDM) – ВПМРДВ.

Хоча до цих пір і немає чітких меж поділу між цими типами, можна запропонувати, слідом за фахівцями компанії Alcatel, деякі кордону, засновані на історичній практиці розробки систем WDM і зазначеному вище стандарті G.692 з його каналним планом, званим також "хвильовим планом" або "частотним планом" в залежності від того, чи використовується хвильова або

частотна шкала каналного плану. Отже, можна називати:

системами WDM - системи з частотним розносом каналів не менше 200 ГГц, що дозволяють мультиплексувати не більше 16 каналів;

системами DWDM - системи з рознесенням каналів не менше 100 ГГц, що дозволяють мультиплексувати не більше 64 каналів;

системами HDWDM - системи з рознесенням каналів 50 ГГц і менше, що дозволяють мультиплексувати не менше 64 каналів.

4.4.5. Схеми реалізації мультиплексорів WDM

Перші мультиплексори класу WDM, як відомо, використовувалися для мультиплексування двох несучих: 1310 нм і 1550 нм, відстань між якими 240 нм було настільки великим, що при реалізації не вимагало спеціальних фільтрів для їх поділу [5]. Подальші зусилля, спрямовані на поліпшення селективності (зменшення розносу каналів) при використанні традиційної дискретної оптики не давали результатів краще, ніж такі:

- рознос каналів - 20-30 нм;
- перехідне загасання між каналами - 20 дБ;
- рівень внесених втрат - 2-4 дБ.

Це дозволило формувати не більше 4 каналів у 2-му вікні прозорості в 1987-90 роках. У 1996-1998 роках відбувся істотний прорив в технології мультиплексування, обумовлений, з одного боку, переходом до інтегральним оптичним технологіям, з іншого - мініатюризацією і поліпшенням якості виготовлення елементів традиційної дискретної оптики.

В даний час використовуються три конкуруючі технології виділення каналів (демультиплексування).

Дві з них на основі інтегральної оптики: одна використовує виділення несучих на основі дифракційної решітки на масиві волноводів - AWG (Arrayed Waveguide Grating) і друга на основі увігнутою дифракційної решітки - CG

(Concave Grating). У третій технології застосовується традиційна мініатюрна (на новому рівні технології) дискретна оптика, яка використовує виділення каналів на основі технології тривимірного оптичного мультиплексування - 3DO (3-D Optics WDM).

В основі першої з них (див. Рис. 4.32) - планарний оптичний багатопортовий розгалужувач в формі таблетки з портом входу l_0 і групою вихідних портів $l_1^0, l_2^0, \dots, l_n^0$, розташованої симетрично щодо l_0 на периферії хвилеводу зліва, і групою внутрішніх вихідних портів $l_1^0, \lambda_2^0, \dots, \lambda_n^0$, розташованої симетрично групі вихідних портів на периферії справа. Внутрішні вихідні порти з'єднані через масив світловодів (грає роль дифракційної решітки, завдяки фіксованій різниці довжин кожного світловода, кратній $\Delta \lambda$) з плоским відображає дзеркалом. Вхідний потік $l_0 = S l_i (i=1, 2, \dots, n)$ подається в оптичний хвилевід і розподіляється по всіх внутрішніх портів, звідки він поширюється по масиву світловодів (з різним фазовим запізненням) до дзеркала, відбивається і подається з боку внутрішніх вихідних портів в той же хвилевід, де відбувається інтерференція вхідний і відбитих хвиль. Зазначене пристрій нагадує, по суті, інтерференційний хвильовий фільтр на дифракційної решітці або багатовимірний варіант MZI. Розміри і форма планарного розгалужувача, решітки світловодів, а також розташування вихідних портів, вибираються так, щоб інтерференційні максимуми освітленості розташовувалися в районі вихідних портів і відповідали групі несучих $l_1^0, l_2^0, \dots, l_n^0$ [6].

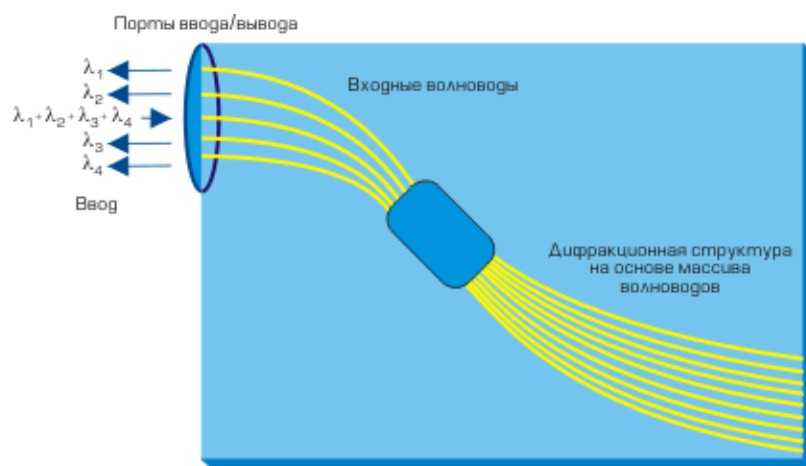


Рис. 4.32. Планарний оптичний багатопортовий розгалужувач



Рис. 4.33. Два планарних хвилевода

Порт входу і вихідні порти можуть бути рознесені, якщо використовувати два планарних хвилеводу (вхідний і вихідний розгалужувачі), як це показано на рис. 4.33.

Третя технологія також використовує класичну схему з плоскими відбивними дифракційної ґратами (1), увігнутим дзеркалом (2) і масивом волокон (3) (див. Рис. 4.34), розміщених в пазах решітки з фіксованим кроком. Схема роботи (в режимі демультиплексор) проста: мультиплексований потік з вхідного волокна (А), розходячись конусом з кутом, (відбивається від дзеркала і падає на дифракційну решітку, яка відображатиме під різними кутами світло різної довжини хвилі. Ці дифраговані промені, відбиваючись від дзеркала, фокусуються в певних точках, де і повинні бути розташовані приймальні порти масиву волокон, що виділяють відповідні несучі. Для прикладу показано виділення одного такого каналу, конус променів якого (з тим же кутом фокусується в точці в (порте в иходного волокна).

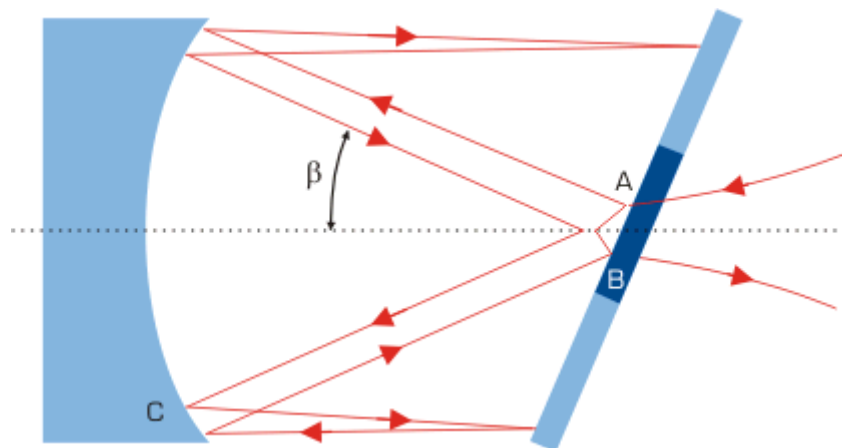


Рис. 4.34. Схема з плоскими відбивними дифракційної ґратами, увігнутим дзеркалом і масивом волокон

Всі елементи конструкції строго фіксовані в скляному блоці, що дозволяє витримати і зберігати високу точність виготовлення (див. Рис. 4.34). Зазначена конструкція може бути використана як з параболічних, так і сферичних дзеркал, має коефіцієнт збільшення, що дорівнює 1. Вони є афокальними (тобто не має фокусу), так що всі вихідні і вхідні в волокна кути однакові. OM волокна укладаються в канавки спеціальної решітки. Конструкція дозволяє використовувати до 131 каналу з кроком 1 нм або до 262 каналів з кроком 0,5 нм [6].

У всіх зазначених рішеннях процедура мультиплексування передбачається зворотного по відношенню до розглянутій процедурі демультимплексування. Параметри мультиплексорів WDM, реалізованих на основі зазначених технологій, зведені в таблицю, наведену нижче [4].

Таблиця 4.7. Порівняння трьох різновидів технологій

Технологія	I/O AWG	I/O CG	3-D Optics WDM
Максимальне число каналів [нм]	32	78	262
Рознос каналів	0,1 – 15	1 – 4	0,4 – 250
Вносимі втрати [дБ]	6 – 8	10 – 16	2 – 6
Перехідні загасання [дБ]	-5 – -29	-7 – -30	-30 – -55
Чутливість до поляризації, %	2	2 – 50	0

З табл. 4.7 видно, що технологія 3-D Optics WDM має перевагу по чотирьом з п'яти параметрів і може бути використана в системах WDM до рівня HDWDM з розносом каналів не менше 0,4 нм.

Контрольні питання до розділу

1. Технологія WDM. Принципи роботи.
2. Щільне спектральне мультиплексування — DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Особливості, переваги, недоліки.
3. Технологія WDM. Принцип роботи. Особливості взаємодії з транспортними технологіями.

4. Наведіть схему системи з *WDM*. Поясніть принцип роботи цієї технології.
5. Наведіть класифікацію *WDM* на основі канального плану.
6. Надщільне спектральне мультиплексування — *HDWDM (High Dense Wavelength Division Multiplexing)*. Особливості, переваги, недоліки.
7. Щільне спектральне мультиплексування — *CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)*. Особливості, переваги, недоліки.
8. Технології виділення каналів, яка використовує виділення несучих на основі дифракційної решітки на масиві волноводов - *AWG (Arrayed Waveguide Grating)*.
9. Технології виділення каналів, яка працює на основі увігнутої дифракційної решітки - *CG (Concave Grating)*.
10. Технології виділення каналів, яка використовує виділення каналів на основі технології тривимірного оптичного мультиплексування - *3DO (3-D Optics WDM)*.
11. В чому полягає багаторівнева модель взаємодії основних мережних технологій.
12. Яким чином визначається Залежність втрат в типовому одномодовому оптоволокну.

Список рекомендованої літератури

1. *Олифер В. Г., Олифер Н. А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — С. 438. — 4500 экз. — [ISBN 978-5-49807-389-7](#).
2. Системы и сети передачи информации: Учеб. пособие для вузов / *М.В.Гаранин, В.И.Журавлев, С.В.Кунегин.*- М.: Радио и связь, 2001.-336 с.: ил.
3. *Субботин Е.А., Лапина Н.Ф.* Мультисервисные сети: Учебное пособие / Сост. *Субботин Е.А., Лапина Н.Ф.* – Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2004. – 114 с.
4. *Однорог П. М., Михайленко Є. В., Котенко М. О. Омецінська О. Б.* Під редакцією *Катка В. Б.* Пасивні оптичні мережі доступу (xPON). – К.:ДУІКТ, 2006. – 65 с.
5. *Коршун Н. В.* Визначення характеристик телекомунікаційної мережі на основі теорії черг / *Наталія Володимірівна Коршун.* // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2013. – №2. – С. 76–79.
6. [Електронний ресурс]. Режим доступу до матеріалу: <http://kunegin.com/ref3/wdm/4.htm>.