

Раздел 3. ЛОКАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

Локальная вычислительная сеть (ЛВС, локальная сеть / Local Area Network, LAN) – компьютерная сеть, обеспечивающая передачу данных на небольшие расстояния (от нескольких десятков метров до нескольких километров) со скоростью, как правило, не менее 1 Мбит/с.

Примеры ЛВС: Ethernet, Token Ring, FDDI.

3.1. Принципы организации ЛВС

3.1.1. Характерные особенности ЛВС

1. *Территориальный охват* – от нескольких десятков метров до нескольких километров.

2. Соединяет обычно *персональные компьютеры* и другое электронное офисное *оборудование*, позволяя пользователям обмениваться информацией и совместно эффективно использовать общие ресурсы, например, принтеры, модемы и устройства для хранения данных.

3. *Интерфейс – последовательный.*

4. *Отсутствует АПД*, так как сигналы передаются в "естественной" цифровой форме.

5. В качестве устройства сопряжения ЭВМ со средой передачи используется достаточно простое устройство – *сетевой адаптер*.

6. *Простые типовые топологии:* "общая шина", "кольцо", "звезда".

7. *Отсутствует маршрутизация* (3-й уровень модели OSI).

8. *Высокая скорость передачи* данных, как правило, более 1 Мбит/с.

9. Сравнительно *небольшие затраты* на построение сети.

Перечисленные особенности обуславливают основные **достоинства** ЛВС, заключающиеся в *простоте сетевого оборудования и организации кабельной системы* и, как следствие, в *простоте эксплуатации* сети.

3.1.2. Состав ЛВС

В общем случае ЛВС включает в себя:

- *множество ЭВМ*, обычно персональных компьютеров (ПК), называемых **рабочими станциями**;

- *сетевые адаптеры*, представляющие собой электронную плату для сопряжения ПК со средствами коммуникации;

- *среда передачи (магистраль)*, представляющую собой совокупность средств коммуникаций (коммуникационная сеть, сеть связи), объединяющая все ПК в единую вычислительную сеть кабельной системой или радиосвязью.

Сетевые адаптеры (СА) (платы, карты) предназначены для сопряжения ПК со средствами коммуникации с учетом принятых в данной сети правилами обмена информацией.

Перечень функций, возлагаемых на СА, зависит от конкретной сети и, в общем случае, может быть разбит на две группы:

1) *магистральные (канальные) функции*, обеспечивающие сопряжение адаптера с ПК и сетевой магистралью;

2) *сетевые функции*, обеспечивающие передачу данных в сети и реализующие принятый в сети протокол обмена.

К магистральным функциям СА относятся:

1) электрическое буферирование сигналов магистрали;

2) распознавание (дешифрация) собственного адреса на магистрали;

3) обработка стробов обмена на магистрали и выработка внутренних управляющих сигналов.

К сетевым функциям СА относятся:

1) *гальваническая развязка* ПК и средств коммуникации (отсутствует в случае оптоволоконной и беспроводной связи);

2) *преобразование уровней сигналов* при передаче и приёме данных;

3) *кодирование сигналов* при передаче и *декодирование* при приёме (отсутствует при использовании кода NRZ);

4) *распознавание своего кадра* при приёме;

5) *преобразование кода*: параллельного в последовательный при передаче и последовательного в параллельный при приёме;

6) *буферирование* передаваемых и принимаемых данных в буферной памяти СА;

7) *проведение арбитража обмена* по сети (контроль состояния сети, разрешение конфликтов и т.д.);

8) *подсчет контрольной суммы кадра* при передаче и приёме.

Первые четыре функции всегда реализуются аппаратно, остальные могут быть реализованы программно, что естественно снижает скорость обмена.

Алгоритм функционирования СА при передаче кадров содержит следующих *этапы* (при приёме – обратная последовательность).

1. *Передача данных*. Данные передаются из ОЗУ ПК в буферную память СА (из буферной памяти СА в ОЗУ ПК при приёме) через программируемый канал ввода/вывода, канал прямого доступа к памяти или разделяемую память.

2. *Буферизация*. Необходима для хранения данных во время обработки в СА и обеспечения согласования между собой скоростей передачи и обработки информации различными компонентами ЛВС.

3. *Формирование кадра (сообщения)*:

- сообщение разделяется на кадры при передаче (кадры объединяются в сообщение при приёме);

- к кадру добавляются (удаляются при приёме) заголовок и концевик.

4. *Доступ к кабелю*. Проверяется возможность передачи кадра в линию связи: для Ethernet проверяется незанятость линии связи, для Token Ring – наличие маркера. При приёме кадра этот этап отсутствует.

5. *Преобразование данных* из параллельной формы в последовательную при передаче и из последовательной формы в параллельную при приеме.

6. *Кодирование/декодирование данных*. Формируются электрические сигналы, используемые для представления данных.

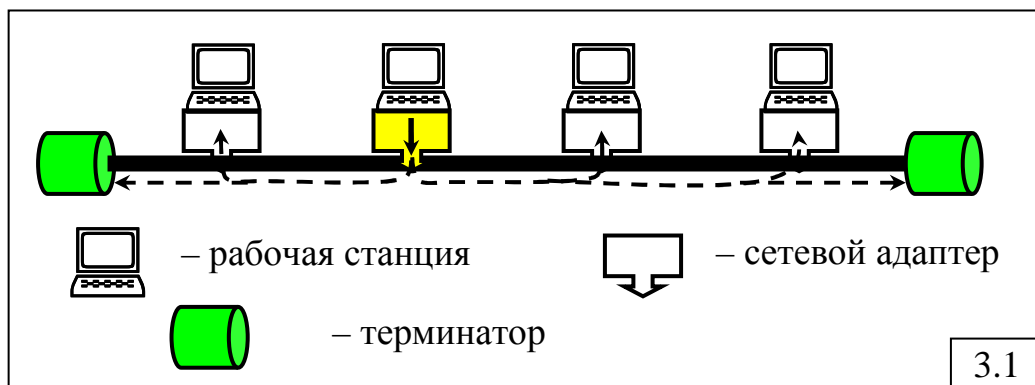
7. *Передача/прием импульсов*. Закодированные электрические импульсы передаются в линию связи (при приеме принимаются из линии связи и направляются на декодирование).

Кроме этих этапов при приеме СА вместе с программным обеспечением ПК *распознают и обрабатывают ошибки*, возникающие из-за электрических помех, конфликтов в сетях со случайным доступом или из-за плохой работы оборудования.

3.1.3. Топологии ЛВС

В ЛВС наиболее широкое распространение получили следующие топологии.

1. **"Шина" (bus)** – представляет собой кабель, именуемый **магистралью** или **сегментом**, к которому подключены все компьютеры сети (рис.3.1).



Кадр, передаваемый от любого компьютера, распространяется по шине в обе стороны и поступает в буферы сетевых адаптеров всех компьютеров сети, как это пунктиром показано на рис.3.1. Но только тот компьютер, которому адресуется данный кадр, сохраняет его в буфере для дальнейшей обработки. Следует иметь в виду, что в каждый момент времени *передачу может вести только один компьютер*.

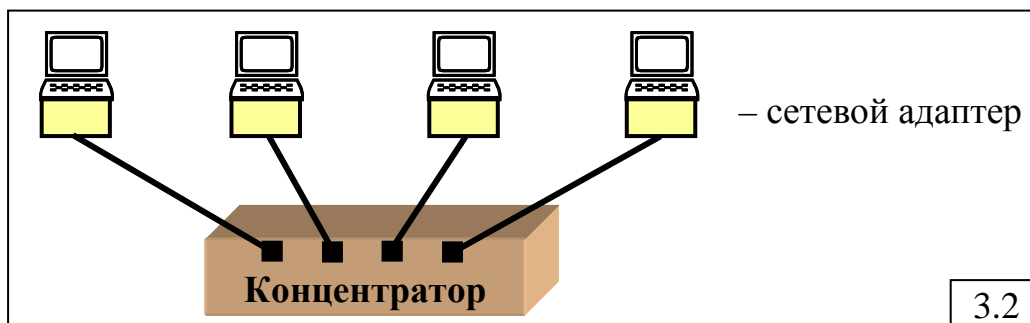
На производительность сети (скорость передачи данных) влияют следующие факторы:

- количество компьютеров в сети и их технические параметры;
- интенсивность (частота) передачи данных;
- типы работающих сетевых приложений;
- тип сетевого кабеля;
- расстояние между компьютерами в сети.

Для предотвращения отражения электрических сигналов на каждом конце кабеля устанавливают **терминаторы**, поглощающие отраженные сигналы.

При нарушении целостности сети (обрыв или отсоединение кабеля), а также при отсутствии терминаторов, сеть "падает" и прекращает функционировать.

2. "Звезда" (**star**), в которой все компьютеры подключаются к центральному компоненту – концентратору (рис.3.2).

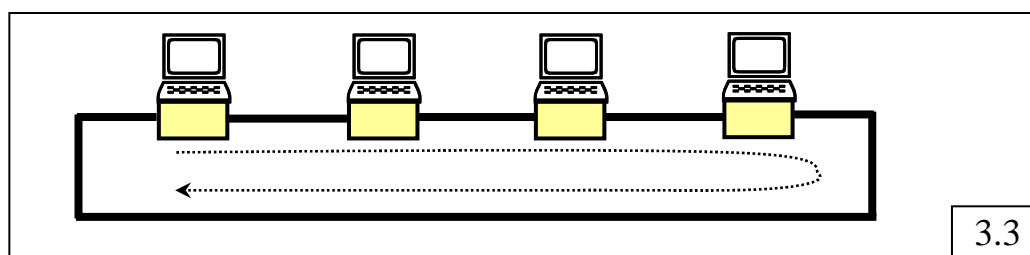


Передаваемый кадр может быть доступен всем компьютерам сети, как в топологии «шина», или же, в случае интеллектуального концентратора, работающего на 2-м уровне OSI-модели, направляться конкретному компьютеру в соответствии с адресом назначения.

Основными *недостатками* такой топологии являются:

- значительный расход кабеля для территориально больших сетей;
- низкая надежность (узкое место – концентратор).

3. "Кольцо" (**ring**). Сигналы передаются по кольцу *в одном направлении* и проходят через каждый компьютер (рис.3.3). В отличие от пассивной топологии "шина", каждый компьютер выступает в роли повторителя, записывая кадр в буфер сетевого адаптера и затем передавая их следующему компьютеру.



В зависимости от способа передачи сигналов различают:

1) *пассивные топологии*, в которых компьютеры только "слушают" передаваемые по сети данные, но не перемещают их от отправителя к получателю, поэтому выход из строя одного из компьютеров не сказывается на работе остальных;

2) *активные топологии*, в которых компьютеры регенерируют сигналы и передают их по сети.

3.1.4. Архитектуры ЛВС

Типы архитектур ЛВС:

- одноранговые сети;
- сети типа "клиент-сервер";

- комбинированные сети, в которых могут функционировать оба типа операционных систем (одноранговая и серверная).

3.1.4.1. Одноранговые (равноранговые) сети

Одноранговые сети (peer-to-peer) – сети с равноправными компьютерами, которые могут использовать ресурсы друг друга. Некоторые одноранговые сети позволяют использовать компьютеры как в качестве рабочей станции в составе сети, так и в качестве выделенного и невыделенного сервера.

Архитектура одноранговой сети оправдана, если:

- количество пользователей не превышает 10;
- пользователи расположены компактно;
- вопросы защиты данных не критичны;
- имеется необходимость повысить производительность и эффективность офисной деятельности путем совместного использования файлов и периферийного оборудования.

Достоинства:

- умеренная стоимость;
- простота построения и эксплуатации (нет необходимости в сетевом администрировании).

Недостатки:

- небольшой размер сети, объединяющей обычно не более 10 пользователей (компьютеров), образующих рабочую группу;
- трудно обеспечить должную защиту информации при большом размере сети.

Примерами одноранговых сетевых операционных систем являются LANtastic (фирмы Artisoft), NetWare Lite (Novell). Поддержка одноранговых сетей встроена также в операционные системы Windows (Windows NT Workstation, Windows 95 и др.) фирмы Microsoft.

3.1.4.2. Сети типа "клиент-сервер"

Сети типа "клиент-сервер" содержат:

- **серверы** – мощные компьютеры, владеющие разделяемыми между пользователями сети ресурсами и управляющие доступом к ним клиентов;
- **клиенты** – менее мощные компьютеры сети, владеющие неразделяемыми ресурсами и имеющие доступ к ресурсам серверов.

Архитектура сети типа "клиент-сервер" оправдана, если:

- в сети планируется работа с единым сетевым ресурсом, например, одновременная работа нескольких пользователей с общей базой данных, расположенной на сервере;
- целесообразно сосредоточить все разделяемые сетевые ресурсы (например, сетевой принтер) в одном месте и не требуется общение рабочих станций между собой.

Достоинства:

- высокая производительность за счет разделения ресурсов сети;

- возможность организации эффективной защиты данных;
- эффективная организация резервного копирования данных;
- способность поддерживать работу в сети сотен и тысяч пользователей;
- хорошие возможности для расширения.

Недостатки:

- требуют постоянного квалифицированного обслуживания – администрирования.

3.1.4.3. Серверы ЛВС

Сервер ЛВС – выделенный компьютер, который предоставляет другим компьютерам сети доступ к общим сетевым ресурсам. Программа, реагирующая на соответствующие запросы и выполняющая их, называется *службой* или *сервисом*.

Серверы делятся на:

- файл-серверы;
- прикладные серверы.

Файл-сервер предоставляет доступ к общему дисковому пространству, в котором хранятся общедоступные файлы, и, в основном, определяет возможности ЛВС.

Прикладные серверы представляют собой средства расширения возможностей ЛВС и включают в себя: сервер баз данных, сервер печати, сервер резервирования, факс-сервер и т.д.

3.1.5. Много сегментная организация ЛВС

Основной *недостаток* ЛВС – наличие ограничения на общую протяженность кабельной сети, составляющую несколько сотен метров. Так для стандарта Ethernet длина сегмента (расстояние от одной крайней станции до другой) составляет не более 500 метров – для электрического кабеля.

Максимальное расстояние между двумя наиболее удаленными друг от друга (крайними) станциями называется **диаметром сети**.

Простейший путь увеличения диаметра сети и количества компьютеров – *много сегментная организация ЛВС* с использованием:

- нескольких сетевых адаптеров в файл-сервере;
- повторителей;
- концентраторов.

3.1.5.1. Использование нескольких сетевых адаптеров

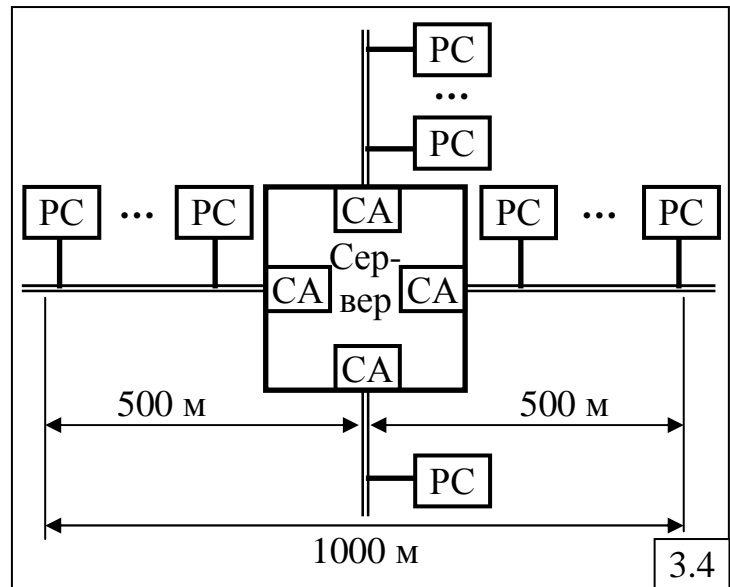
Одно из первых и наиболее простых решений, направленных на увеличение размера локальной сети, – использование нескольких сетевых адаптеров (рис.3.4), что позволяло увеличить диаметр сети почти вдвое по сравнению с одно сегментной ЛВС. Например, в сети Ethernet могло быть до 5 сегментов, каждый из которых имел отдельную кабельную систему.

Достоинство:

- простота реализации и невысокая стоимость.

Недостатки:

- необходимость использования по дополнительному сетевому адаптеру (СА) на каждый сегмент;
- большая нагрузка на сервер и, как следствие, невозможность построения больших (с большим числом рабочих станций) сетей.



3.1.5.2. Повторители

Повторитель (repeater) – простейшее сетевое устройство для построения многосегментных ЛВС, усиливающий сигнал, полученный с одного сегмента, и передающий его в другой сегмент (рис.3.5). Повторитель принимает сигналы из одного сегмента кабеля и побитно синхронно повторяет их в другом сегменте, улучшая форму и мощность импульсов, а также синхронизируя импульсы.

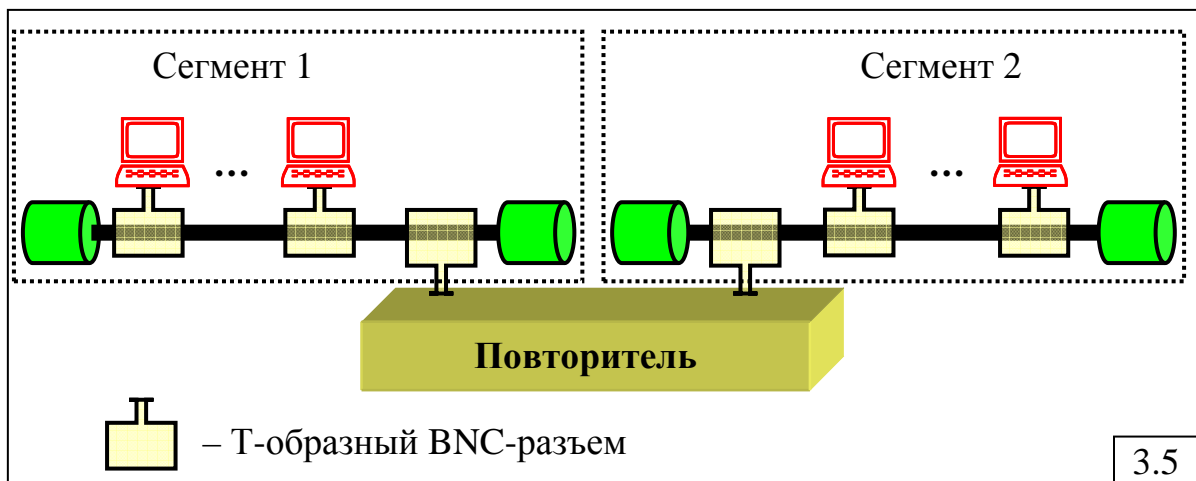
Повторитель объединяет *абсолютно идентичные* сети и работает на самом нижнем – *физическом уровне* OSI-модели.

Достоинства:

- простота организации многосегментных ЛВС;
- дешевизна.

Недостатки:

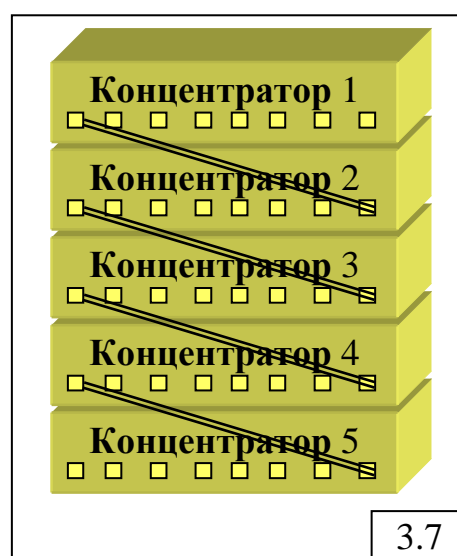
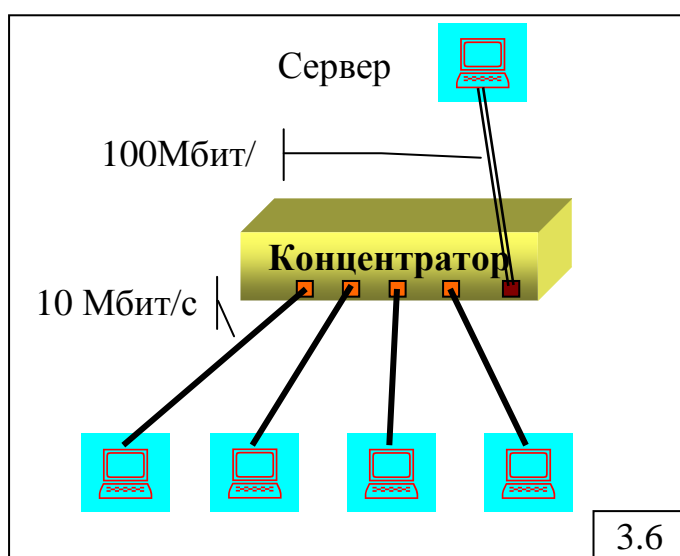
- значительное повышение загрузки в обоих сегментах, т.к. даже "местные" сообщения одного сегмента передаются в другую сеть;
- снижение производительности (скорости передачи данных) СПД.



3.1.5.3. Концентраторы

Концентратор (hub / хаб) – сетевое устройство, используемое в сетях на витой паре, в котором концентрируются идущие от рабочих станций отрезки кабеля (рис.3.6). Через концентратор компьютер подсоединяется к единой среде обмена данными между станциями ЛВС – серверу или магистральному каналу. Простейший концентратор представляет собой *многопортовый повторитель* и используется в качестве центрального узла ЛВС с топологией «звезда».

Концентратор может иметь от 8 до 32 портов для подключения компьютеров. Дальнейшее увеличение количества портов достигается путем объединения концентраторов в единый **стек концентраторов**, как это показано на рис.3.7.



Кроме портов для подсоединения рабочих станций с помощью витой пары концентраторы могут иметь разъем для подсоединения к высокоскоростному магистральному каналу на коаксиальном кабеле или волоконно-оптическом кабеле.

3.1.6. Методы управления доступом в ЛВС

На эффективность функционирования ЛВС существенное влияние оказывает **метод управления доступом** (Access Control Method), определяющий порядок предоставления сетевым узлам доступа к среде передачи данных с целью обеспечения каждому пользователю приемлемого уровня обслуживания. Методы доступа к среде передачи реализуются *на канальном уровне OSI-модели*.

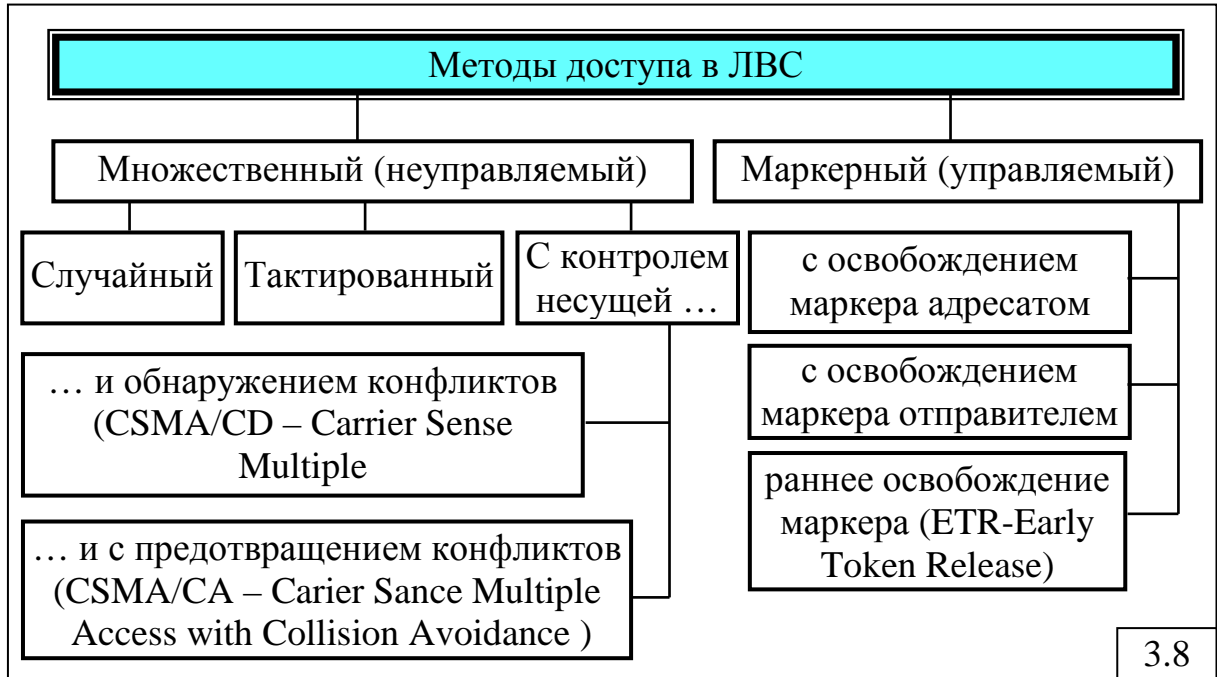
Классификация методов доступа представлена на рис.3.8.

Множественный доступ – метод доступа множества сетевых узлов к общей среде передачи (например, общей шине), основанный на соперничестве станций за доступ к среде передачи. Каждая станция может пытаться передавать данные в любой момент времени.

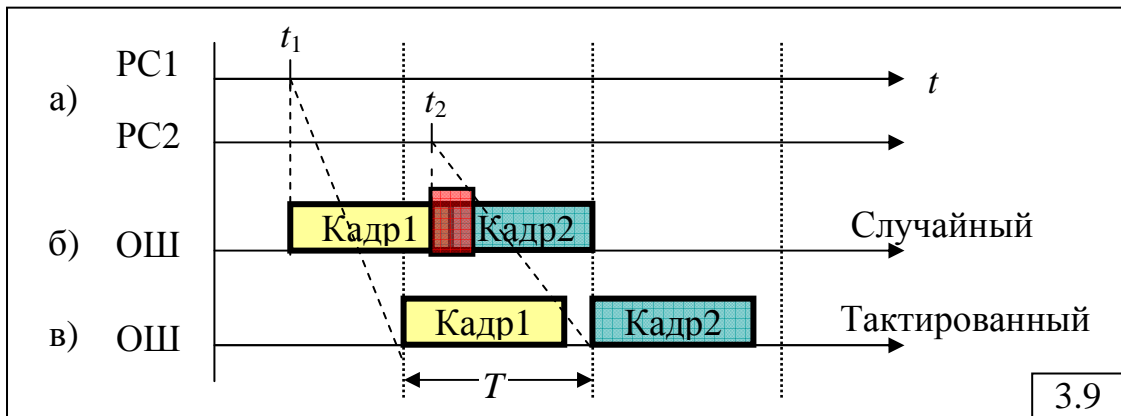
К методам множественного доступа относятся:

- случайный доступ;

- тактированный доступ;
- доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов;
- доступ с контролем несущей и предотвращением конфликтов.



Наиболее простым и естественным методом доступа к общей среде передачи является **случайный доступ**, означающий, что каждая станция сети начинает передачу кадра в момент его появления (формирования), не зависимо от того, занята общая среда передачи или свободна. Если две и более станций осуществляют передачу в одно и то же время, то их кадры взаимно искажаются, и возникает *коллизия*. На рис.3.9,а) показан случай, когда две рабочие станции PC1 и PC2 начинают передачу кадров «Кадр1» и «Кадр2» в случайные моменты времени t_1 и t_2 соответственно. В момент t_2 возникает коллизия (рис.3.9,б), искажающая оба кадра. Можно показать, что коэффициент использования канала связи при случайном методе доступа составляет примерно 16%.



Уменьшение коллизий и увеличение коэффициента использования канала связи может быть достигнуто за счёт использования **тактированного доступа**, который заключается в следующем. Весь

временной интервал разбивается на такты длиной T , где значение T должно быть больше времени передачи кадра максимальной длины. Каждая рабочая станция может начать передачу кадра только в начале очередного такта. В этом случае «Кадр2» будет передан в другом такте по отношению к «Кадру1» (рис.3.9,в), и коллизия не возникнет. Однако следует отметить, что остаётся достаточно высокой вероятность возникновения коллизий в тех случаях, когда моменты формирования кадров в разных станциях оказываются в пределах одного такта. В связи с этим, коэффициент использования канала связи, хотя и увеличивается, но незначительно, и составляет примерно 32%.

Множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection – CSMA/CD) – метод доступа к среде передачи, при котором станция, имеющая данные для передачи, прослушивает канал, чтобы определить, не передаёт ли данные в это время другая станция. Отсутствие сигнала несущей означает, что канал свободен и станция может начать передачу. Однако не исключено, что в течение времени распространения сигнала по среде передачи другие станции почти одновременно также начнут передачу своих данных.

Во время передачи станция продолжает прослушивать канал, чтобы удостовериться в отсутствии коллизии. Если коллизия не зафиксирована, данные считаются успешно переданными.

При обнаружении коллизии станция повторяет передачу через некоторое случайное время. Повторные передачи повторяются до тех пор, пока данные не будут успешно переданы.

Множественный доступ с контролем несущей и предотвращением конфликтов (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance – CSMA/CA) – метод доступа к среде передачи, при котором передача данных предваряется посылкой сигнала блокировки (jam) с целью захвата передающей среды в монопольное пользование. Этот метод доступа рекомендован комитетом IEEE 802.11 для *беспроводных ЛВС*.

Маркерный доступ предполагает наличие в сети кадра специального формата, называемого *маркером*, который непрерывно циркулирует в сети и управляет процессом доступа рабочих станций к среде передачи данных. В каждый момент времени данные может передавать только та станция, которая владеет маркером. Рабочая станция, владеющая маркером, присоединяет свой кадр данных к маркеру и отправляет адресату. При этом возможны различные варианты освобождения и передачи маркера другой станции:

1) **освобождение маркера адресатом:** адресат отсоединяет маркер от данных и может использовать его для отправки своего кадра, если таковой есть, или передать маркер другой станции;

2) **освобождение маркера отправителем:** маркер с присоединенным кадром данных делает полный оборот и *отсоединяется*

отправителем (в версии Token Ring для скорости 4 Мбит/с), если оно вернулось без ошибок; в противном случае, этот же кадр с маркером направляется повторно в среду передачи данных;

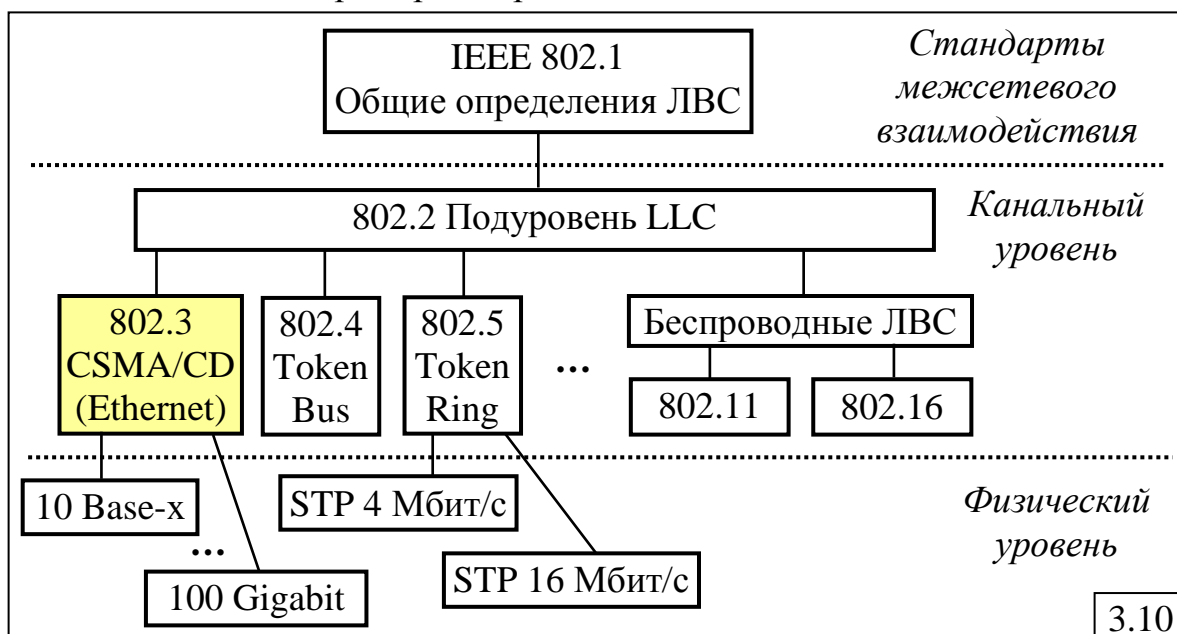
3) метод **раннего освобождения маркера ETR** (Early Token Release), когда рабочая станция освобождает маркер сразу после передачи своих данных и передаёт его другой станции, не ожидая возвращения отправленного кадра данных (в версии Token Ring для скорости 16 Мбит/с и в сети FDDI).

Маркерный доступ используется в сетях:

- с шинной топологией в ЛВС ARCnet: рекомендация IEEE 802.4 (Token Bus – маркерная шина);
- с кольцевой топологией в ЛВС Token Ring и FDDI: рекомендация IEEE 802.5 (Token Ring – маркерное кольцо).

3.1.7. Стандарты локальных сетей

Основным разработчиком стандартов локальных сетей является комитет 802, организованный в 1980 году в IEEE. В рамках этого комитета были образованы подкомитеты 802.1, 802.2,..., в которых разрабатываются стандарты разных уровней IEEE-модели и различных технологий построения ЛВС. На рис.3.10 перечислены некоторые из этих стандартов, представляющие собой рекомендации по разработке ЛВС, обеспечивающие выполнение основных требований к организации сетей, таких как открытость, гибкость и совместимость. Стандарты ЛВС обрastaют дополнениями, которые находят отражение в обозначениях 802.x в виде букв, например 802.1p (стандарт, описывающий приоритезацию трафика на канальном уровне), а также пополняются новыми стандартами, отражающими появление новых технологий локальных сетей, например беспроводных сетей 802.11 и 802.16.



Ниже рассматриваются принципы организации наиболее популярной ЛВС Ethernet, использующей метод доступа CSMA/CD (IEEE 802.3), и

ЛВС Token Ring, использующей метод доступа «маркерное кольцо» (IEEE 802.5), а также беспроводных технологий передачи данных, известных как WiFi (IEEE 802.11) и WiMAX (IEEE 802.16).

Метод доступа Token Bus – «маркерная шина», описанный в стандарте IEEE 802.4, был реализован в локальной сети ArcNET, не получившей широкого распространения.

3.2. ЛВС Ethernet

3.2.1. Общие сведения

Ethernet – технология ЛВС, разработанная совместно фирмами DEC, Intel и Xerox (DIX) и опубликованная в 1980 году в виде стандарта Ethernet II для сети с пропускной способностью 10 Мбит/с, построенной на основе коаксиального кабеля.

На основе стандарта Ethernet II был разработан стандарт IEEE 802.3, который имеет следующие отличия:

- каналный уровень разбит на два подуровня: MAC и LLC;
- внесены некоторые изменения в формат кадра при тех же минимальных и максимальных размерах кадров.

В зависимости от физической среды передачи данных IEEE 802.3 предусматривает различные варианты реализации ЛВС на физическом уровне:

- 10Base-5 – толстый коаксиальный кабель;
- 10Base-2 – тонкий коаксиальный кабель;
- 10Base-T – витая пара;
- 10Base-F – оптоволокно.

В 1995 году был принят стандарт Fast Ethernet с пропускной способностью среды передачи 100 Мбит/с, который представлен в виде дополнительного раздела 802.3u к стандарту IEEE 802.3.

В 1998 году принят стандарт Gigabit Ethernet, описанный в разделе 802.3z для ЛВС с пропускной способностью 1 Гбит/с.

В 2002 году утверждена спецификация IEEE 802.3ae для ЛВС с пропускной способностью 10 Гбит/с (10 Gigabit Ethernet), предусматривающая использование волоконно-оптических кабелей.

В июне 2010 года принят стандарт IEEE P802.3ba для ЛВС с пропускными способностями 40 Гбит/с и 100 Гбит/с: 40 Gigabit Ethernet (40GbE) и 100 Gigabit Ethernet (100GbE).

Перечисленные варианты ЛВС Ethernet и годы появления соответствующих стандартов сведены в табл.3.1.

В стандарте IEEE 802.3 определен *метод доступа*, используемый в сетях Ethernet (в том числе Fast Ethernet и Gigabit Ethernet) – CSMA/CD – множественный доступ с контролем несущей и проверкой столкновений.

Компьютеры в ЛВС Ethernet подключаются к разделяемой среде в соответствии с топологией «общая шина» (рис. 3.1), которая обеспечивает обмен данными между двумя любыми компьютерами сети. Управление

доступом к общей среде передачи реализуется средствами сетевого адаптера. Каждый сетевой адаптер, имеет уникальный адрес.

Таблица 3.1

Вариант ЛВС Ethernet	Пропускная способность	Стандарт	Год
Ethernet DIX	10 Мбит/с	Ethernet II	1980
Ethernet	10 Мбит/с	IEEE 802.3	1982
Fast Ethernet	100 Мбит/с	IEEE 802.3u	1995
Gigabit Ethernet	1 Гбит/с	IEEE 802.3z	1998
10 Gigabit Ethernet	10 Гбит/с	IEEE 802.3ae	2002
40 Gigabit Ethernet	40 Гбит/с	IEEE P802.3ba	2010
100 Gigabit Ethernet	100 Гбит/с	IEEE P802.3ba	2010

Кадры, передаваемые станциями, проходят через сетевые адаптеры всех станций сети, но только та из них, кому адресован данный кадр, принимает и записывает его в буфер адаптера для дальнейшего формирования сообщения и передачи его в память рабочей станции. Таким образом, в каждый момент времени в сети может передаваться только один кадр. Если передачу кадров начинают одновременно две и более станции, возникает коллизия, в результате которой все кадры искажаются и требуется повторная передача кадров.

Часть сети Ethernet, все узлы которой распознают коллизию, независимо от того, в какой части этой сети коллизия возникла, называется *доменом коллизий* (collision domain).

Стандарт IEEE 802.3 определяет ограничения, налагаемые на размер ЛВС Ethernet:

- максимальное число станций в сети – 1024;
- максимальная протяженность сети – 3-4 км;
- максимальная длина сегмента сети (расстояние между крайними станциями), зависящая от типа передающей среды:

- 500 метров – для толстого коаксиального кабеля;
- 185 метров – для тонкого коаксиального кабеля;
- 100 метров – для витой пары;
- 2000 метров – для оптоволоконного кабеля.

Основными топологиями ЛВС Ethernet являются:

- "**общая шина**", в которой в качестве среды передачи данных используется коаксиальный кабель;
- "**звезда**", в которой центральным узлом является концентратор, а в качестве среды передачи данных используется витая пара или оптоволоконный кабель.

3.2.2. Физический уровень ЛВС Ethernet

Кабельная система сети Ethernet является коммуникационной средой, по которой перемещаются кадры данных. Стандарт физического

уровня содержит описание (спецификации) кабелей различных типов, пригодных для реализации сетей с методом доступа CSMA/CD. Обозначение спецификаций физического уровня в соответствии со стандартом 802.3:

<СП>**Base**-<ТК>,

где <СП> – скорость передачи в Мбит/с – может принимать значения 10, 100, 1000, а в случае гигабитных скоростей – 1G, 10G, 40G, ...; **Base** – метод передачи, означающий *основополосную* передачу (**Baseband**); <ТК> – тип кабеля:

- 2 – тонкий коаксиальный;
- 5 – толстый коаксиальный;
- Т – витая пара (Twisted pair);
- F – волоконно-оптический (Fiber);

Основополосная (прямая, немодулированная) передача (baseband) – метод передачи данных, при котором цифровой сигнал направляется непосредственно в среду передачи без модуляции несущей, при этом вся полоса пропускания используется для передачи только одного цифрового сигнала. Этот метод удобен для передачи данных по каналам с широкой полосой пропускания на небольшие расстояния и характеризуется простотой и дешевизной реализации, в связи с чем широко используется в ЛВС.

Широкополосная передача (broadband) – метод передачи данных, основанный на частотном FDM, временном TDM или волновом WDM уплотнении и создании нескольких частотных или временных каналов, по которым независимо друг от друга могут передаваться несколько потоков данных.

Для всех вариантов физического уровня технологии Ethernet, обеспечивающих пропускную способность 10 Мбит/с, используется *манчестерское кодирование*.

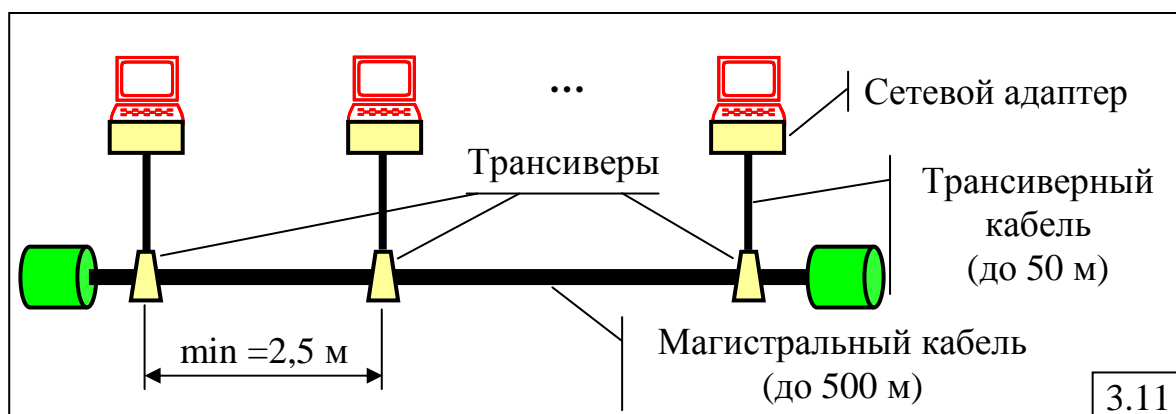
3.2.2.1. Спецификация 10Base-5

10Base-5 – стандарт физического уровня, являющийся частью стандарта IEEE 802.3 и описывающий работу сети Ethernet на толстом коаксиальном кабеле (thick Ethernet), используемом в качестве основной магистрали.

На рис.3.11 показан *сегмент* ЛВС Ethernet на толстом коаксиальном кабеле. Рабочие станции подключаются к магистральному кабелю с помощью трансиверного кабеля, состоящего из 4-х витых пар длиной до 50 м, и приемопередатчика (трансивера), расположенного непосредственно на коаксиальном кабеле. Трансивер представляет собой электрическое устройство, осуществляющее физическую передачу и приём данных.

Расстояние между соседними трансиверами должно быть кратно 2,5 м для исключения влияния стоячих волн в кабеле на качество передачи сигнала. На концах магистрального кабеля располагаются терминаторы, поглощающие распространяющийся в кабеле информационный сигнал и

препятствующие возникновению отражённого сигнала, искажающего полезный сигнал.

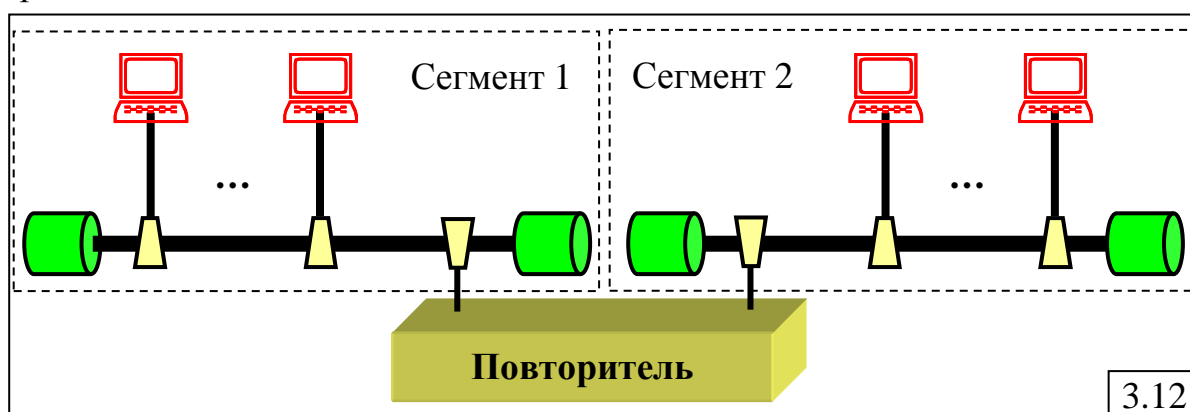


Несмотря на громоздкость и трудности при разводке, такая кабельная система позволяет строить достаточно протяженные сети.

Таким образом, основные ограничения для одного сегмента ЛВС Ethernet в соответствии со спецификацией 10Base-5 имеют вид:

- максимальная длина сегмента (расстояние между крайними узлами) – 500 м;
- минимальное расстояние между трансиверами – 2,5 м;
- максимальное число узлов (трансиверов) на сегменте – 100;
- максимальная длина трансиверного кабеля – 50 м.

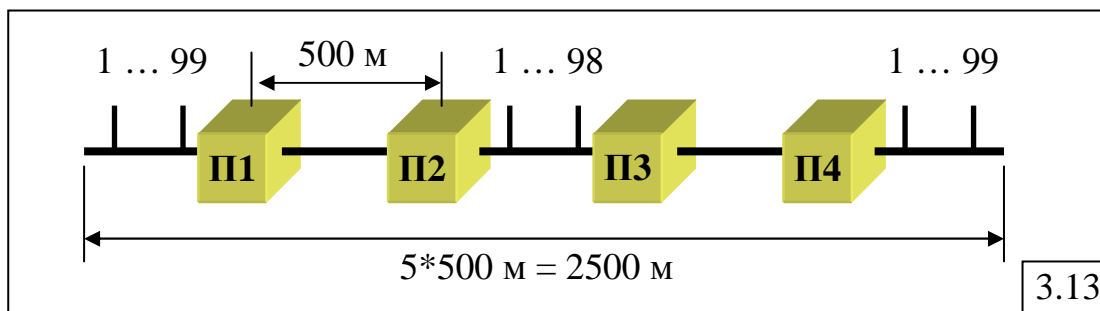
Стандарт 10Base-5 допускает построение многосегментных сетей с использованием повторителей. На рис.3.12 показана двухсегментная сеть. Максимальное количество сегментов в сети, допускаемое стандартом, равно 5. Это ограничение обусловлено тем, что повторители только усиливают сигналы, не восстанавливая их форму, что при большом количестве сегментов в сети может привести к появлению значительного процента ошибок.



При построении многосегментной сети необходимо учитывать следующие ограничения (рис.3.13):

- сеть может состоять из 5 сегментов, соединенных через повторители;
- в трёх сегментах можно подключать к кабелю до 100 узлов; два других сегмента используются только для увеличения общей протяженности сети;

• повторитель рассматривается как специальный узел, подключенный к сети, поэтому в центральном сегменте с двумя повторителями допускается иметь только 98 станций.



Правило построения многосегментной сети с такими ограничениями получило название «**5-4-3**», означающее 5 сегментов соединяются с помощью 4-х повторителей, причём нагруженными являются только 3 сегмента.

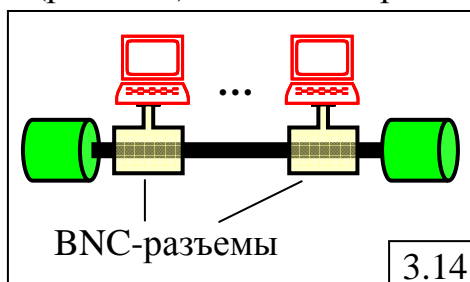
Таким образом, одна сеть Ethernet 10Base-5:

- может содержать не более 296 узлов (рабочих станций);
- иметь диаметр (максимальную длину кабеля) – не более 2,5 км.

3.2.2.2. Спецификация 10Base-2

10Base-2 – стандарт физического уровня, утвержденный комитетом IEEE 802.3, описывающий работу сети Ethernet на тонком коаксиальном кабеле (*thin Ethernet – тонкий Ethernet*, иначе ещё называемый *Cheapernet – дешевый Ethernet*).

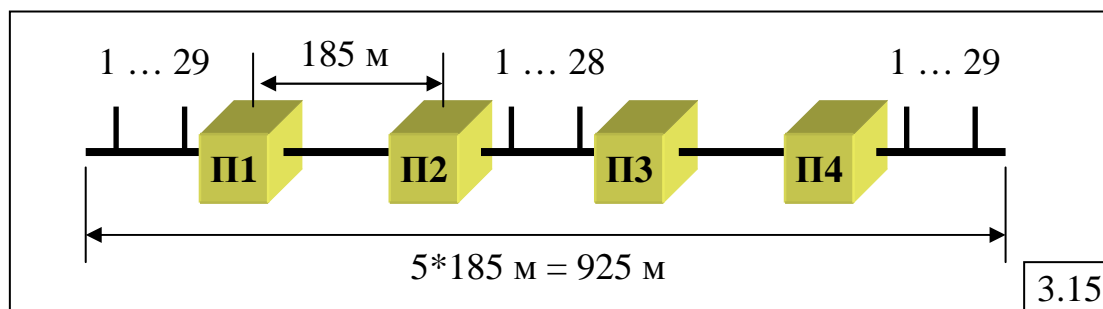
Согласно этой спецификации *недопустимо использование отводов к рабочим станциям*. Станции подключаются непосредственно к основной магистрали через T-образные BNC-разъемы (рис.3.14). Таким образом, тонкий коаксиальный кабель проходит через сетевые адаптеры всех станций. В остальном, принципы и правила построения одно- и многосегментных ЛВС на тонком и толстом коаксиальном кабеле аналогичны. Отличие – только в ограничениях на размер сети и количество станций.



Основные ограничения для ЛВС Ethernet в соответствии со спецификацией 10Base-2 имеют вид:

- максимальная длина сегмента (расстояние между крайними узлами) – 185 м;
- максимальное число узлов на сегменте – 30;
- минимальное расстояние между узлами – 1 м;
- многосегментная сеть строится по правилу «5-4-3»: максимально 5 сегментов, 4 повторителя, причём нагруженными являются 3 сегмента;
- в каждом из трёх (средний и два крайних) сегментов можно подключать к кабелю до 30 узлов (рис.3.15);

- два других сегмента используются только для увеличения общей протяженности сети, к ним нельзя подсоединять станции;
- повторитель рассматривается как специальный узел, подключенный к сети, поэтому в сети с двумя повторителями допускается иметь только 28 станций.



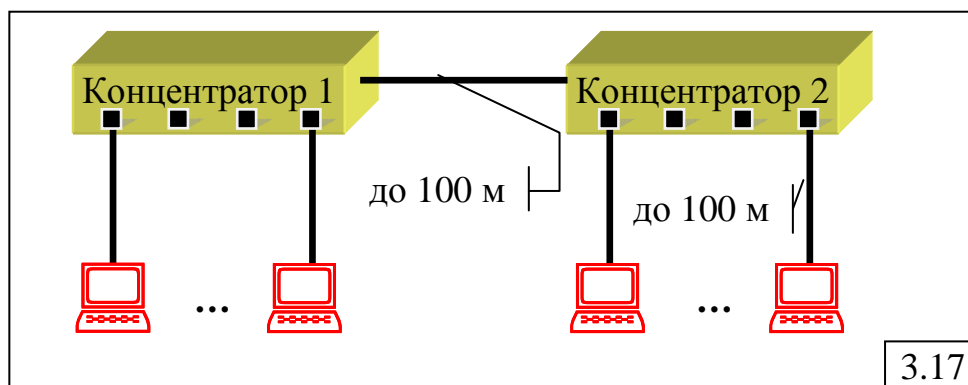
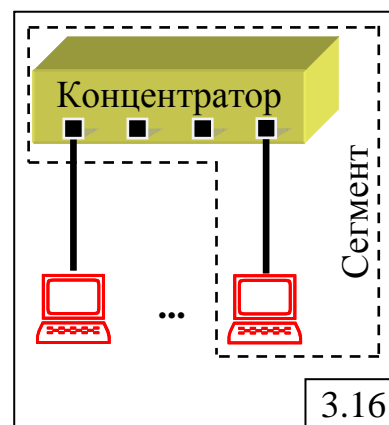
Таким образом, одна сеть Ethernet 10Base-2:

- может содержать не более 86 узлов;
- иметь диаметр (максимальную длину кабеля) – не более 925 м.

3.2.2.3. Спецификация 10Base-T

Спецификация 10Base-T, добавленная к стандарту 802.3 в конце 1991 года, описывает сеть Ethernet с топологией типа "звезда" и кабельной системой на основе *неэкранированной витой пары*. Согласно спецификации 10Base-T сегментом сети является кабель, соединяющий рабочую станцию и концентратор. Это означает, что к каждому сегменту может быть подключено лишь два устройства: станция и концентратор (рис.3.16), а количество сегментов равно количеству подключённых к концентратору станций.

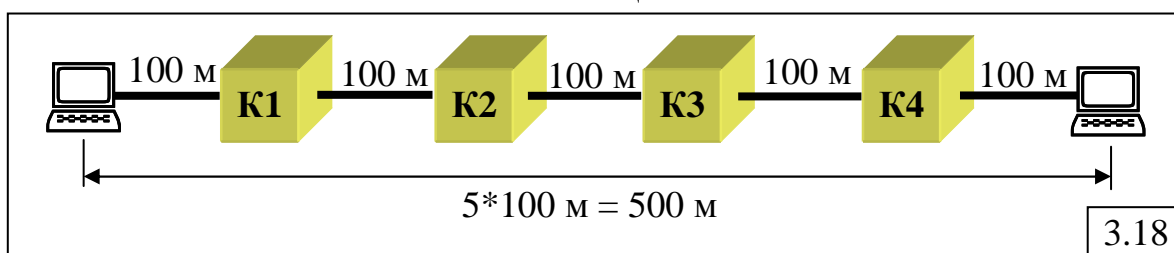
Однако ниже при рассмотрении многосегментных сетей для устранения неоднозначности под сегментом сети Ethernet 10Base-T будем понимать концентратор со всеми подключёнными к нему станциями, то есть сеть, показанную на рис.3.16, будем условно считать односегментной сетью. Многосегментная сеть будет представлять собой объединение нескольких концентраторов с подключёнными к ним станциями (рис.3.17).



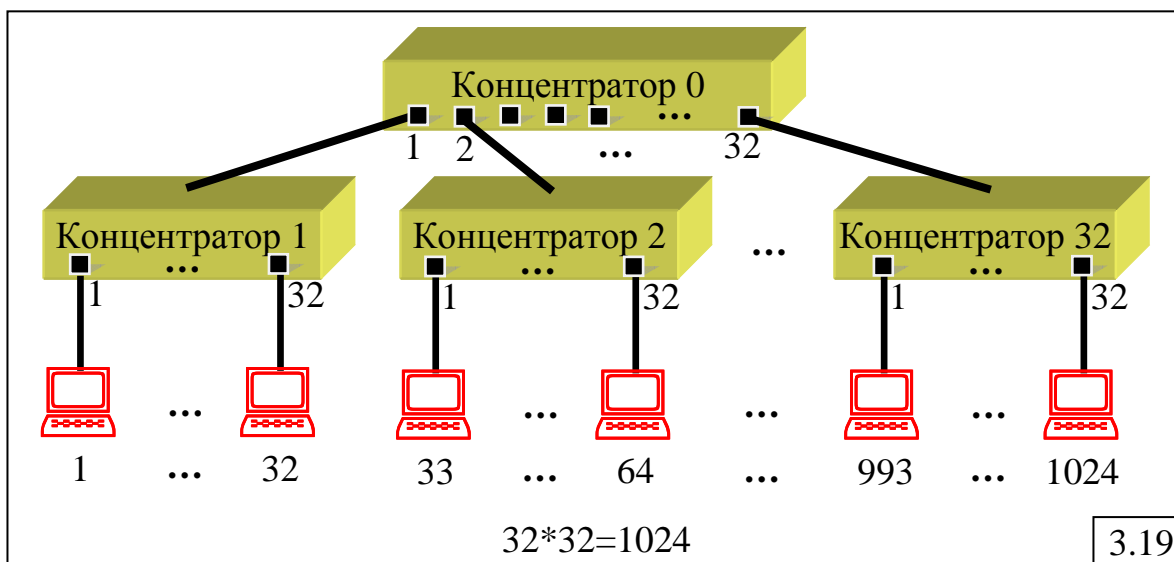
В отличие от рассмотренных выше спецификаций 10Base-5 и 10Base-2, при построении многосегментной сети Ethernet 10Base-T вместо правила «5-4-3» используется правило «4-х хабов», которое гласит, что между любыми двумя станциями в сети должно быть не более 4-х концентраторов (хабов).

Основные ограничения для ЛВС Ethernet в соответствии со спецификацией 10Base-T имеют вид:

- максимальная длина кабеля (между концентратором и рабочей станцией или между двумя концентраторами) – 100 м (рис.3.17);
- число концентраторов между любыми станциями – не более 4;
- максимальный диаметр сети – 500 м (рис.3.18);
- максимальное количество станций в сети – 1024.



Отметим, что максимальное количество станций в ЛВС Ethernet, равное 1024, может быть достигнуто только для спецификации 10Base-T за счёт применения 32-х портовых концентраторов (рис.3.19). В то же время для сетей, построенных на коаксиальном кабеле (10Base-5 и 10Base-2), это значение не достижимо.



Благодаря меньшей стоимости кабельной системы и возможности построения сетей с максимально допустимым количеством станций, сети 10Base-T получили доминирующее положение на рынке и практически полностью вытеснили сети, построенные на коаксиальном кабеле.

3.2.2.4. Спецификация 10Base-F

10Base-F – совокупность стандартов физического уровня, описывающих работу сети Ethernet на волоконно-оптическом кабеле с

пропускной способностью 10 Мбит/с. В качестве среды передачи данных в оптоволоконной сети Ethernet используется многомодовый волоконно-оптический кабель (ВОК).

Структурная организация сети аналогична стандарту 10Base-T: сетевые адаптеры рабочих станций соединяются с многопортовым повторителем (концентратором) с помощью ВОК и образуют физическую топологию «звезда».

10Base-F включают в себя следующие стандарты.

1. **Стандарт FOIRL** (Fiber Optic Inter-Repeater Link):

- длина оптоволоконного кабеля между повторителями – до 1 км;
- максимальное число повторителей – 4;
- максимальный диаметр сети – 2500 м.

2. **Стандарт 10Base-FL** (Fiber Link)– улучшенный вариант стандарта FOIRL, заключающийся в увеличении мощности передатчиков, за счёт чего максимальное расстояние между узлом и повторителем может достигать 2000 м, при этом:

- максимальное число повторителей – 4;
- максимальный диаметр сети – 2500 м.

3. **Стандарт 10Base-FB** (Fiber Backbone) предназначен только для объединения повторителей в магистраль, при этом:

- между узлами сети можно установить до 5 повторителей стандарта 10Base-FB;
- максимальная длина одного сегмента – 2000 м;
- максимальный диаметр сети – 2740 м.

В отличие от ранее рассмотренных сетей, повторители, используемые в ЛВС Ethernet 10Base-FB, при отсутствии кадров для передачи обмениваются специальными последовательностями сигналов, что позволяет постоянно поддерживать синхронизацию в сети. Поэтому ЛВС, построенную по стандарту 10Base-FB, называют «синхронный Ethernet». Благодаря меньшим задержкам при передаче данных из одного сегмента в другой, количество повторителей увеличено до 5.

В табл.3.2 сведены основные параметры стандартов оптических сетей Ethernet 10Base-F.

Таблица 3.2

Стандарт	<i>FOIRL</i>	<i>10Base-FL</i>	<i>10Base-FB</i>
Отличительная особенность		Мощные передатчики	Для соединения повторителей
Расстояние между узлами	1000 м	2000 м	2000 м
Число повторителей	4	4	5
Диаметр сети	2500 м	2500 м	2740 м

3.2.3. Канальный уровень ЛВС Ethernet

Стандарт ЛВС Ethernet канального уровня IEEE 802.3 описывает формат используемых в сети кадров и метод доступа к среде передачи данных CSMA/CD.

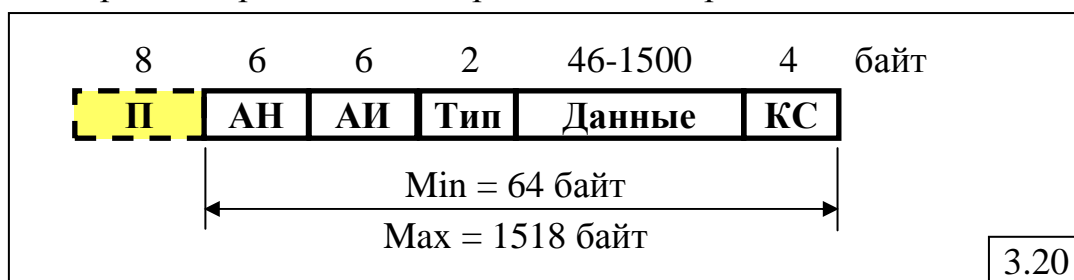
В процессе эволюции сетей Ethernet появились 4 типа кадров:

- Ethernet II или Ethernet DIX, предложенный фирмами DEC, Intel и Xerox (DIX);
- Raw 802.3 или 802.3/Novell, появившийся в результате усилий компании Novell по созданию своего стека протоколов в сетях Ethernet;
- 802.3/LLC или 802.3/802.2, появившийся как результат разделения функций канального уровня на подуровни MAC и LLC;
- Ethernet SNAP, появление которого было вызвано необходимостью приведения предыдущих форматов кадров к общему стандарту.

3.2.3.1. Кадр Ethernet II (Ethernet DIX)

Стандарт Ethernet II был разработан фирмами DEC, Intel и Xerox (DIX) и с небольшими изменениями принят в 1982 году.

Формат кадра Ethernet II представлен на рис.3.20.



П – преамбула (8 байт):

- используется для синхронизации станций сети;
- содержит код **10101010** в первых семи байтах и код **10101011** в последнем байте.

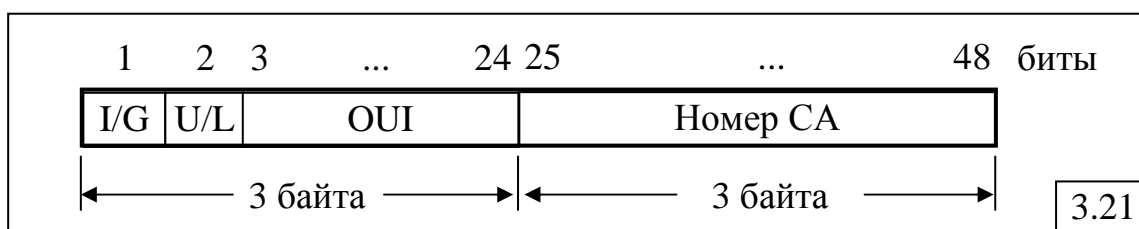
АН – адрес назначения (6 байт):

- длина поля составляет 6 байт, но может быть 2 байта, если адрес установлен администратором ЛВС только для внутреннего пользования;
- старший (самый первый) бит в поле адреса (рис.3.21) указывает *тип адреса* (I/G – Individual/Group):

- **0** – адрес назначения является **индивидуальным**, т.е. кадр предназначен конкретной рабочей станции; в остальных разрядах поля адреса назначения указывается уникальный физический адрес (MAC-адрес) конкретной рабочей станции;
- **1** – адрес назначения является **групповым**, т.е. кадр предназначен группе рабочих станций (тогда в последующих разрядах указывается адрес конкретной группы рабочих станций), или **широковещательным**, если все остальные разряды равны 1, то есть кадр адресован всем рабочим станциям в ЛВС;

- второй бит в поле адреса указывает *способ назначения адреса* (U/L – Universal/Local):

- **0** – адрес является **универсальным** физическим адресом в ЛВС, т.е. адрес сетевого адаптера назначен *централизованно* комитетом IEEE, который распределяет между производителями сетевых адаптеров так называемые организационно уникальные идентификаторы (Organizationally Unique Identifier, OUI), размещаемые в первых трех байтах адреса, а в следующих трех байтах помещается номер сетевого адаптера, присваиваемый производителем (рис.3.21);
- **1** – адрес **локальный**, т.е. назначен администратором ЛВС и используется только в пределах этой сети.



АИ – адрес источника (6 байт):

- длина поля составляет 6 байт, но, как и адрес назначения, может иметь длину 2 байта;
- старший бит первого байта (поля I/G) всегда равен 0;
- не может содержать широковещательный адрес:
FF-FF-FF-FF-FF-FF.

Тип – тип протокола (2 байта):

- идентифицирует тип протокола более высокого уровня, используемого для его передачи или приема, и позволяющего множеству протоколов высокого уровня разделять ЛВС без вникания в содержимое кадров друг друга;
- примеры значений поля «тип», идентифицирующих различные протоколы:

- IP (Internet Protocol) 0800₁₆
- ARP (Address Resolution Protocol) 0806₁₆
- Reverse ARP 8035₁₆
- Apple Talk 809B₁₆
- NetWare IPX/SPX 8137₁₆

(здесь индекс ₁₆ – означает шестнадцатеричное число).

Данные – поле данных (46-1500 байт):

- может иметь длину от 46 до 1500 байт.

КС – контрольная сумма:

- содержит *остаток избыточной циклической суммы* (Cyclic Redundancy Checksum – CRC), вычисленной с помощью полиномов типа CRC-32 для всех полей кадра: **АН+АИ+Тип+Данные** (без преамбулы).

Таким образом, *минимальная длина кадра Ethernet* (без преамбулы) **64** байта, а *максимальная* – **1518** байтов.

3.2.3.2. Кадр Raw 802.3 (IEEE 802.3/Novell)

В основу стандарта IEEE 802.3 был положен кадр Raw 802.3, предложенный фирмой Novell и называемый также кадром 802.3/Novell, формат которого показан на рис.3.22.



Основные отличия этого кадра от кадра Ethernet II заключаются в следующем:

1) из восьмибайтового поля преамбулы **П**, которое стало длиной 7 байт, выделено однобайтовое поле **НО** – «Начальный ограничитель кадра», которое содержит код 10101011, указывающий на начало кадра;

2) вместо поля «Тип протокола» появилось двухбайтовое поле **Д** – «Длина», которое определяет длину поля данных в кадре; отсутствие поля «Тип протокола» обусловлено тем, что кадр 802.3/Novell соответствует только протоколу IPX/SPX и лишь этот протокол может работать с ним;

3) поле данных может содержать от 0 до 1500 байт, но если длина поля меньше 46 байт, то используется дополнительное поле **Н** – «Набивка», с помощью которого кадр дополняется до минимально допустимого значения в 46 байт, если поле данных меньше 46 байт.

Таким образом, длина кадра находится в диапазоне от 64 до 1518 байт, не считая преамбулы и признака начала кадра. Важной особенностью стандарта IEEE 802.3 является возможность передачи прикладным процессом данных длиной менее 46 байтов, благодаря тому, что кадр автоматически дополняется до нужного размера пустыми символами в поле «Набивка». В стандарте Ethernet II такие ситуации рассматриваются как ошибочные.

3.2.3.3. Кадр 802.3/LLC (кадр 802.3/802.2)

Кадр 802.3/LLC (802.3/802.2) содержит те же поля, что и Raw 802.3 (рис.3.23). Отличие состоит лишь в том, что в поле данных вставляется пакет подуровня управления логическим соединением LLC (без граничных флагов), содержащий в качестве заголовка три однобайтовых поля:

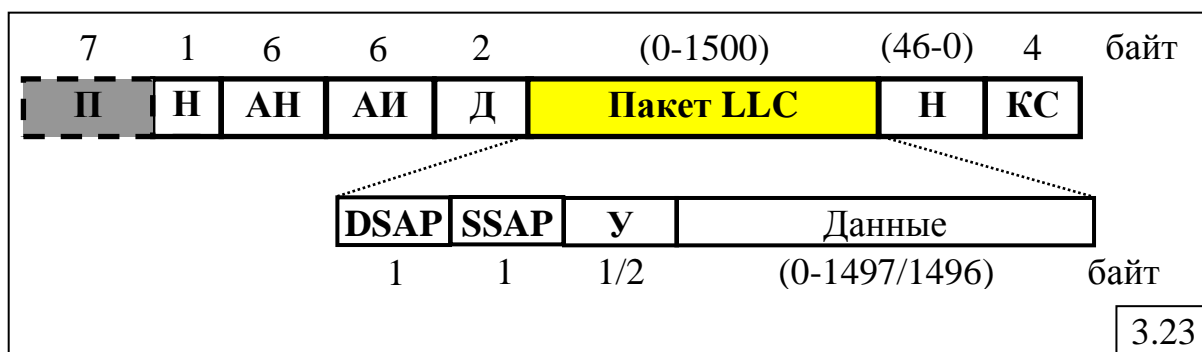
- **DSAP** (Destination Service Access Point) – точка доступа к услугам получателя (1 байт) определяет тип протокола верхнего (сетевое) уровня получателя кадра;

- **SSAP** (Source Service Access Point) – точка доступа к услугам источника (1 байт) определяет тип протокола верхнего (сетевое) уровня источника кадра;

- **У** – управление (1 или 2 байта) – содержит информацию для управления одним из трех сервисов, предоставляемых подуровнем LLC; например, значение 03₁₆ соответствует нумерованному формату в

стандарте Ethernet 802.2, указывающему, что подуровень LLC обеспечивает обслуживание без установления логического соединения.

Поля **DSAP**, **SSAP** и **У** образуют *заголовок пакета LLC*.



Так как поле «Управление» пакета LLC имеет длину 1 (в режиме LLC1) или 2 байта (в режиме LLC2), то максимальный размер поля данных уменьшается до 1497 или 1496 байт соответственно.

3.2.3.4. Кадр Ethernet SNAP

Кадр Ethernet SNAP (SNAP – SubNetwork Access Protocol), протокол доступа к подсетям) предназначен для устранения разнообразия в форматах кадров и в кодировках типов протоколов, сообщения которых вложены в поле данных кадров Ethernet.

Структура кадра SNAP является развитием структуры кадра 802.3/LLC за счет введения дополнительного *заголовка протокола SNAP*, который находится за заголовком пакета LLC и включает в себя 2 поля:

- **идентификатор организации** (3 байта) содержит идентификатор той организации, которая контролирует коды протоколов, указываемые в поле «тип» (коды протоколов для ЛВС контролирует IEEE, который имеет идентификатор организации, равный 000000; если в будущем потребуются другие коды протоколов, то достаточно указать другой идентификатор организации, назначающей эти коды, не меняя старые значения кодов);
- **тип** (2 байта) – состоит из 2-х байт и соответствует полю «Тип» кадра Ethernet II, то есть в нем используются те же значения кодов протоколов более высокого *сетевого* уровня.

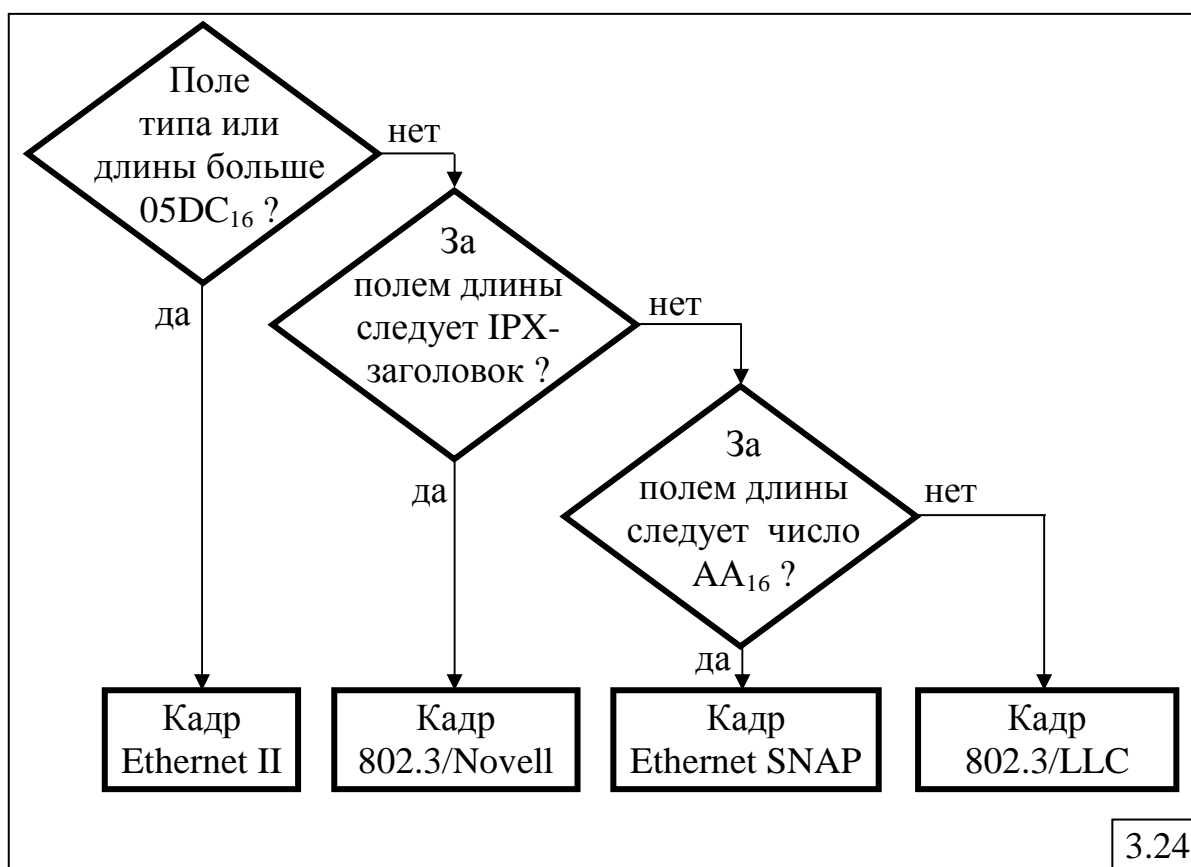
При этом 3 поля заголовка пакета LLC в кадре Ethernet SNAP имеют вполне конкретные значения:

- **DSAP** (1 байт) всегда содержит AA₁₆ и указывает на то, что кадр имеет формат типа Ethernet SNAP;
- **SSAP** (1 байт) всегда содержит AA₁₆ и указывает на то, что кадр имеет формат типа Ethernet SNAP;
- **управление** (1 байт) содержит число 03₁₆.

3.2.3.5. Алгоритм определения типа кадра

Практически все сетевые адаптеры Ethernet могут работать со всеми четырьмя типами кадров, автоматически распознавая их.

На рис.3.24 приведена схема алгоритма определения типа кадра в ЛВС Ethernet. Поскольку для кодирования типа протокола в двухбайтовом поле «Тип/Длина» указываются значения, превышающие значение максимальной длины поля данных, равное 1500 или в шестнадцатеричной системе счисления $05DC_{16}$, кадры Ethernet II легко отличить от других типов кадров по значению этого поля. Затем проверяется наличие или отсутствие полей LLC, которые могут отсутствовать только в том случае, если за полем длины следует заголовок пакета IPX, а именно 2-байтовое поле заполненное единицами. Затем проверяются значения полей DSAP и SSAP: если они равны AA_{16} , то это кадр Ethernet SNAP, в противном случае – кадр 802.3/LLC.



3.2.3.6. Протокол CSMA/CD

При описании протокола CSMA/CD временные интервалы удобно измерять не в абсолютных единицах времени (мкс или мс), а в количестве так называемых «битовых интервалов».

Битовый интервал – это интервал, соответствующий передаче одного бита, то есть это время между появлением двух последовательных бит. Обозначим через bt – битовый интервал, тогда длительность битового интервала будет определяться следующим образом: $\tau_{bt} = 1/C$, где C – пропускная способность среды передачи (скорость передачи данных). При пропускной способности $C=10$ Мбит/с длительность битового интервала $\tau_{bt} = 100$ нс и $\tau_{bt} = 10$ нс при $C=100$ Мбит/с.

Поскольку протокол CSMA/CD применяется в ЛВС Ethernet с пропускными способностями среды передачи данных 10 Мбит/с, 100 Мбит/с и 1 Гбит/с, использование понятия битового интервала позволяет обобщить описание протокола CSMA/CD для всех этих сетей.

При передаче данных согласно протоколу CSMA/CD станции выполняют следующие этапы.

1. *Прослушивание* до начала передачи.

Станция может передавать кадр, если разделяемая среда (канал связи) свободна. Для этого станции непрерывно следят, не появился ли в канале сигнал "наличие несущей", который распознается по уровню напряжения и свидетельствует о занятости канала.

2. *Задержка* передачи, если канал занят. При этом кадр, ожидающий освобождения канала, находится в буфере сетевого адаптера.

3. *Начало передачи* кадра, если канал свободен. Признаком незанятости канала является отсутствие в нём несущей частоты.

Если канал свободен или только что освободился (сигнал "отсутствие несущей"), станция может начать передачу, выдержав технологическую паузу, называемую **межкадровым интервалом**, длиной в 96 битовых интервалов, что для ЛВС с пропускной способностью 10 Мбит/с составляет 9,6 мкс.

Необходимость межкадрового интервала обусловлена следующими обстоятельствами. Во-первых, поскольку все станции отслеживают передачу всех кадров в сети, то после завершения передачи все *сетевые адаптеры должны быть приведены в исходное состояние* для приёма очередного кадра, для чего требуется определённое время. Во-вторых, использование межкадрового интервала *предотвращает монопольный захват среды* одной станцией.

По завершении межкадрового интервала станции могут начать передачу своего кадра. Из-за задержек распространения сигнала по кабелю не все станции строго одновременно фиксируют факт окончания передачи кадра.

4. *Передача кадра и прослушивание коллизий*. Кадр передается по кабельной системе в обоих направлениях. Если в это же время ещё одна станция начнёт передачу кадра, в канале возникнет *коллизия*. Кадры, вовлеченные в коллизию, превратятся во **фрагменты** (произойдет наложение кадров). Поэтому во время передачи станции прослушивают канал с целью обнаружения коллизий. Возникновение коллизии распознается по наличию сигнала в канале, уровень которого не меньше уровня сигнала, производимого при одновременной передаче двумя или несколькими трансиверами.

Если коллизия возникла, но другие станции еще не обнаружили ее, они могут попытаться начать передачу. Кадры этих станций тогда будут вовлечены в новую коллизию. Для исключения такой ситуации вовлеченные в коллизию станции начинают передавать **сигнал затора** с

тем, чтобы все остальные станции сегмента удостоверились в том, что линия занята.

Сигнал затора – специальная последовательность из 32 бит, называемая *jam-последовательностью*.

Станции, вовлеченные в коллизию, увеличивают на 1 свои **счетчики числа попыток передачи**.

Станция считает, что она *управляет сегментом* кабеля, если ею уже передано *более 64 байт*. Коллизия, возникающая с кадром длиной более 64 байт, называется *поздней коллизией*, что обычно свидетельствует о некорректном монтаже кабельной системы, например, о том, что какой-то сегмент может быть длиннее, чем это определено спецификацией для данного типа кабельной системы.

5. *Ожидание* перед повторной передачей.

Для выбора момента повторной передачи станция действует согласно так называемому *алгоритму отступления*, обеспечивающему различные времена готовности к повторной передаче. Повторная передача откладывается на случайное время кратное 512 битовым интервалам, что для ЛВС с пропускной способностью 10 Мбит/с составляет 51,2 мкс:

$$t = 51,2 * N.$$

Здесь N – случайная величина, принимающая целочисленное значение из интервала $(0; 2^n)$ в соответствии с равномерным законом распределения, где n – количество коллизий (повторных передач), причем $n = 1, 2, \dots, 10$.

При $n = 1$ случайная величина N может принять с вероятностью $1/3$ одно из трёх значений: 0, 1, 2, а при $n = 2$ – с вероятностью $1/5$ одно из пяти значений: 0, 1, 2, 3, 4.

После десятой коллизии n не меняется и остается равным 10. Таким образом, максимальное время, на которое откладывается передача кадра, равно $\tau_{\max} = 51,2 \text{ мкс} * 2^{10} \cong 52,4 \text{ мс}$.

6. *Повторная передача* или прекращение работы.

Станция может попытаться передать кадр до 16 раз, прежде чем прекратит свои попытки. В этом случае кадр остается не переданным.

При приёме данных станция, находящаяся в сети, должна выполнять следующие действия.

1. *Просмотр поступающих кадров* данных и обнаружение фрагментов.

В ЛВС Ethernet все станции просматривают все кадры, проходящие по каналу связи. При этом для каждого кадра проверяется, имеет ли он допустимую длину (не менее 64 байт), то есть не является ли он фрагментом, порожденным коллизией.

2. *Проверка адреса* получателя.

Если кадр данных не является фрагментом, принимающая станция проверяет адрес получателя кадра, чтобы определить, следует ли обрабатывать кадр.

Если кадр адресован данной станции, является широковещательным или имеет соответствующий групповой адрес, станция проверяет целостность кадра.

3. Проверка целостности кадра данных.

Для того, чтобы избежать обработки искаженных при передаче по каналу или некорректно сформированных на передающей станции кадров, принимающая станция должна проверить:

- *длину кадра*: если кадр длиннее 1518 байт, он считается переполненным; переполненные кадры могут появляться в результате неисправностей сетевого драйвера;

- *контрольную последовательность кадра* с помощью циклического избыточного кода;

- если контрольная последовательность некорректна, проверяется *выравненность кадра*: все кадры должны содержать целое число байт (например, не 122,5 байт).

Если контрольная последовательность кадра некорректна, но кадр содержит целое число байт (корректно выровнен), считается, что имеет место ошибка контрольной последовательности.

Таким образом, проверка кадра принимающей станцией заключается в определении:

- является ли кадр фрагментом;
- не слишком ли велика его длина;
- ошибочна ли его контрольная последовательность;
- корректно ли он выровнен.

Если какая-либо проверка завершилась неудачей, кадр уничтожается и его содержимое не передается для обработки протоколу сетевого уровня.

4. Обработка кадра.

Кадр, успешно прошедший все проверки, считается корректным, правильно сформированным и имеющим допустимую длину. Такой кадр освобождается от заголовка и концевика, а его содержимое передаётся для дальнейшей обработки протоколу сетевого уровня.

Если станция корректно подключена к сети, обладает исправными картами и трансиверами, то она должна принимать и передавать корректно сформированные кадры данных. Для проверки работоспособности сети используются анализаторы протоколов, которые обеспечивают проверку качества связи со станциями и с файл-сервером. Для этого используются специальные диагностические кадры в виде широковещательного сообщения, называемого кадром "пинг-понг", на который должны ответить станции сети.

3.2.4. Многосегментные ЛВС Ethernet

ЛВС Ethernet может объединять сегменты, построенные на основе разных типов кабелей: толстого или тонкого коаксиального кабеля, витой пары, волоконно-оптического кабеля. При этом количество сегментов в сети может превышать указанное ранее в соответствии с правилом «5-4-3»

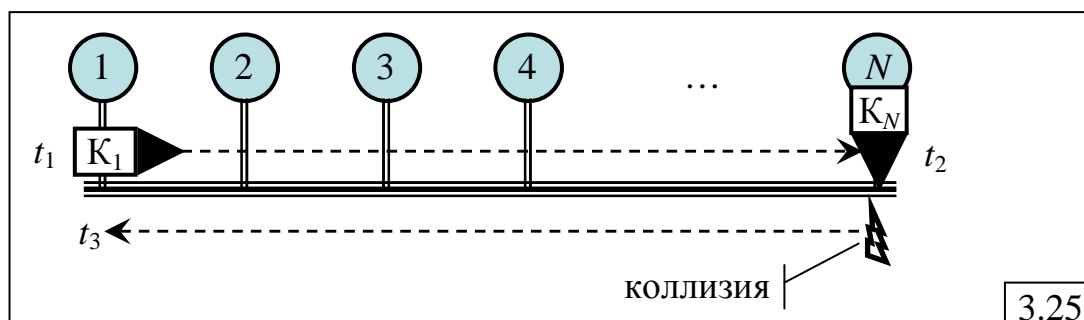
значение 5. Чтобы сеть Ethernet, состоящая из сегментов различной физической природы, работала корректно, необходимо выполнение четырех основных условий:

- количество станций в сети не более 1024;
- максимальная длина каждого сегмента не более величины, определенной в соответствующем стандарте физического уровня (500 м и 185 м – соответственно для толстого и тонкого коаксиального кабеля; 100 м – для неэкранированной витой пары; 2000 м – для оптоволоконного кабеля);
- время двойного оборота сигнала (Path Delay Value, PDV) между двумя самыми удаленными друг от друга станциями сети не более 575 битовых интервала;
- сокращение межкадрового интервала (Path Variability Value, PVV) при прохождении последовательности кадров через все повторители должно быть не больше, чем 49 битовых интервала. Так как при отправке кадров конечные узлы обеспечивают начальное межкадровое расстояние в 96 битовых интервалов, то после прохождения повторителей оно должно быть не меньше, чем $96 - 49 = 47$ битовых интервала.

Соблюдение этих требований обеспечивает корректность работы сети даже в тех случаях, когда нарушаются правила конфигурирования, определяющие максимальное количество повторителей и общую длину сети в 2500 м.

3.2.4.1. Условие корректности ЛВС

Для корректной работы сети Ethernet необходимо, чтобы станции всегда могли обнаружить коллизию, если она возникла в процессе передачи кадра. Если станция прекратит прослушивание среды передачи раньше, чем коллизия может произойти, передаваемый кадр будет потерян. Поэтому передающая станция должна обнаружить коллизию, которую вызвал переданный ею кадр, еще до того, как она закончит передачу этого кадра. Поскольку до начала передачи все станции сети прослушивают канал, то коллизия в худшем случае может возникнуть при передаче кадров между наиболее удаленными друг от друга станциями сети. Такая ситуация показана на рис.3.25.



В момент времени t_1 узел 1 начинает передачу кадра K_1 . Положим, что в момент t_2 , когда кадр K_1 почти достигает наиболее удалённого узла N , последний начинает передачу кадра K_N . В результате столкновения

кадров K_1 и K_N возникает коллизия, которая распространяется по каналу и в момент t_3 достигает узла 1. Таким образом, сигнал проходит дважды между наиболее удаленными друг от друга узлами сети в течение времени $T_{PDV} = t_3 - t_1$, которое называется *временем двойного оборота (Path Delay Value, PDV)*. Для распознавания такой коллизии узлом 1 необходимо, чтобы минимальное время T_{\min} передачи кадра этим узлом было больше *времени двойного оборота* T_{PDV} : $T_{\min} > T_{PDV}$.

Минимальное время T_{\min} передачи кадра связано с минимальной длиной кадра l_{\min} и пропускной способностью канала связи C соотношением: $T_{\min} = \frac{l_{\min}}{C}$.

Время двойного оборота T_{PDV} зависит от максимального расстояния между наиболее удаленными станциями ЛВС (длины кабельной системы) L и скорости распространения сигнала в кабеле v : $T_{PDV} = \frac{2L}{v}$, где скорость распространения сигнала зависит от типа передающей среды и определяется как $v = \frac{c}{2 \div 3}$ (c – скорость света).

Тогда *условие корректности ЛВС*, обусловленное необходимостью обнаружения всех возникающих в сети коллизий, примет вид:

$$\frac{l_{\min}}{C} > \frac{2L}{v}.$$

Последнее выражение может использоваться для определения максимального расстояния между наиболее удаленными станциями или для определения минимального размера кадра при заданном расстоянии:

$$L < \frac{vl_{\min}}{2C}; \quad l_{\min} > \frac{2LC}{v}.$$

Пример. Рассмотрим сети Fast Ethernet и Gigabit Ethernet.

Пусть: $v = 10^8 \text{ м/с}$; $l_{\min} = 64 \text{ байт} = 512 \text{ бит}$,

Пропускные способности сетей Fast Ethernet (FE) и Gigabit Ethernet (GE) соответственно равны: $C_{FE} = 10^8 \text{ бит/с}$ и $C_{GE} = 10^9 \text{ бит/с}$.

Тогда:

$$L_{FE} < \frac{10^8 * 512}{2 * 10^8} = 256 \text{ м} \quad \text{и} \quad L_{GE} < \frac{10^8 * 512}{2 * 10^9} = 25,6 \text{ м}.$$

Таким образом, диаметр сети Fast Ethernet не должен превышать 256 метров, а диаметр сети Gigabit Ethernet – 25 метров.

Очевидно, что столь маленький размер сети Gigabit Ethernet не мог удовлетворить ни разработчиков, ни пользователей сети.

Для увеличения диаметра сети Gigabit Ethernet хотя бы до 200 м необходимо увеличить минимальную длину кадра до значения:

$$l_{\min} > \frac{2LC}{v} = \frac{2 * 200 * 10^9}{10^8} = 4000 \text{ бит} = 500 \text{ байт.}$$

В ЛВС GigabitEthernet, как будет показано ниже, минимальная длина кадра увеличена до значения 512 байт, что позволило увеличить диаметр сети до 200 м.

3.2.4.2. Расчёт времени двойного оборота (PDV)

Для упрощения расчета PDV обычно используются справочные данные IEEE, содержащие значения задержек распространения сигналов в повторителях, приемопередатчиках и различных физических средах. В табл.3.3 приведены данные, необходимые для расчета значения PDV для всех физических стандартов сетей Ethernet.

Левый сегмент – это передающий сегмент. Затем сигнал проходит через **промежуточные сегменты** и доходит до наиболее удаленного **правого** (принимающего) сегмента. Именно здесь в худшем случае происходит столкновение кадров и возникает коллизия.

С каждым сегментом связана постоянная задержка, названная **базой**, которая зависит только от типа сегмента и от положения сегмента на пути сигнала (левый, промежуточный или правый). Кроме того, с каждым сегментом связана задержка распространения сигнала вдоль кабеля сегмента, которая зависит от длины сегмента и вычисляется путем умножения времени задержки сигнала на одном метре кабеля (в битовых интервалах) на длину кабеля в метрах.

Таблица 3.3

Тип сегмента	База левого сегмента, bt	База промежуточного сегмента, bt	База правого сегмента, bt	Задержка среды на 1 м, bt	Максим. длина сегмента, м
10Base-5	11,8	46,5	169,5	0,0866	500
10Base-2	11,8	46,5	169,5	0,1026	185
10Base-T	15,3	42,0	165,0	0,113	100
10Base-FB	-	24,0	-	0,1	2000
10Base-FL	12,3	33,5	156,5	0,1	2000
FOIRL	7,8	29,0	152,0	0,1	1000

Расчёт PDV выполняется для двух наиболее удаленных (по времени распространения сигнала) станций сети и заключается в вычислении задержек, вносимых каждым отрезком кабеля, и суммировании этих задержек с базами левого, промежуточных и правого сегментов. Общее значение PDV (сумма значений всех сегментов) не должно превышать 575 битовых интервалов. Это значение получено, исходя из минимальной длины кадра в 10-мегабитном Ethernet в 64 байта плюс преамбула 8 байт, всего 72 байта или 576 бит. Следовательно, время двойного оборота должно быть меньше 57,5 мкс.

Так как левый и правый сегменты имеют различные величины базовой задержки, необходимо выполнить расчеты дважды, поменяв при втором расчёте местами левый и правый сегменты сети.

На основе представленных в табл.3.3 значений задержки (в битовых интервалах) распространения сигнала по кабелю в расчете на 1 метр можно оценить скорость распространения сигнала по кабелю и соответствующие значения коэффициентов замедления (уменьшения скорости передачи сигнала по сравнению со скоростью света):

- для толстого коаксиального кабеля:

$$v_5 = \frac{1000}{8,66} 10^6 [м/с] \approx 115,5 * 10^6 [м/с] = 115500 [км/с]; \quad k_5 = \frac{300000}{115500} \approx 2,6;$$

- для тонкого коаксиального кабеля:

$$v_2 = \frac{1000}{10,26} 10^6 [м/с] \approx 97,5 * 10^6 [м/с] = 97500 [км/с]; \quad k_2 = \frac{300000}{97500} \approx 3,1;$$

- для витой пары:

$$v_T = \frac{1000}{11,3} 10^6 [м/с] \approx 88500 [км/с]; \quad k_T = \frac{300000}{88500} \approx 3,4;$$

- для оптического кабеля:

$$v_F = \frac{1000}{10} 10^6 [м/с] = 100000 [км/с]; \quad k_F = \frac{300000}{100000} = 3.$$

3.2.4.3. Расчёт уменьшения межкадрового интервала (PVV)

Для того чтобы определить корректность построения многосегментной сети, необходимо рассчитать уменьшение межкадрового интервала повторителями при передаче кадров в сети, то есть величину PVV.

Для расчета PVV используются рекомендованные институтом IEEE предельные значения (в битовых интервалах), определяющие уменьшение межкадрового интервала при прохождении повторителей различных физических сред. Эти значения для передающих и промежуточных сегментов приведены в табл.3.4.

Сумма этих величин дает значение PVV, которое должно быть меньше предельного значения в 49 битовых интервала.

Таблица 3.4

Тип сегмента	Передающий сегмент, bt	Промежуточный сегмент, bt
10Base-5 или 10Base-2	16	11
10Base-FB	-	2
10Base-FL	10,5	8
10Base-T	10,5	8

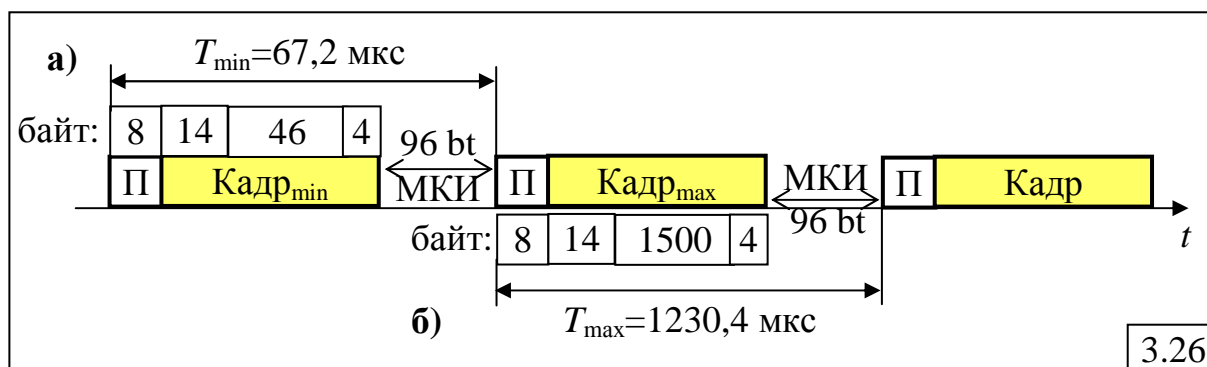
3.2.5. Расчет показателей производительности ЛВС Ethernet

В качестве показателей производительности среды передачи данных в ЛВС Ethernet используются следующие величины:

- **пропускная способность канала связи** C [бит/с], определяемая как предельная скорость передачи данных;
- **полезная (эффективная) пропускная способность канала связи** C_n [бит/с], определяемая как предельная скорость передачи данных пользователя без учета передаваемых служебных символов в заголовках и концевиках и без учета возможных простоев канала и коллизий;
- **реальная (фактическая) скорость передачи данных** C_p [бит/с], определяемая с учетом возможных простоев канала и коллизий;
- **пропускная способность среды передачи** Λ [кадров/с], измеряемая количеством кадров, передаваемых за единицу времени.

Выполним расчёт перечисленных характеристик применительно к ЛВС Ethernet с пропускной способностью $C=10$ Мбит/с.

Определим **пропускную способность** Λ [кадров/с] **среды передачи** для кадров минимальной (рис.3.26,а) и максимальной (рис.3.26,б) длины.



Кадр минимальной длины с преамбулой:

$$L_{\min} = 8 \text{ байт (преамбула)} + 64 \text{ байта (кадр)} = 72 \text{ байта} * 8 \text{ бит} = 576 \text{ бит};$$

$$T_{\min} = 576 \text{ бит} * 0,1 \text{ мкс} = 57,6 \text{ мкс} + 9,6 \text{ мкс (межкадр.интервал)} = 67,2 \text{ мкс};$$

$$\Lambda_{\max} = 1/T_{\min} \cong 14880 \text{ кадров / с.}$$

Кадр максимальной длины с преамбулой:

$$L_{\max} = 8 \text{ байт (преамб.)} + 1518 \text{ байта (кадр)} = 1526 \text{ байта} * 8 \text{ бит} = 12208 \text{ бит};$$

$$T_{\max} = 12208 \text{ бит} * 0,1 \text{ мкс} = 1220,8 \text{ мкс} + 9,6 \text{ мкс (межкадр.инт.)} = 1230,4 \text{ мкс};$$

$$\Lambda_{\min} = 1/T_{\max} \cong 813 \text{ кадров / с.}$$

Таким образом, в 10-мегабитной сети Ethernet без учёта возможных коллизий **максимально** может быть передано за одну секунду от **813 кадров** (максимальной длины) до **14 880 кадров** (минимальной длины).

Отсюда легко определить полезную (эффективную) пропускную способность и коэффициент использования канала связи при передаче кадров минимальной и максимальной длины:

$$C_{\min} = 14880 * 46 * 8 = 5,48 \text{ Мбит/с}; \quad k_{\min} = \frac{C_{\min}}{C} = 0,548;$$

$$C_{\max} = 813 * 1500 * 8 = 9,76 \text{ Мбит/с}; \quad k_{\max} = \frac{C_{\max}}{C} = 0,976.$$

Полученные значения показателей производительности и коэффициента использования канала связи не учитывают *простоты сети* и возникающие при передаче данных *коллизии*, значительно снижающие реальную пропускную способность ЛВС Ethernet.

3.2.6. Достоинства и недостатки ЛВС Ethernet

В качестве достоинств ЛВС Ethernet следует отметить:

- *простоту установки и эксплуатации;*
- *невысокую стоимость реализации, обусловленную простотой и невысокой стоимостью сетевых адаптеров и концентраторов;*
- возможность использования *различных типов кабеля* и схем прокладки кабельной системы.

К недостаткам сети Ethernet можно отнести:

- *снижение реальной скорости* передачи данных в сильно загруженной сети, вплоть до ее полной остановки;
- *трудности поиска неисправностей:* при обрыве кабеля отказывает весь сегмент ЛВС и локализовать неисправный узел или участок сети достаточно сложно.

3.3. Высокоскоростные технологии Ethernet

Первыми высокоскоростными технологиями для передачи данных по сети Ethernet со скоростью 100 Мбит/с были две конкурирующие технологии – Fast Ethernet и 100VG-AnyLAN.

3.3.1. Fast Ethernet

Fast Ethernet (Быстрый Ethernet) – высокоскоростная технология, предложенная фирмой 3Com для реализации сети Ethernet со скоростью передачи данных 100 Мбит/с, *сохранившая в максимальной степени особенности 10-мегабитного Ethernet (Ethernet-10) и реализованная в виде стандарта 802.3u.*

Основной целью при разработке технологии Fast Ethernet было обеспечение преемственности по отношению к 10-мегабитному Ethernet за счёт сохранения формата кадров и метода доступа CSMA/CD, что позволяет использовать прежнее программное обеспечение и средства управления сетями Ethernet. Одним из требований было также использование кабельной системы на основе витой пары категории 3, получившей на момент появления Fast Ethernet широкое распространение в сетях Ethernet-10. В связи с этим все отличия Fast Ethernet от Ethernet-10 сосредоточены на физическом уровне.

В Fast Ethernet предусмотрены 3 варианта *кабельных систем*:

- *многомодовый ВОК (используется 2 волокна);*

- витая пара категории 5 (используется 2 пары);
- витая пара категории 3 (используется 4 пары).

Структура сети – иерархическая древовидная, построенная на концентраторах (как 10Base-T и 10Base-F), поскольку не предусматривалось использование коаксиального кабеля.

Диаметр сети Fast Ethernet, как показано в п.3.2.5, составляет немногим более 200 метров, что объясняется уменьшением времени передачи кадра минимальной длины в 10 раз в результате увеличения пропускной способности канала в 10 раз по сравнению с Ethernet-10. Тем не менее, возможно построение крупных сетей на основе технологии Fast Ethernet, благодаря появлению в начале 90-х годов прошлого века коммутаторов. При использовании коммутаторов протокол Fast Ethernet может работать в полнодуплексном режиме, в котором нет ограничений на общую длину сети, а остаются только ограничения на длину физических сегментов, соединяющих соседние устройства (адаптер – коммутатор или коммутатор – коммутатор).

Стандарт IEEE 802.3u определяет 3 спецификации физического уровня Fast Ethernet, несовместимых друг с другом:

- 100Base-TX – для передачи данных используются две неэкранированные пары UTP категории 5 или STP Type 1;
- 100Base-T4 – для передачи данных используются четыре неэкранированных пары UTP категорий 3, 4 или 5;
- 100Base-FX – для передачи данных используются два волокна многомодового ВОК.

3.3.1.1. Спецификации 100Base-TX и 100Base-FX.

Технологии 100Base-TX и 100Base-FX, несмотря на использование разных кабельных систем, имеют много общего с точки зрения построения и функционирования, в том числе, одинаковый метод логического кодирования – 4В/5В при различных методах физического кодирования – **MLT-3** в 100Base-TX и **NRZI** в 100Base-FX.

Кроме того, в технологии 100Base-TX имеется функция автопереговоров, обеспечивающая автоматическое определение скорости передачи (10 или 100 Мбит/с) между двумя связанными устройствами (CA, концентратор, коммутатор) путем послышки при подключении пачки специальных импульсов FLP – Fast Link Pulse burst – со стороны устройства, которое может работать на скорости 100 Мбит/с. Если встречное устройство не откликается на эти импульсы, это означает, что оно может работать только на скорости 10 Мбит/с, и первое устройство устанавливает режим передачи данных 10 Мбит/с.

3.3.1.2. Спецификация 100Base-T4.

К моменту появления Fast Ethernet большинство ЛВС Ethernet в качестве кабельной системы использовали неэкранированную витую пару категории 3. Желание сохранить кабельную систему 10-мегабитных ЛВС

Ethernet обусловило применение специального метода логического кодирования – 8В/6Т, обеспечившего более узкий спектр сигнала, что при скорости 33 Мбит/с позволило уложиться в полосу 16 МГц витой пары категории 3.

При кодировании 8В/6Т 8 бит заменяются 6-ю троичными цифрами. Длительность одной троичной цифры – 40 нс. Следовательно, один байт передается за 240 нс ($6 \cdot 40$ нс), что соответствует скорости передачи в 33,3 Мбит/с. Для передачи данных используется 3 пары УТР категории 3 ($3 \cdot 33,3$ Мбит/с = 100 Мбит/с), и еще одна пара используется для прослушивания несущей с целью обнаружения коллизий.

Скорость изменения сигнала на каждой паре составляет: $1/(40 \text{ нс}) = 25$ Мбод, что позволяет использовать витую пару категории 3.

3.3.1.3. Правила построения многосегментных ЛВС Fast Ethernet

1. Повторители Fast Ethernet делятся на два класса:

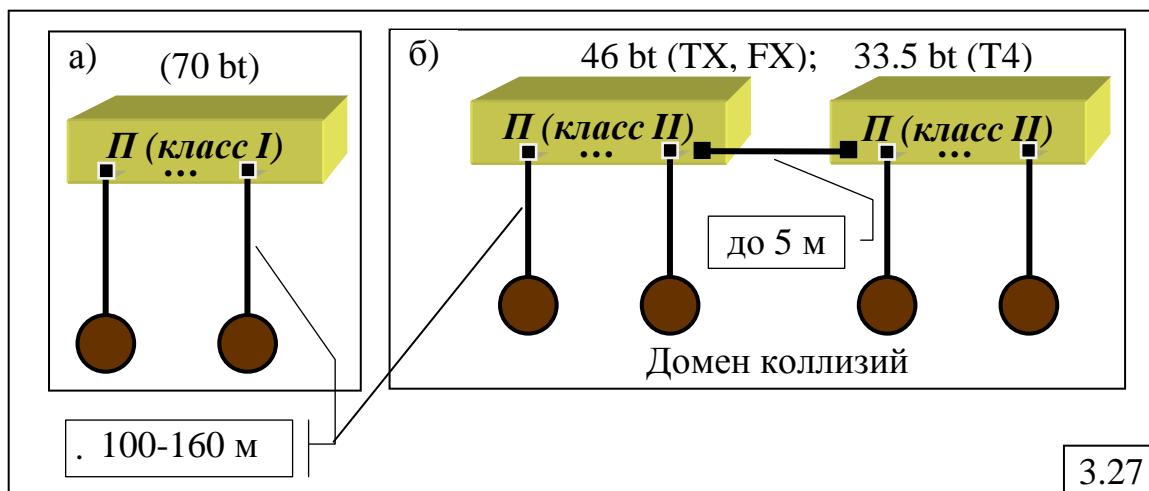
- **класс I** – поддерживает все виды логического кодирования (4В/5В, 8В/6Т) и может иметь порты всех трех типов физического уровня: 100Base-TX, 100Base-T4 и 100Base-FX;

- **класс II** – поддерживает только один вид логического кодирования (4В/5В или 8В/6Т) и имеет либо все порты 100Base-T4, либо порты 100Base-TX и 100Base-FX, так как последние используют один логический код 4В/5В.

2. Максимальное число повторителей (П) в одном домене коллизий:

- только **1** повторитель *класса I* из-за большой задержки распространения сигнала – 70 bt , обусловленной необходимостью транслировать различные системы сигнализации (рис.3.27,а);

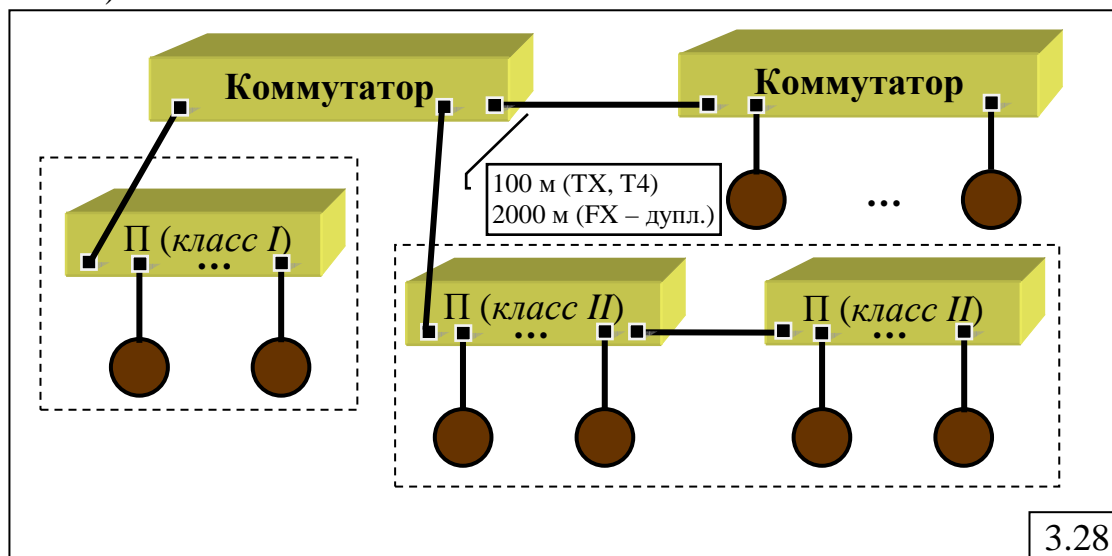
- **2** повторителя *класса II*, вносящих меньшую задержку при передаче сигналов: 46 bt для портов 100Base-TX и 100Base-FX и $33,5 \text{ bt}$ для портов 100Base-T4 (рис.3.27,б).



3. Максимальное расстояние от повторителя до рабочей станции зависит от типа кабельной системы и составляет 100-160 м.

4. Максимальное расстояние между повторителями класса II – 5 м.

5. Несколько доменов коллизий могут объединяться с помощью коммутаторов и маршрутизаторов, образуя сети произвольных размеров (рис.3.28)



3.3.2. 100VG-AnyLAN

100VG-AnyLAN – технология, разработанная фирмами IBM и Hewlett-Packard на основе технологии 100Base-VG (Voice Grade) для передачи данных со скоростью 100 Мбит/с с использованием протоколов (кадр) ЛВС Ethernet или Token Ring (AnyLAN).

Предшествующая технология 100Base-VG разрабатывалась для передачи данных в сети Ethernet со скоростью 100 Мбит/с по неэкранированной витой паре (UTP) категории 3, широко используемой для передачи речи и называемой по этой причине кабелем VG (Voice Grade). В 100VG-AnyLAN, как и в 100Base-VG, вместо CSMA/CD реализован метод доступа с приоритетами (Demand Priority) и новая схема кодирования данных Quartet Coding (квартетное кодирование), благодаря которому данные передаются со скоростью 25 Мбит/с по 4-м парам UTP одновременно, что в сумме дает 100 Мбит/с.

Метод Demand Priority заключается в следующем. Станция, имеющая кадр для передачи, посылает низкочастотный сигнал концентратору, запрашивая низкий приоритет для обычных данных и высокий для данных, чувствительных к временным задержкам (например, речь и видео). Если сеть свободна, концентратор разрешает передачу кадра. После анализа адреса получателя в принятом кадре концентратор отправляет кадр станции назначения. Это означает, что в отличие от концентратора Ethernet, концентратор 100VG-AnyLAN работает на 2-м уровне OSI-модели. Если же сеть занята, концентратор ставит полученный запрос в очередь, которая обрабатывается в порядке поступления запросов с учетом приоритетов: запросы с более высоким приоритетом выполняются первыми.

Метод доступа к среде передачи данных – детерминированный.

Максимальное число станций в сети – 1024.

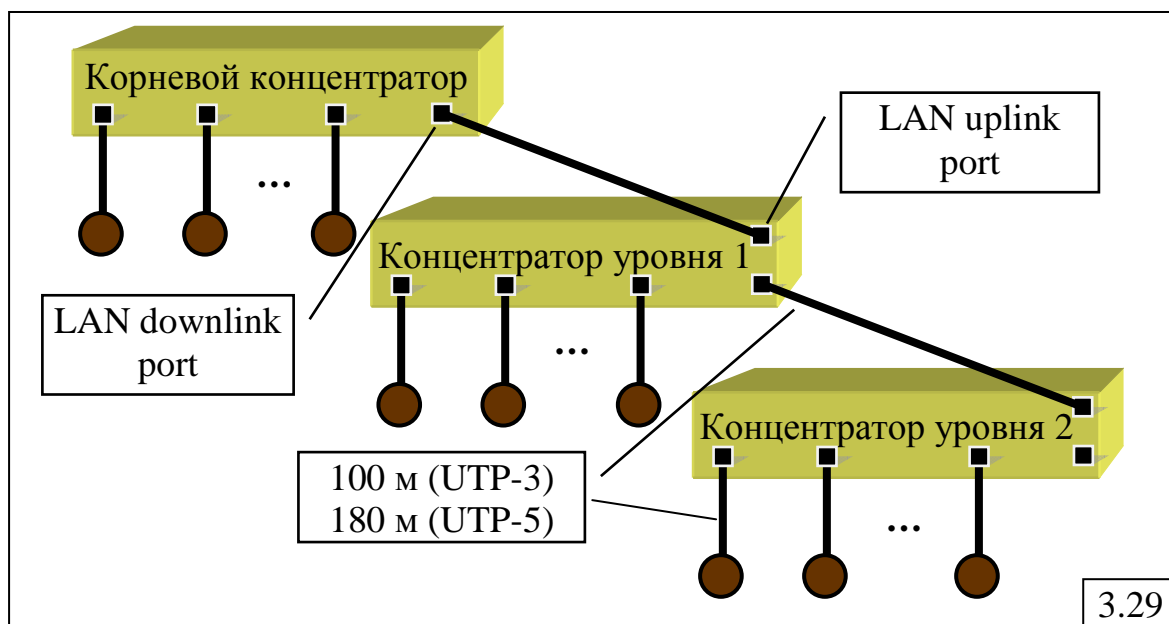
Максимальная *протяженность сети* – 3 км.

Максимальное *расстояние между станциями*:

- 100 м – для витой пары (UTP категории 3);
- 180 м – для витой пары (UTP категории 5).

Топология сети 100VG-AnyLAN очень похожа на топологию сетей 10Base-T и Token Ring, а именно логическая общая шина и маркерное кольцо соответственно, в то же время физическая топология обязательно "звезда", при этом *петли* и *ветвления* не допускаются.

Связующим элементом сети 100VG-AnyLAN является коммутирующий **концентратор**, причём допускается *три уровня* каскадирования (рис.3.29).



Концентратор сети 100VG-AnyLAN имеет два вида портов:

- LAN downlink port (порт связи "вниз") – предназначен для подключения конечных узлов и концентраторов нижнего уровня;
- LAN uplink port (порт связи "вверх") – предназначен для подключения концентратора верхнего уровня.

Кроме концентраторов в сети 100VG-AnyLAN могут использоваться:

- коммутаторы;
- маршрутизаторы;
- сетевые адаптеры.

Стандарт IEEE 802.12 поддерживает 3 типа кадров:

- IEEE 802.3 – Ethernet;
- IEEE 802.5 – Token Ring;
- IEEE 802.12 – кадры тестирования соединений в 100VG-AnyLAN.

В одном сегменте сети может поддерживаться только один тип кадров передачи данных – либо Ethernet, либо Token Ring.

Одной из составляющих стандарта IEEE 802.12 является **протокол приоритетных запросов** (Demand Priority Protocol – DPP).

DPP назначает порядок обработки запросов и установления соединений между конечными узлами. Если конечный узел готов

отправить кадр, он передает концентратору запрос обычного или высокого приоритета. Если узлу или концентратору нечего передать, он отправляет сигналы режима ожидания (Idle – незанят). Корневой концентратор опрашивает все свои узлы, в том числе концентраторы нижнего уровня, принимая от них сигналы Idle. Если узел не активен (компьютер выключен), он, естественно, не генерирует такие сигналы. Концентратор циклически опрашивает порты, начиная с порта с меньшим номером, выясняя их готовность к передаче. Если одновременно к передаче готовы несколько узлов, то концентратор анализирует их запросы с учетом:

- приоритета запроса;
- физического номера порта, к которому подключен передающий узел.

Высокий приоритет назначается:

- приложениям, критичным ко времени реакции;
- порту концентратора.

При каскадном соединении концентраторов доступ к среде передачи данных реализуется протоколом DPP следующим образом:

- 1) запрос от узла, подключённого к концентратору нижнего уровня, транслируется на концентратор более высокого уровня;
- 2) при опросе порта *LAN downlink port* инициируется опрос всех портов концентратора нижнего уровня, и только после этого возобновляется опрос портов концентратора более высокого уровня.

Основные достоинства технологии 10VG-AnyLAN:

- возможность использования существующей кабельной системы сети 10Base-T;
- *отсутствие потерь производительности из-за конфликтов* в среде передачи данных;
- возможность построения протяженных (до 4 км) сетей без использования коммутаторов.

3.3.3. Gigabit Ethernet

Высокоскоростная технология Gigabit Ethernet обеспечивает пропускную способность системы телекоммуникации в 1 Гбит/с и описана в рекомендациях 802.3z и 802.3ab (на UTP 5-й категории).

Особенности технологии Gigabit Ethernet:

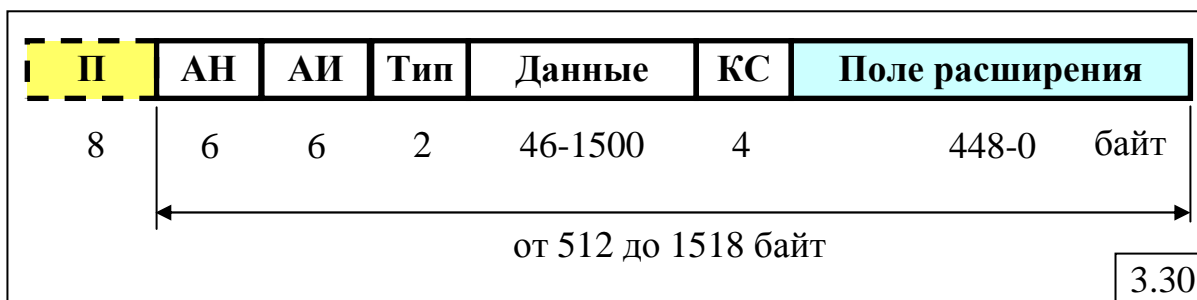
- сохранены все виды кадров, используемых в предыдущих технологиях Ethernet;
- предусмотрено использование двух версий протокола доступа к среде передачи данных:
 - *полудуплексная* версия протокола с методом доступа CDMA/CD;
 - *полнодуплексная* – с коммутаторами;
- предусмотрено использование следующих типов кабеля:
 - ВОК;
 - витая пара категории 5;

➤ коаксиальный кабель.

По сравнению с технологиями Ethernet-10 и Fast Ethernet изменения имеются как на физическом уровне, так и на уровне MAC.

Для обеспечения диаметра сети до 200 м реализованы следующие решения.

1. Увеличен минимальный размер кадра с 64 до 512 байт, что составляет 4096 битовых интервалов (bt). Кадр дополняется до 512 байт полем *расширения* (extension) размером от 448 до 0 байт, заполненным запрещенными символами кода 8В/10В (рис.3.30).



2. Для уменьшения накладных расходов конечным узлам разрешено передавать несколько кадров подряд, без освобождения среды передачи для других станций. Такой режим передачи называется «*Burst Mode*». При этом станция может передать подряд несколько кадров с общей длиной 8192 байта = 65536 бит.

В стандарте 802.3z определены следующие типы физической среды:

- одномодовый ВОК;
- многомодовый ВОК 62,5/125;
- многомодовый ВОК 50/125;
- двойной коаксиал с волновым сопротивлением 75 Ом;
- многомодовый кабель.

Спецификации кабельных систем технологии Gigabit Ethernet представлены в табл.3.5.

Таблица 3.5

IEEE 802.3z	1000Base-SX	1000Base-LX
Физическая среда	Одно (о/м)- и многомодовый (м/м) ВОК	
Длина волны	850 нм	1300 нм
Длина сегмента	до 500 м (м/м ВОК)	5000 м (о/м ВОК)
	100 м (дупл.)	550 м (м/м ВОК)

Gigabit Ethernet может быть реализована на витой паре категории 5 (рекомендация IEEE 802.3ab) с использованием 4-х пар проводников, по которым одновременно передаются данные со скоростью 1000 Мбит/с. Следовательно, каждая пара должна обеспечить скорость 250 Мбит/с. Используемый метод кодирования – PAM-5 (5 уровней потенциала).

Максимальная частота спектра несущей при передаче двухбитовых символов кода PAM-5 составляет 62,5 МГц. С учетом передачи первой гармоники протоколу 1000Base-T требуется полоса частот до 125 МГц.

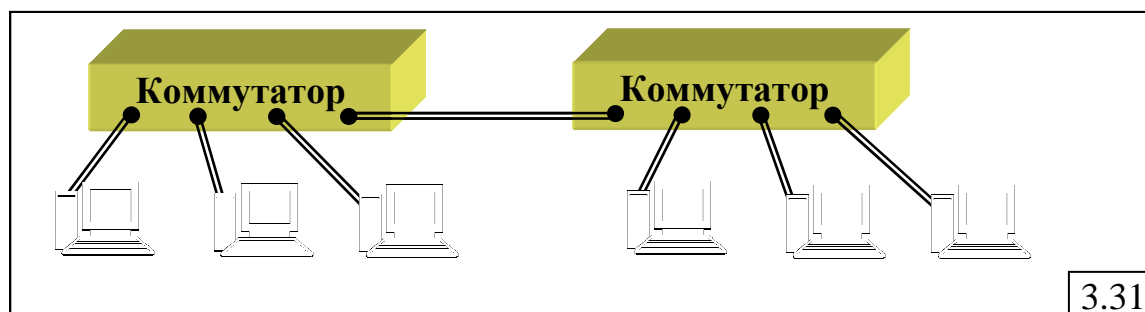
3.3.4. 10Gigabit Ethernet

Ряд фирм производителей, включая Cisco System, Foundry Networks и Nortel, разработали оборудование для сетей Ethernet с пропускной способностью 10 Гбит/с. В 2002 году утверждена спецификация IEEE 802.3ae (10GEthernet), предусматривающая использование волоконно-оптических кабелей. В 2006 году принят стандарт 10GBase-T (IEEE 802.3an-2006), использующий для передачи данных на расстояние до 100 метров экранированную витую пару категории 6 или 6а.

Технология 10GEthernet предназначена для передачи данных на значительные расстояния, что позволяет операторам связи предлагать своим клиентам новые услуги по объединению локальных сетей. Технология 10GEthernet увеличивает протяженность сетей Ethernet до нескольких десятков километров (в зависимости от длины волны оптического сигнала и типа используемого кабеля).

Основные особенности ЛВС 10GEthernet:

- 1) реализован только дуплексный режим на основе коммутаторов (рис.3.31);
- 2) специфицированы три группы стандартов физического уровня: 10GBase-X (спецификация 10GBase-LX4), 10GBase-R, 10GBase-W;
- 3) передающая среда – волоконно-оптический кабель.



Спецификации кабельных систем технологии Gigabit Ethernet представлены в табл.3.6.

В группе 10GBase-X предусмотрена только одна спецификация: 10GBase-LX4, где L – означает, что используется второй диапазон прозрачности – 1310 нм.

В группах 10GBase-R и 10GBase-W реализованы 3 по спецификации в зависимости от длины волны:

- 1) 10GBase-RS и 10GBase-WS;
- 2) 10GBase-RL и 10GBase-WL;
- 3) 10GBase-RE и 10GBase-WE,

где S – означает, что используется первый диапазон прозрачности (850 нм); L – второй диапазон прозрачности (1310 нм); E – третий диапазон прозрачности (1550 нм).

Таблица 3.6

10 GEthernet	10GBase-LX4	10GBase-Rx 10GBase-Wx
Метод кодирования	8B/10B	64B/66B
Длина волны	1310 нм	850 нм (x=S)
		1310 нм (x=L)
		1550 нм (x=E)
<Количество волн>* <Проп.способн.>	4*2,5 Гбит/с =10 Гбит/с	1*10 Гбит/с
Расстояние между передатчиком и приемником	до 300 м (м/м ВОК)	40 км (для 10GBase-RE и 10GBase-WE)
	10 км (о/м ВОК)	

Максимальное расстояние между передатчиком и приемником для окна прозрачности E может достигать 40 км, что позволяет строить территориально протяженные транспортные сети.

3.3.5. 40Gigabit Ethernet и 100Gigabit Ethernet

В июне 2010 года IEEE принял новый стандарт IEEE 802.3ba в виде дополнения к стандарту IEEE 802.3 Ethernet, в котором предусмотрены две скорости передачи данных по сети Ethernet – 40 Гбит/с и 100 Гбит/с.

Основная цель разработки этого стандарта состояла в том, чтобы распространить протокол 802.3 на сверхвысокие скорости передачи данных, и при этом обеспечить максимальную совместимость интерфейсов со стандартом 802.3 с целью сохранения предыдущих инвестиций в сетевую инфраструктуру. Необходимость появления этого стандарта обусловлена всё возрастающим числом приложений и большими объемами передаваемых данных. Высокие требования к пропускной способности среды передачи данных значительно превышают существующие возможности Ethernet.

Стандарт 40/100 Gigabit Ethernet поддерживает дуплексный режим и ориентирован на различные типы (среды) физического уровня (PHY).

Основными целями разработки стандарта 40/100 Gigabit Ethernet были следующие:

- сохранение формата кадра 802.3, используемого на MAC-уровне;
- сохранение минимального и максимального размера кадра стандартов 802.3;
- обеспечение достоверности передачи данных на MAC-уровне – вероятность битовой ошибки (BER) не должна превышать 10^{-12} ;
- обеспечение поддержки открытой транспортной сети (OTN – The Open Transport Network) – высоконадежной среды для передачи разнородного трафика;

- обеспечение спецификаций физического уровня (PHY) для передачи по одномодовому оптическому волокну (SMF), многомодовому оптическому волокну (MMF), медным кабелям и объединительной плате (backplane).

Основными пользователями сетей IEEE 802.3ba могут стать производители систем и компонентов для серверов, сетей хранения данных, серверных ферм, высокопроизводительных вычислений, центров обработки данных, телекоммуникационных компаний, а также системных операторов. Использование всё более мощных серверных архитектур, центров обработки данных, сетей провайдеров и конечных пользователей делает, во многих случаях, среду передачи данных узким местом. Сети IEEE 802.3ba позволят устранить узкие места, обеспечивая надежную, масштабируемую архитектуру среды передачи данных для удовлетворения требований к пропускной способности.

Дальнейшие перспективы развития высокоскоростных технологий передачи данных связывают с разработкой сетей Ethernet со скоростью передачи 1 Тбит/с (**Terabit Ethernet**). Предполагается, что технология будет разработана к 2015 году, для чего придется решить немало проблем. Технологией, которая может обеспечить передачу всё возрастающего трафика, возможно, станет технология DWDM. Для этого, как отмечает один из создателей Ethernet Боб Меткалф, «необходимо преодолеть множество ограничений, включая 1550-нанометровые лазеры и модуляцию с частотой 15 ГГц. Для будущей сети нужны новые схемы модуляции, а также новое оптоволокно, новые лазеры, в общем, все новое. Неясно также, какая сетевая архитектура потребуется для ее поддержки. Возможно, оптические сети будущего должны будут использовать волокно с вакуумной сердцевиной или углеродные волокна вместо кремниевых. Операторы должны будут внедрять больше полностью оптических устройств и оптику в свободном пространстве (безволоконную)».

3.4. ЛВС Token Ring

3.4.1. Общие сведения

Token Ring (*маркерное кольцо*) – сетевая технология, в которой станции могут передавать данные только тогда, когда они владеют *маркером*, непрерывно циркулирующим по кольцу.

Технология Token Ring, предложенная фирмой IBM в 1985 году, описана в стандарте IEEE 802.5. Назначением Token Ring было объединение в сеть всех типов ЭВМ, выпускаемых фирмой – от ПК до больших ЭВМ.

Основные *технические характеристики* Token Ring:

- максимальное число станций в одном кольце – 256;
- максимальное расстояние между станциями зависит от типа передающей среды и составляет:

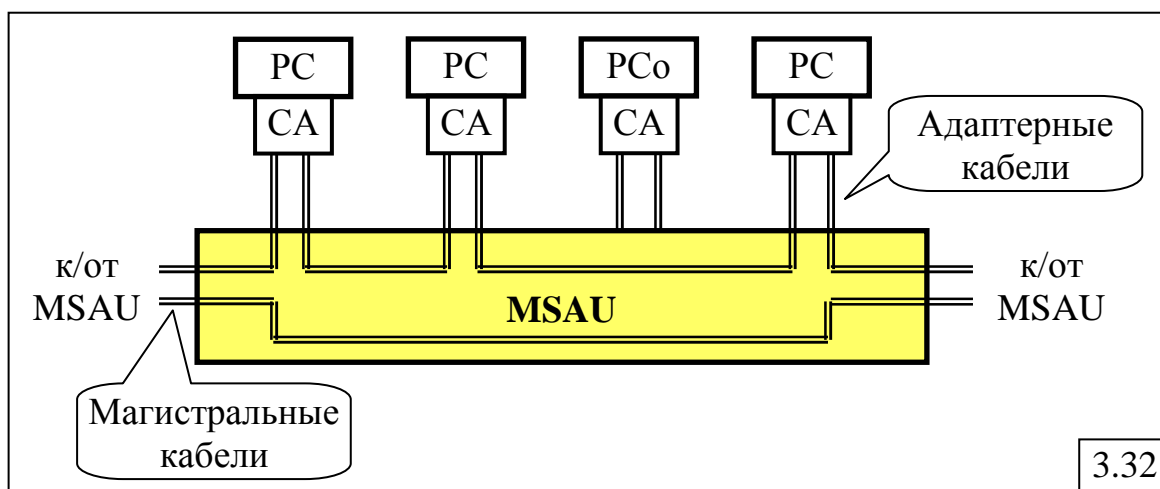
- 100 метров – для витой пары (УТР категории 4);
- 150 метров – для витой пары (IBM тип 1);
- 3000 метров – для оптоволоконного многомодового кабеля;
- до 8 колец могут быть соединены мостами.

Максимальная протяженность сети зависит от конфигурации.

Существуют два варианта технологии Token Ring, обеспечивающие скорость передачи данных 4 и 16 Мбит/с соответственно. Современные адаптеры Token Ring, поддерживают оба варианта.

3.4.2. Структурная организация Token Ring

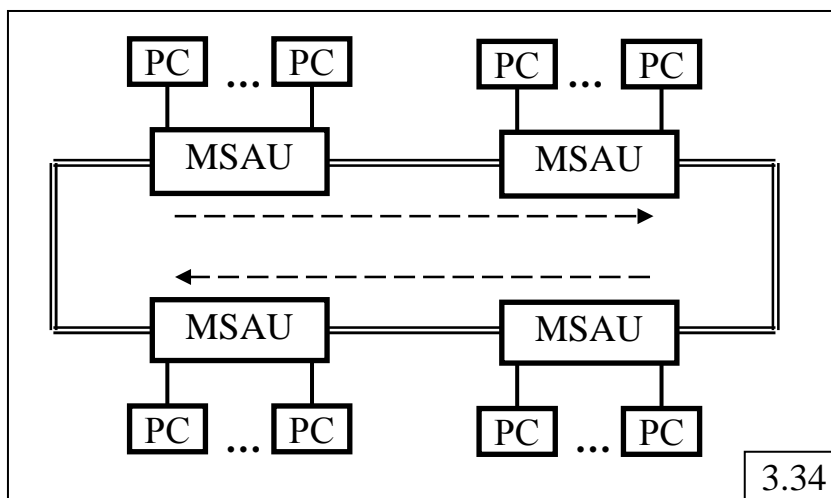
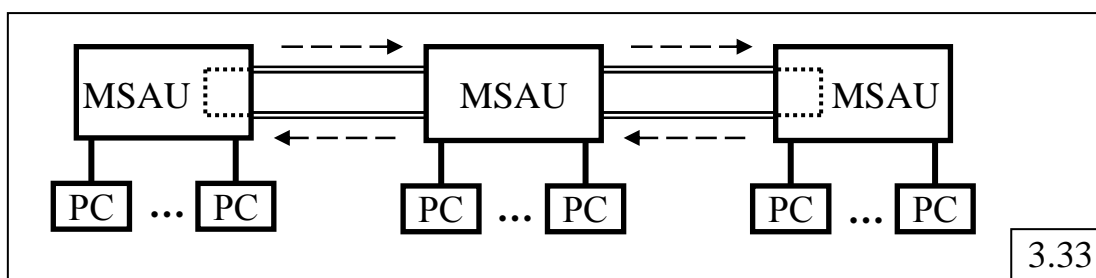
Физическая топология Token Ring "звезда" (рис.3.32) реализуется за счёт подключения всех компьютеров (рабочих станций, PC) через сетевые адаптеры (СА) к устройству множественного доступа (MSAU – Multistation Access Unit), которое осуществляет передачу кадров от узла к узлу и представляет собой концентратор Token Ring. MSAU имеет 8 портов для подключения компьютеров с помощью *адаптерных кабелей* и два крайних разъема для подключения к другим концентраторам. При включении компьютера, подсоединённого к MSAU, происходит автоматическое подключение к *магистральному* кабелю. В случае отказа или отключения станции MSAU организует обход порта этой станции, как это показано на рис.3.32 для станции PCo, при этом связность кольца сохраняется.



Логическая топология во всех способах – "кольцо". Пакет передается от узла к узлу по кольцу до тех пор, пока он не вернется в узел, где он был порожден.

Несколько MSAU могут конструктивно объединяться в группу (кластер, cluster), внутри которого абоненты соединены в кольцо, что позволяет увеличить количество абонентов, подключенных к одному центру.

Каждый адаптер соединяется с MSAU с помощью двух разнонаправленных линий связи. Такими же двумя разнонаправленными линиями связи, входящими в магистральный кабель, могут быть связаны MSAU в кольцо (рис.3.33), в отличие от однонаправленного магистрального кабеля, как это показано на рис.3.34.



В качестве среды передачи в сети Token Ring сначала использовалась витая пара (UTP, STP), затем появились варианты аппаратуры для коаксиального кабеля и оптоволоконного кабеля в стандарте FDDI.

3.4.3. Функциональная организация Token Ring

Каждый узел ЛВС принимает кадр от соседнего узла, восстанавливает уровни сигналов и передает кадр следующему узлу.

Передаваемый кадр может содержать данные (*кадр данных*) или являться маркером. *Маркер* – специальный служебный кадр, предоставляющий узлу, который им владеет, право на передачу данных.

Когда узлу необходимо передать кадр, его адаптер дожидается поступления маркера, а затем преобразует его в кадр, содержащий данные, сформированные по протоколу соответствующего уровня, и передает его в сеть. Кадр передается по сети от узла к узлу, пока не достигнет адресата, который установит в нем определенные биты для подтверждения того, что кадр получен адресатом, и ретранслирует его далее в сеть. Пакет продолжает движение по сети до возвращения в узел-отправитель, в котором проверяется правильность передачи. Если кадр был передан адресату без ошибок, узел может сформировать и передать очередной кадр данных (если таковой есть) или передать маркер следующему узлу. Количество кадров данных, которое может быть передано одним узлом, определяется *временем удержания маркера*, которое обычно составляет 10 мс. По истечении этого времени узел должен отдать маркер другому узлу. Маркер, как и кадр данных, перемещается по кольцу от узла к узлу. Если в узле, получившем маркер, нет данных (кадра) для передачи, то он

отправляет маркер к следующему узлу. Если в узле, получившем маркер, имеется кадр для передачи, то сравнивается уровень приоритета этого кадра (узла) со значением, так называемого *зарезервированного приоритета*, находящимся в поле маркера в виде *битов резервирования*. Если уровень приоритета кадра равен или больше значения зарезервированного приоритета, то узел захватывает маркер, присоединяет к нему кадр, формируя кадр данных, и передаёт его в сеть. В противном случае, если уровень приоритета кадра меньше значения зарезервированного приоритета, маркер направляется по кольцу к следующему узлу.

В процессе передачи маркера и кадра данных по кольцу каждый узел, принимая их, проверяет кадр на наличие ошибок и при их обнаружении устанавливает соответствующий *признак ошибки*, в соответствии с которым все остальные узлы игнорируют передаваемый кадр и просто ретранслируют его узлу-отправителю. Кроме того, каждый узел, имеющий данные для передачи, может в поле резервирования приоритета кадра или маркера установить уровень приоритета ожидающего кадра данных, если этот приоритет больше, чем значение, находящееся в этом поле и записанное предшествующими узлами. В конечном результате, кадр данных, вернувшийся после полного оборота по кольцу в узел-отправитель, будет иметь в поле резервирования приоритета значение, соответствующее максимальному уровню приоритета среди всех кадров, готовых к передаче.

Таким образом, в ЛВС Token Ring реализуется *приоритетное управление трафиком*, причём столкновения кадров невозможны, поскольку в каждый момент времени в сети передаётся только один кадр.

При передаче небольших кадров, например запросов на чтение файла, возникают дополнительные непроизводительные задержки на время, необходимое для полного оборота кадра по сети через множество станций и в течение которого сеть недоступна для передачи других кадров. Узел после передачи кадра мог бы отправить в ЛВС некоторое количество символов до возвращения в него отправленного кадра: от 50 до 100 символов в ЛВС со скоростью 4 Мбит/с и до 400 символов в ЛВС со скоростью 16 Мбит/с.

Для увеличения производительности сети в Token Ring со скоростью 16 Мбит/с используется так называемый *режим ранней передачи маркера* (Early Token Release – ETR), при котором узел передает маркер следующему узлу сразу после передачи своего кадра. Такая возможность обусловлена тем, что сеть Token Ring состоит из набора независимых межкомпьютерных связей, а не представляет собой единый кабель, проходящий через все компьютеры. С точки зрения передачи сигналов кадр от узла идет только до ближайшего соседа.

При инициализации ЛВС Token Ring одна из рабочих станций назначается в качестве *активного монитора*, на который возлагаются дополнительные контрольные функции в кольце:

- *временной контроль* в логическом кольце с целью выявления ситуаций, связанных с *потерей маркера*;
- *формирование нового маркера* после обнаружения потери маркера;
- *формирование диагностических кадров* при определенных обстоятельствах.

При выходе активного монитора из строя, назначается новый активный монитор из множества других РС. В качестве монитора автоматически может быть назначена станция, имеющая, например, наибольший MAC-адрес.

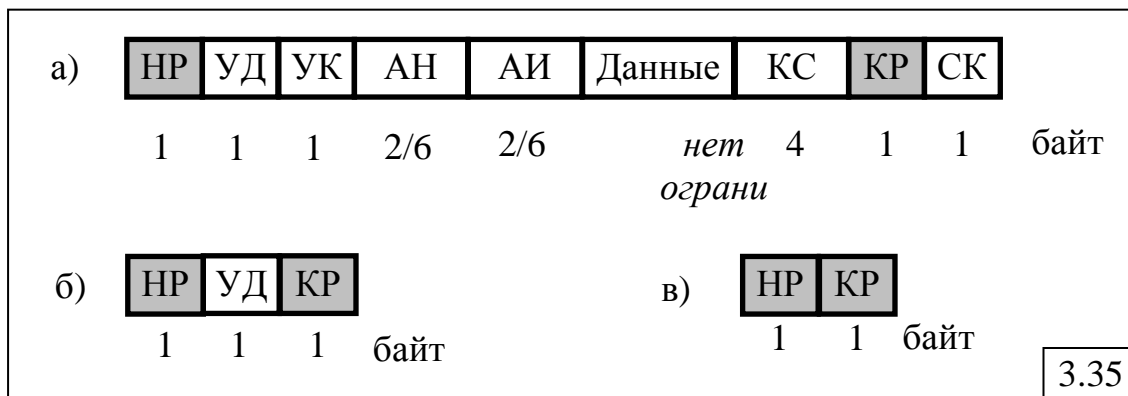
3.4.4. Форматы кадров

В сети Token Ring используются 3 типа кадров:

- кадр данных (рис.3.35,а);
- маркер (рис.3.35,б);
- последовательность завершения (рис.3.35,в).

Кадр данных – основной тип кадра, содержащий следующие поля (рис.3.35,а):

- **НР** – *начальный разделитель* (1 байт);
- **УД** – *управление доступом* (1 байт);
- **УК** – *управление кадром* (1 байт);
- **АН** – *адрес назначения* (2 или 6 байт);
- **АИ** – *адрес источника* (2 или 6 байт);
- **Данные** – *поле данных*;
- **КС** – *контрольная сумма* (4 байта);
- **КР** – *концевой разделитель* (1 байт);
- **СК** – *статус (состояние) кадра* (1 байт).



Маркер – служебный кадр, содержащий 3 однобайтовых поля (рис.3.35,б):

- **НР** – *начальный разделитель*;
- **УД** – *управление доступом*;
- **КР** – *концевой разделитель*.

Последовательность завершения – служебный кадр, который при необходимости используется для прекращения процесса передачи в любой момент времени, содержащий 2 однобайтовых поля:

- **НР** – *начальный разделитель*;

- **КР** – *концевой разделитель*.

3.4.4.1. Начальный и концевой разделители

Начальный разделитель (Start Delimiter – SD) и **концевой разделитель** (End Delimiter – ED) – уникальные битовые последовательности, указывающие соответственно на начало и конец кадра и имеющие вид:

НР:

J	K	0	J	K	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

 КР:

J	K	1	J	K	1	ПК	ОО
---	---	---	---	---	---	----	----

Здесь **J** и **K** – соответственно 1 и 0 в *дифференциальном* манчестерском коде; **0** и **1** – обычные нулевые и единичные значения; **ПК** – *бит промежуточного кадра*; **ОО** – *бит обнаруженной ошибки*.

Бит промежуточного кадра (Intermediate Frame) принимает значения:

- **1**, если данный кадр является промежуточным кадром многокадровой передачи;
- **0**, если кадр является последним или единственным.

Бит обнаруженной ошибки (Error-detected) устанавливается в **0** в момент создания кадра в узле-источнике и может быть изменен на значение **1** любым узлом, обнаружившим ошибку при прохождении кадра по сети. После этого кадр ретранслируется без контроля ошибок в последующих узлах до достижения узла-источника, который в этом случае предпримет повторную попытку передачи кадра.

Поля **НР** и **КР** входят в состав всех трёх кадров сети Token Ring.

3.4.4.2. Управление доступом

Поле **УД - Управление доступом** (Access Control) длиной 8 бит имеет следующую структуру:

P	P	P	T	M	R	R	R
---	---	---	---	---	---	---	---

Здесь **PPP** – *биты приоритета*; **T** – *бит маркера*: 1 для маркера и 0 для кадра данных; **M** – *бит монитора*: 1, если кадр передан активным монитором и 0 – в противном случае; **RRR** – *биты резервирования*.

В сети Token Ring, в отличие от сети Ethernet, предусмотрена возможность *приоритетной передачи* кадров за счёт присваивания сетевым адаптером приоритета маркеру и кадрам данных. Это реализуется путем записи в поле PPP уровня приоритета от 0 до 7 (7 – наивысший приоритет). Узел, получивший маркер, имеет право передать кадр только в том случае, если приоритет кадра не ниже приоритета маркера. В противном случае маркер передаётся следующему узлу.

Совместно с битами приоритета **PPP** используются биты резервирования **RRR**. Узлы сети в процессе передачи кадра по кольцу могут зарезервировать дальнейшее использование сети, поместив значение

приоритета кадра, ожидающего передачи, в биты резервирования **RRR**, если этот приоритет выше текущего значения поля резервирования. После этого, когда передающий узел, получив вернувшийся кадр данных, формирует новый маркер, он устанавливает его приоритет **PPP** равным значению поля резервирования **RRR** вернувшегося кадра. Таким образом, маркер будет передан узлу, установившему в поле резервирования наивысший приоритет.

Использование бита монитора **M** позволяет выявить ситуацию, когда кадр или маркер обошёл ЛВС по кольцу и не нашёл адресата.

Признаком этого является получение активным монитором кадра с битом монитора **M=1**.

3.4.4.3. Управление кадром

Кадр данных сети Token Ring может содержать в поле данных:

- *информацию для управления логическим кольцом* (данные уровня MAC), которой обмениваются адаптеры для выполнения функций контроля и управления работой логического кольца; такие кадры называются *кадрами управления доступом к среде* или **MAC-кадрами**;
- *пользовательские данные* (данные уровня LLC – **LLC-кадры**).

Поле **УК** – *управление кадром* (Frame Control – FC) – определяет тип кадра (MAC или LLC) и контрольный код MAC-кадра:

FF	00	CCCC
-----------	-----------	-------------

Здесь: **FF** – тип кадра: **00** – для MAC-кадра; **01** – для LLC-кадра (значения **10** и **11** зарезервированы и не используются); **00** – резервные разряды; **CCCC** – *код MAC-кадра*, определяющий к какому типу (определенных стандартом IEEE 802.5) управляющих кадров уровня MAC он принадлежит.

Существует 25 типов MAC-кадров, которые можно разделить на следующие группы:

- кадры инициализации станции (5 типов);
- кадры управления средой (5 типов);
- кадры сообщений об ошибках (3 типа);
- кадры управления станциями (12 типов).

Примеры MAC-кадров:

0000 – **тест дублирования адреса** – передается рабочей станцией, впервые присоединяемой к логическому кольцу, чтобы убедиться, что ее адрес является уникальным;

0010 – **очистка кольца** – передается в случае обнаружения серьезных проблем в ЛВС, таких как обрыв в кабеле или начало передачи узлом до получения им маркера; для локализации проблемы диагностическим программам достаточно определить узел, который передает это сообщение;

0011 – **требование маркера** – если запасной монитор обнаруживает, что активный монитор перестал функционировать, он приступает к передаче кадров с требованием маркера; запасные мониторы в этом случае начинают процесс взаимодействия друг с другом, чтобы назначить новый активный монитор;

0100 – **аварийная сигнализация (чистка)** – передается после инициализации логического кольца, и после установки нового активного монитора;

0101 – **наличие (присутствие) активного монитора** – передается активным монитором достаточно часто для уведомления других РС о том, что активный монитор функционирует;

0110 – **наличие запасного (резервного) монитора** – передается запасными мониторами.

3.4.4.4. Адреса

В сети Token Ring могут использоваться адреса длиной 2 или 6 байт. Формат адресов сети Token Ring совпадает с форматом адресов сети Ethernet.

Первый бит (I/G – Individual/Group) *адреса назначения (АН)* является признаком индивидуального или группового адреса. Первый бит *адреса источника (АИ)* всегда равен 0.

Второй бит определяет тип адреса: универсальный или локальный (U/L – Universal/Local). Остальные биты определяют физический адрес узла.

3.4.4.5. Данные

Данные – *поле данных* может содержать пользовательские данные, полученные или предназначенные для протоколов сетевого уровня, таких как IPX, IP, или содержать один из типов кадров уровня MAC. Специального ограничения на длину поля данных нет, хотя практически оно возникает из-за ограничений на допустимое время удержания маркера (10 мс) одной станцией. За это время сеть со скоростью передачи 4 Мбит/с может передать:

$$4 \text{ Мбит/с} * 0,01 \text{ с} = 0,04 \text{ Мбит} = 40\ 000 \text{ бит} = 5 \text{ кбайт.}$$

Аналогично, сеть со скоростью передачи 16 Мбит/с может передать:

$$16 \text{ Мбит/с} * 0,01 \text{ с} = 0,16 \text{ Мбит} = 160\ 000 \text{ бит} = 20 \text{ кбайт.}$$

С учётом задержек при передаче данных и накладных расходов на заголовки и концевик кадра, принято считать, что максимальная длина поля данных не должна превышать **4 кбайт** и **18 кбайт** для ЛВС Token Ring с пропускной способностью 4 Мбит/с и 16 Мбит/с соответственно.

3.4.4.6. Контрольная сумма

Поле *контрольной суммы (КС)* содержит *остаток избыточной циклической суммы (CRC – Cyclic Redundancy Checksum)*, вычисленной с помощью полиномов типа CRC-32 для всех полей кадра, начиная с поля управления кадром (УК) и заканчивая полем данных. Остальные поля

содержат данные, изменяемые при распространении кадра по кольцу, например, бит монитора или биты резервирования в поле УД.

3.4.4.7. Статус кадра

Однобайтовое поле СК – *статус (состояние) кадра* (Frame Status – FS) – имеет следующий вид:

AC	RR	AC	RR
----	----	----	----

Здесь: R - резервный бит (4 бита); A – *бит (признак) распознавания адреса*; C – *бит (признак) копирования пакета*.

Так как контрольная сумма не охватывает поле СК, то каждое однобитное поле A и C в байте задублировано для гарантии достоверности передаваемых данных.

Узел-источник в процессе формирования кадра для передачи устанавливает в 0 биты A и C. Узел-приёмник, адрес которого совпал с адресом назначения, указанным в заголовке передаваемого кадра, после получения кадра устанавливает бит A в 1.

Если после копирования кадра в буфер узла-приёмника не обнаружено ошибок в кадре, то бит C также устанавливается в 1.

Таким образом, признаком успешной передачи кадра является возвращение кадра к источнику с битами: A=1 и C=1.

A=0 означает, что станции-адресата больше нет в сети или станция вышла из строя (выключена).

A=1 и C=0 означает, что произошла ошибка на пути кадра от источника к адресату (при этом также будет установлен в 1 бит обнаружения ошибки в концевом разделителе).

A=1, C=1 и бит обнаруженной ошибки OO=1 означает, что ошибка произошла на обратном пути кадра от адресата к источнику, после того как кадр был успешно принят узлом-адресатом.

3.4.5. Достоинства и недостатки ЛВС Token Ring

Достоинства Token Ring:

- *отсутствие конфликтов* в среде передачи данных;
- обеспечивается *гарантированное время доступа* всем пользователям сети;
- сеть Token Ring хорошо функционирует *при большой загрузке*, вплоть до загрузки в 100%, в отличие от Ethernet, в которой уже при загрузке 30% и более существенно возрастает время доступа, что крайне нежелательно для сетей реального времени;
- большой допустимый размер передаваемых данных в одном кадре (до 18 кбайт), по сравнению с Ethernet, обеспечивает более *эффективное функционирование сети при передаче больших объемов данных*;

- *реальная скорость передачи* данных в сети Token Ring с пропускной способностью 4 Мбит/с может оказаться выше, чем в 10-мегабитной сети Ethernet.

Недостатки Token Ring:

- более *высокая стоимость* сети Token Ring по сравнению с Ethernet, так как:
 - дороже адаптеры из-за более сложного протокола Token Ring;
 - дополнительные затраты на приобретение MSAU;
- *меньшие размеры* сети Token Ring по сравнению с Ethernet;
- пропускные способности сетей Token Ring в настоящее время значительно меньше пропускных способностей, достигнутых в ЛВС Ethernet (десятки Гбит/с и выше).

3.5. ЛВС FDDI

FDDI (Fiber Distributed Data Interface – оптоволоконный интерфейс распределения данных) – одна из первых высокоскоростных технологий ЛВС с пропускной способностью 100 Мбит/с, реализованная на волоконно-оптическом кабеле.

3.5.1. Общие сведения

Стандарт FDDI, разработанный Американским национальным институтом стандартов (ANSI – American National Standards Institute), реализован с максимальным соответствием стандарту IEEE 802.5 – Token Ring. Небольшие отличия от этого стандарта определяются необходимостью обеспечения *большой скорости* передачи данных на *большие расстояния*.

FDDI-технология предусматривает использование оптического волокна в качестве среды передачи, что обеспечивает:

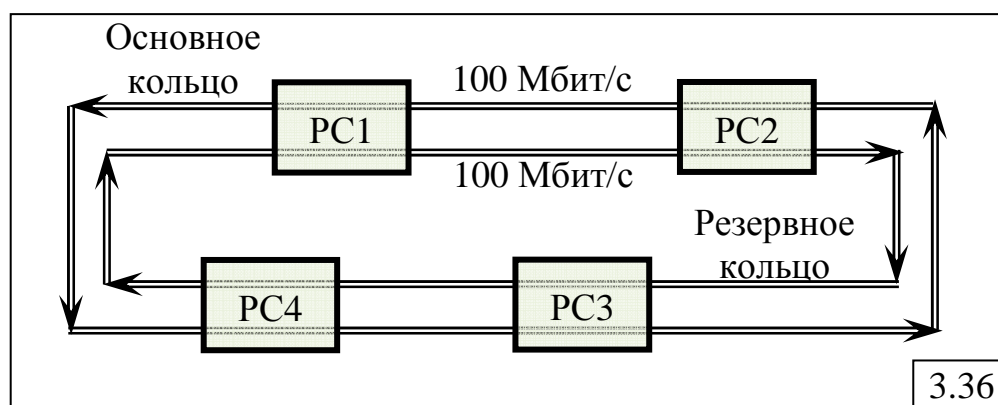
- *высокую надежность*;
- *гибкость реконфигурации*;
- *высокую скорость* передачи данных – 100 Мбит/с;
- *большие расстояния* между станциями (для многомодового волокна – 2 км; для одномодового при использовании лазерных диодов – до 40 км; длина сети – до 100 км).

3.5.2. Структурная организация сети FDDI

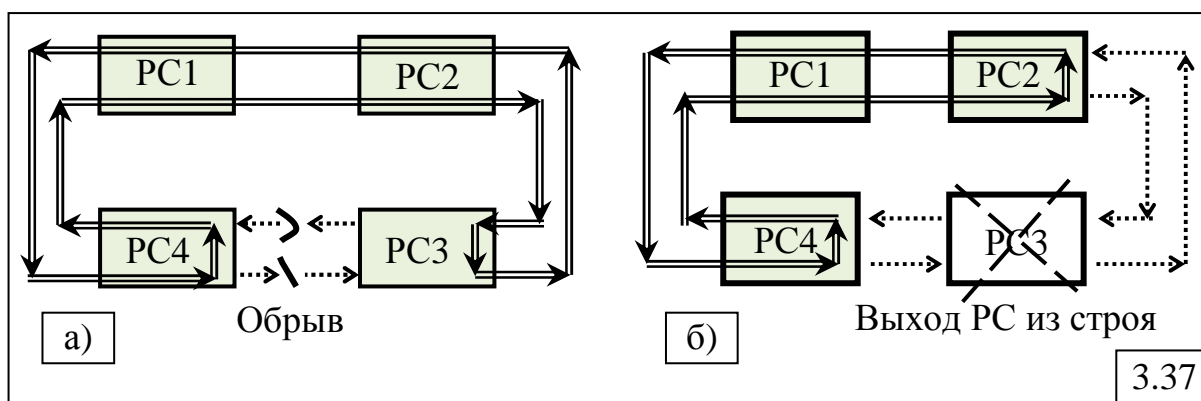
Топология сети FDDI – *двойное кольцо* (рис.3.36), причем применяются два разнонаправленных оптоволоконных кабеля, что позволяет использовать полнодуплексную передачу данных с удвоенной эффективной скоростью в 200 Мбит/с, при этом каждый из двух каналов работает со скоростью 100 Мбит/с.

Кольца сети FDDI образованы соединениями "точка-точка" между рабочими станциями (PC).

Станции, непосредственно включенные в кольцо, называются *станциями с двойным подключением* – DAS (Dual Attach Station).

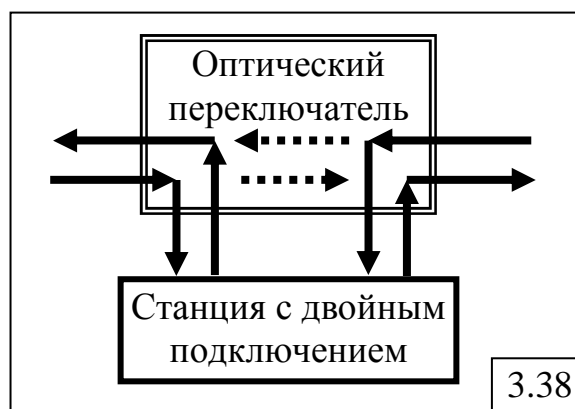


В нормальном режиме работы для передачи данных используется основное кольцо. Второе кольцо – резервное, обеспечивает передачу данных в противоположном направлении и автоматически активизируется в случае повреждения кабельной системы (рис.3.37,а) или возникновения неисправности на одной из станций (рис.3.37,б).



Можно дополнительно повысить надежность кольца FDDI, если использовать **оптический обходной переключатель** – OBS (Optical Bypass Switch) (рис.3.38).

В этом случае при выходе станции из строя она исключается из кольца, но целостность кольца при этом сохраняется, и резервное кольцо не задействуется. OBS вносит существенные потери излучения, что ограничивает число последовательно соединенных переключателей.



Соединение "точка-точка"

между станциями в кольце не только упрощает стандартизацию, но также позволяет одновременно применять на разных участках кольца одномодовые и многомодовые волокна. Это означает, что отдельная DAS-станция в кольце FDDI может связываться с дальним соседом (более 2 км) по одномодовому волокну и иметь лазерные диоды в передающей системе физического уровня, а с ближним соседом (менее 2 км) – по многомодовому волокну и использовать недорогие светоизлучательные диоды.

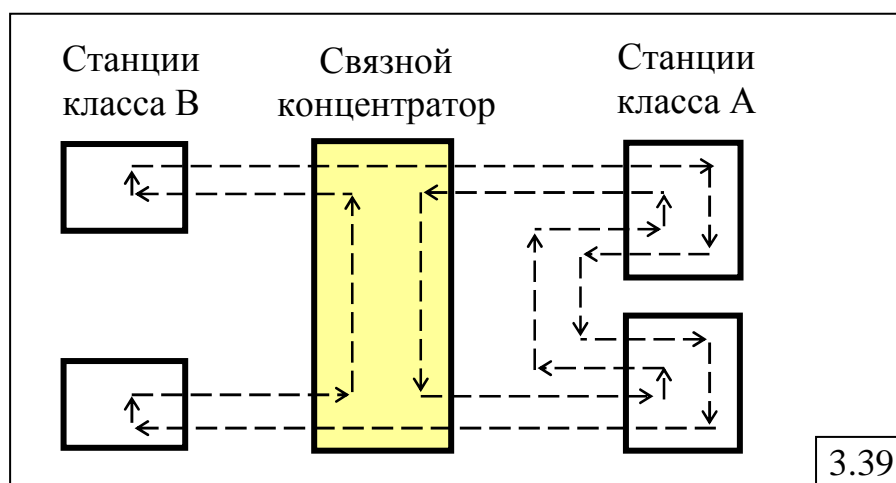
Стандарт FDDI для достижения высокой гибкости сети предусматривает применение сетевых адаптеров двух типов:

- **адаптеры класса А**, подключающиеся к внутреннему и внешнему кольцам сети, что позволяет реализовать возможность обмена со скоростью 200 Мбит/с или же возможность резервирования кабеля сети (при повреждении основного кабеля используется резервный кабель); эти адаптеры используются в самых критичных частях сети;
- **адаптеры класса В**, подключающиеся только к внешнему кольцу сети; эти адаптеры более простые и дешевые и не имеют возможностей адаптеров класса А.

Кроме собственно абонентов (компьютеров, терминалов и т.д.) в сети FDDI могут использоваться **связные концентраторы**, которые обеспечивают:

- *контроль* за работой сети, диагностику неисправностей и упрощение реконфигурации за счет объединения в одном месте всех точек подключения;
- *преобразование* электрических сигналов в оптические и наоборот при применении кабелей разных типов (оптоволоконных и электрических).

Пример конфигурации сети FDDI с использованием связных концентраторов представлен на рис.3.39.



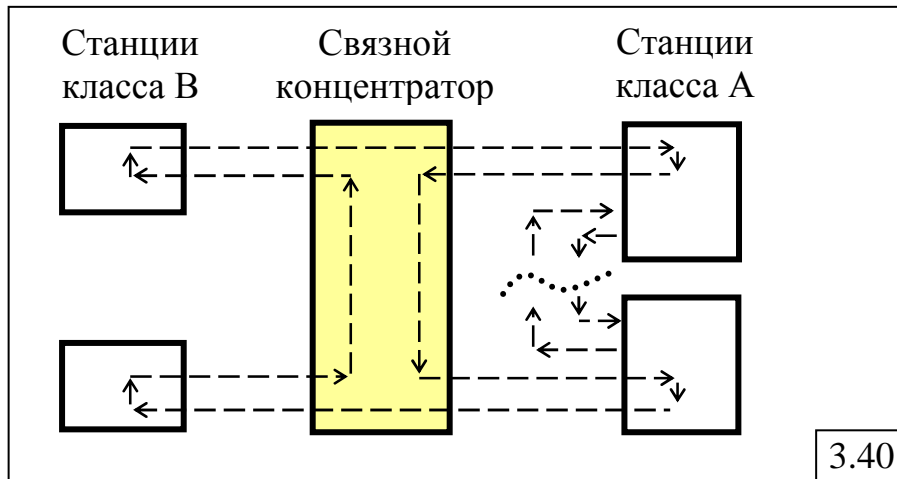
В случае повреждения кабеля поврежденный участок кабеля исключается из кольца, но целостность сети при этом не нарушается вследствие перехода на одно кольцо вместо двух, т.е. адаптеры класса А начинают работать как адаптеры класса В (рис.3.40).

Для **кодирования** передаваемых данных в FDDI применяется код 4В/5В, специально разработанный для этого стандарта. Использование символов, представляющих 4 бита (полубайт или *ниббл*), позволяет аппаратным средствам FDDI оперировать с полубайтами или байтами, а не с битами, тем самым способствуя увеличению скорости обмена.

3.5.3. Функциональная организация FDDI

За основу стандарта FDDI был взят метод маркерного доступа, описанный в протоколе IEEE 802.5 Token Ring. Основные отличия метода

доступа FDDI от метода, специфицированного протоколом IEEE 802.5, заключаются в следующем.

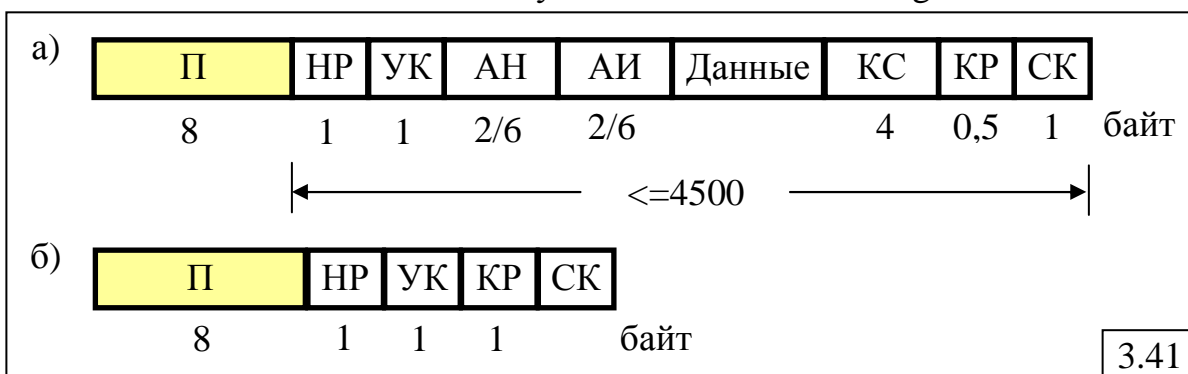


1. В FDDI применяется **множественная передача маркера**, при котором новый маркер передается другой станции сразу же после окончания передачи кадра, не ожидая его возвращения.

2. FDDI не предусматривает возможности установки приоритетов пакетов и резервирования, которые используются в IEEE 802.5 для выделения ресурсов сети. Вместо этого каждая РС классифицируется как **асинхронная**, для которой время доступа к сети не критично, и **синхронная**, для которой время доступа к сети жестко ограничено, т.е. существуют очень жесткие требования к интервалам времени между передачами. FDDI использует сложный алгоритм для предоставления доступа к сети этим двум классам устройств.

3.5.4. Форматы кадров

Форматы кадра данных (рис.3.41,а) и маркера (рис.3.41,б) сети FDDI несколько отличаются от используемых в сети Token Ring.



Кадр данных FDDI так же, как и кадр IEEE 802.5, может нести информацию по управлению логическим кольцом (данные уровня MAC) или содержать пользовательские данные (данные уровня LLC).

Поля в кадре FDDI имеют следующие значения.

П – **преамбула** – служит для начальной синхронизации приема. Несмотря на то, что изначально длина этого поля равна 64 бит (16

символьных полубайтов), узлы могут динамически изменять ее в соответствии со своими требованиями к синхронизации.

НР – *начальный разделитель* (Start Delimiter – SD) – уникальное двухсимвольное (однобайтовое) поле, указывающее на начало кадра (маркера).

УК – *управление кадром* (Frame Control – FC) – определяет тип кадра (MAC или LLC) и контрольный код MAC:

C	L	FF	TTTT
---	---	----	------

Здесь: **C** – бит, который определяет, будет ли кадр использоваться для синхронного или асинхронного обмена; **L** – индикатор длины адреса, которая может быть 16 или 48 бит (в отличие от Ethernet и Token Ring в сети FDDI допускается использование адресов разной длины); **FF** – формат кадра определяет, принадлежит ли кадр подуровню MAC (т.е. предназначен для целей управления кольцом) или подуровню LLC (т.е. предназначен для передачи данных); если кадр является кадром подуровня MAC, то биты **TTTT** определяют тип кадра, содержащего данные по управлению в поле данных.

АН – *адрес назначения* длиной 16 или 48 бит.

АИ – *адрес источника* длиной 16 или 48 бит.

Данные – *поле данных* может содержать пользовательские данные или данные типа MAC, предназначенные для управления кольцом; длина поля данных является переменной, но ограничена суммарной длиной кадра, не превосходящей 4500 байт.

КС – *контрольная сумма* типа CRC-32.

КР – *концевой разделитель* (End Delimiter – ED) – уникальная последовательность 0 и 1, указывающая конец кадра (маркера); имеет длину: полбайта (1 символ) для кадра данных и 1 байт (2 символа) для маркера.

СК – *статус кадра* (Frame Status – FS) – поле произвольной длины, содержащее биты: "Обнаружена ошибка", "Адрес опознан" и "Данные скопированы".

3.5.5. Технические характеристики FDDI

Максимальное число станций в кольце – 500.

Максимальная протяженность сети – 100 км.

Среда передачи оптоволоконный кабель.

Максимальное расстояние между станциями зависит от типа передающей среды (линии связи) и составляет:

- 2 км – для оптоволоконного многомодового кабеля.
- 40 км – для оптоволоконного одномодового кабеля;
- 100 м – для витой пары (UTP категории 5);
- 100 м – для экранированной витой пары (IBM тип 1).

Метод доступа – маркерный.

Скорость передачи данных – 100 Мбит/с (200 Мбит/с для дуплексного режима передачи).

Ограничение на общую длину сети обусловлено ограничением времени полного прохождения сигнала по кольцу для обеспечения предельно допустимого времени доступа. Максимальное расстояние между абонентами определяется затуханием сигнала в кабеле.

3.5.6. Достоинства и недостатки FDDI

Достоинства:

- высокая *помехозащищенность*;
- *секретность* передачи информации;
- прекрасная *гальваническая развязка* абонентов;
- *высокая скорость* передачи данных на большие расстояния без ретрансляции, что позволяет строить протяженные сети, например городские, сохраняя при этом все преимущества локальных сетей, в частности низкий уровень ошибок;
- возможность объединения *большого количества пользователей*;
- *гарантированное время доступа* к сети;
- *отсутствие конфликтов* в среде передачи при любом уровне нагрузки.

Недостатки:

- *высокая стоимость* по сравнению с другими технологиями ЛВС;
- *сложная в эксплуатации* из-за наличия оптоволоконного кабеля.

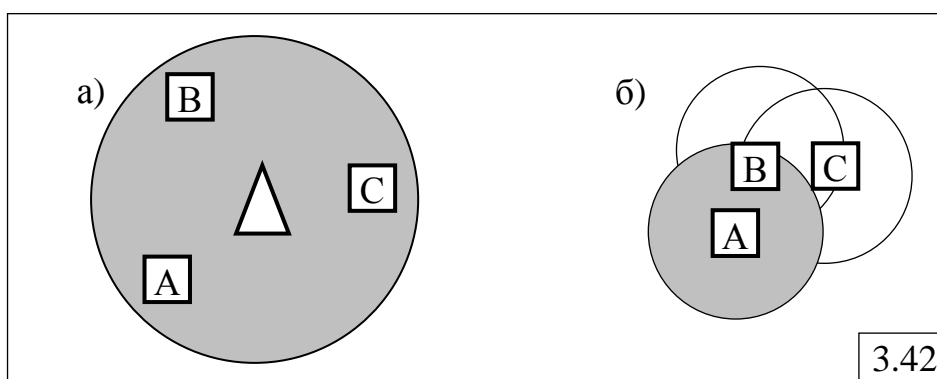
3.6. Беспроводные ЛВС

3.6.1. Общие принципы построения беспроводных ЛВС

Способы организации БЛВС (рис.3.42):

1) *с базовой станцией* (рис.3.42,а), когда обмен данными между рабочими (мобильными) станциями (А, В, С) осуществляется через базовую станцию;

2) *без базовой станции* (рис.3.42,б), когда обмен данными между станциями (А, В, С) осуществляется напрямую.



Преимущества беспроводных ЛВС (БЛВС) по сравнению с проводными:

- простота и дешевизна построения и реорганизации сети;

- мобильность пользователей.
- Недостатки* беспроводных ЛВС:
- низкая помехоустойчивость;
 - неопределенность зоны покрытия;
 - проблема «скрытого терминала».

Проблема «скрытого терминала» состоит в следующем. Положим, что станция А (рис.3.42,б), передаёт данные станции В. Станция С не «слышит» станцию А (она является «скрытым терминалом» для станции С) и, полагая, что среда передачи свободна, начинает передачу данных, предназначенных для станции В. Очевидно, что возникающая при этом коллизия приведёт к искажению передаваемых данных как от станции А, так и от станции С.

В БЛВС вместо метода доступа с прослушиванием несущей и распознаванием коллизий (CSMA/CD) используются методы *предотвращения коллизий* (CSMA/CA). В сетях с базовой станцией обычно применяются *методы опроса*, когда базовая станция опрашивает все станции, находящиеся в зоне её действия, и, при наличии у нескольких станций данных для передачи, предоставляет право на передачу одной из них в соответствии с принятой в этой сети стратегией.

Для повышения помехоустойчивости кода для сигналов малой мощности в беспроводных сетях разработана специальная **технология расширенного спектра**, ориентированная на широкую полосу пропускания, позволяющую применять модуляцию с несколькими несущими. В рамках этой технологии используются различные методы передачи данных.

3.6.2. Методы передачи данных

Основными методами передачи данных в беспроводных ЛВС, основанными на технологии расширения спектра, являются (рис.3.43):

- ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM);
- расширение спектра скачкообразным изменением частоты (FHSS);
- прямое последовательное расширение спектра (DSSS).



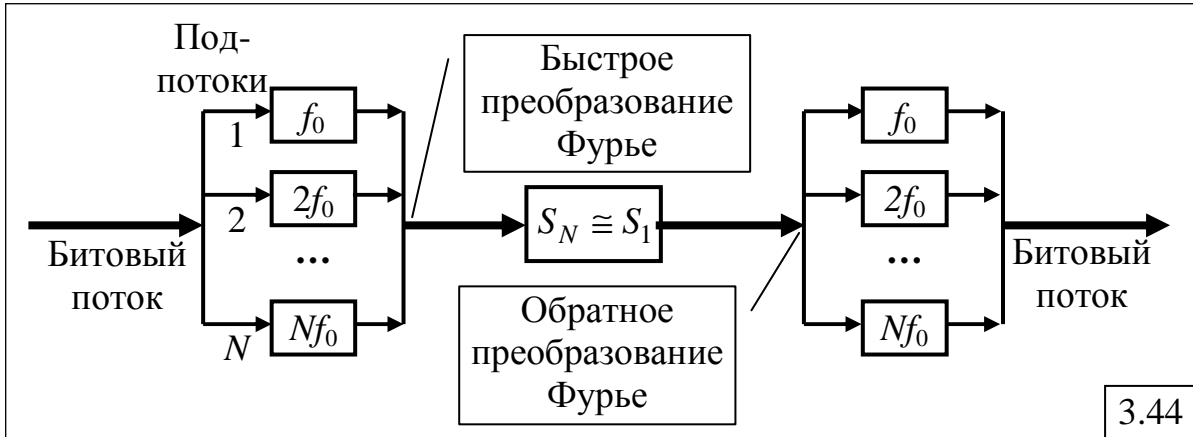
3.6.2.1. Ортогональное частотное мультиплексирование

Ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing) используется для передачи данных со скоростью до 54 Мбит/с в диапазоне 5 ГГц.

На рис.3.44 показана схема реализации OFDM.

Битовый поток данных делится на N подпотоков, каждый из которых модулируется с помощью методов частотной (FSK) или фазовой (PSK) манипуляции с использованием несущей, которая обычно кратна основной

частоте f_0 . На основе быстрого преобразования Фурье все несущие сворачиваются в общий сигнал, спектр которого примерно равен спектру сигнала, кодируемого одной несущей. После передачи такого сигнала на приёмной стороне с использованием преобразования Фурье выделяются несущие подпотоки, из которых формируется исходный битовый поток.

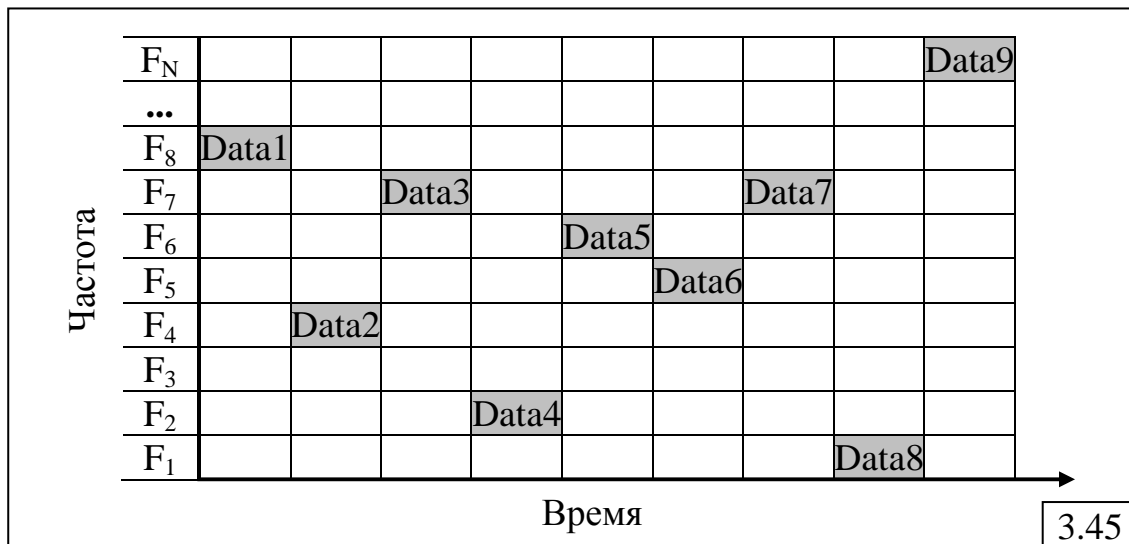


3.44

Разделение исходного высокоскоростного потока на несколько низкоскоростных потоков позволяет уменьшить интерференцию передаваемых сигналов за счёт увеличения битового интервала.

3.6.2.2. Расширение спектра скачкообразным изменением частоты

Метод *расширения спектра скачкообразной перестройкой частоты* (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum) основан на постоянной смене несущей в пределах широкого диапазона частот (рис.3.45).



3.45

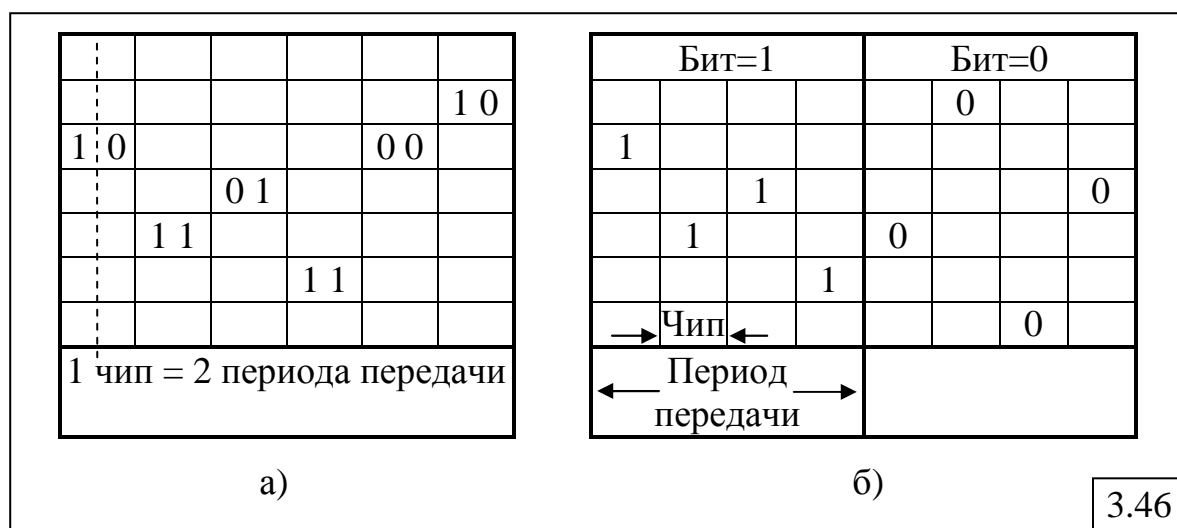
Частота несущей F_1, \dots, F_N случайным образом меняется через определенный период времени, называемый *периодом отсечки (чип)*, в соответствии с выбранным алгоритмом выработки псевдослучайной последовательности. На каждой частоте применяется модуляция (FSK или PSK). Передача на одной частоте ведётся в течение фиксированного интервала времени, в течение которого передаётся некоторая порция

данных (Data). В начале каждого периода передачи для синхронизации приемника с передатчиком используются синхробиты, которые снижают полезную скорость передачи.

В зависимости от скорости изменения несущей различают 2 режима расширения спектра:

- медленное расширение спектра (рис.3.46,а) – за один период отсечки передается несколько бит;
- быстрое расширение спектра (рис.3.46,б) – один бит передается за несколько периодов отсечки, то есть повторяется несколько раз.

В первом случае *период передачи данных* меньше *периода передачи чипа*, во втором – больше.



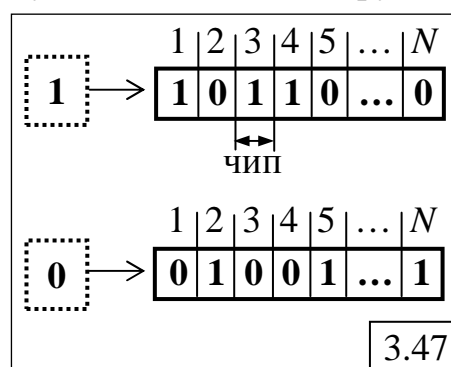
Метод быстрого расширения спектра обеспечивает более надёжную передачу данных при наличии помех за счёт многократного повторения значения одного и того же бита на разных частотах, но более сложен в реализации, чем метод медленного расширения спектра.

3.6.2.3. Прямое последовательное расширение спектра

Метод прямого последовательного расширения спектра (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum) состоит в следующем.

Каждый «единичный» бит в передаваемых данных заменяется двоичной последовательностью из N бит, которая называется **расширяющей последовательностью**, а «нулевой» бит кодируется инверсным значением расширяющей последовательности (рис.3.47). В этом случае тактовая скорость передачи увеличивается в N раз, следовательно, спектр сигнала также расширяется в N раз.

Зная выделенный для беспроводной передачи (линии связи) частотный диапазон, можно соответствующим образом выбрать скорость передачи данных и значение N , чтобы спектр сигнала заполнил весь диапазон.



Основная цель кодирования DSSS как и FHSS – повышение помехоустойчивости.

Чиповая скорость – скорость передачи результирующего кода.

Коэффициент расширения – количество битов N в расширяющей последовательности. Обычно N находится в интервале от 10 до 100. Чем больше N , тем больше спектр передаваемого сигнала.

Например, последовательность Баркера (Barker) с коэффициентом расширения $N=11$ имеет вид: 10110111000, основное достоинство которого заключается в том, что при сдвиге на один бит влево или вправо количество совпадений битов меньше половины:

1) сдвиг влево (5 совпадений)

0110111000х

10110111000

2) сдвиг вправо (5 совпадений)

х1011011100

10110111000

DSSS в меньшей степени защищен от помех, чем метод быстрого расширения спектра.

3.6.2.4. Множественный доступ с кодовым разделением

Методы расширения спектра широко используются в сотовых сетях, в частности, при реализации метода доступа CDMA (Code Division Multiple Access) – **множественный доступ с кодовым разделением**. CDMA может использоваться совместно с FHSS, но в беспроводных сетях чаще с DSSS.

Каждый узел сети использует собственную расширяющую последовательность, которая выбирается так, чтобы принимающий узел мог выделить данные из суммарного сигнала.

Рассмотрим принцип реализации CDMA на примере.

Пусть в сети работают 4 узла: **A, B, C, D**, каждый из которых использует свою расширяющую последовательность:

A:0000

B:0101

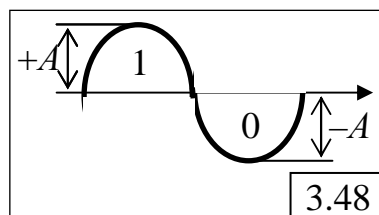
C:0011

D:0110

Для представления 1 и 0 используются аддитивные инверсные сигналы, показанные на рис.3.48 и обозначенные соответственно как $(+A)$ и $(-A)$. Очевидно, что:

$$(+A) + (-A) = 0.$$

Для упрощения выкладок обозначим:
 $(+A) = 1$ и $(-A) = -1$.



Тогда расширяющие последовательности для узлов **A, B, C** и **D** примут вид:

Узел	«единичный» бит				«нулевой» бит			
A	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
B	-1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1
C	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1
D	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1

Положим теперь, что передачу ведут все 4 узла: **A**, **B**, **C**, **D** и в некоторый момент времени они передают соответственно биты 1, 0, 1, 0 в виде соответствующих расширяющих последовательностей (РП):

Узел	бит	РП			
A	1	-1	-1	-1	-1
B	0	+1	-1	+1	-1
C	1	-1	-1	+1	+1
D	0	+1	-1	-1	+1
X	S	0	-4	0	0

Для простоты допустим, что все узлы синхронизированы.

Положим, что некоторый узел **X** хочет принять данные от узла **A**. В рассматриваемый момент времени он принимает сигнал **S** в виде вектора (0 -4 0 0). Для определения значения принятого от узла **A** бита узел **X** должен использовать демодулятор CDMA с расширяющей последовательностью узла **A**.

Алгоритм работы демодулятора:

1) умножение принятого сигнала **S** на вектор расширяющей последовательности узла **A**:

$$S \times A = (0 \ -4 \ 0 \ 0) \times (-1 \ -1 \ -1 \ -1) = 0 + 4 + 0 + 0 = +4;$$

2) результат делится на количество узлов (станций) в сети; если результат положительный, то исходный бит равен 1, если результат отрицательный, то исходный бит равен 0; для узла **A**:

$$+4/4 = +1, \text{ следовательно, значение бита от узла } \mathbf{A} \text{ равно } 1.$$

Аналогично, при приеме данных от узла **B**:

$S \times B = (0 \ -4 \ 0 \ 0) \times (-1 \ +1 \ -1 \ +1) = 0 - 4 + 0 + 0 = -4/4 = -1,$
следовательно, значение бита от узла **B** равно 0.

При приеме данных от узла **C**:

$S \times C = (0 \ -4 \ 0 \ 0) \times (-1 \ -1 \ +1 \ +1) = 0 + 4 + 0 + 0 = +4/4 = +1,$
следовательно, значение бита от узла **C** равно 1.

При приеме данных от узла **D**:

$S \times D = (0 \ -4 \ 0 \ 0) \times (-1 \ +1 \ +1 \ -1) = 0 - 4 + 0 + 0 = -4/4 = -1,$
следовательно, значение бита от станции **D** равно 0.

Достоинство CDMA заключается в повышенной защищенности и скрытности передачи данных: не зная расширяющей последовательности, невозможно получить сигнал, а иногда и обнаружить его присутствие.

3.6.3. Технология WiFi

Технология беспроводных ЛВС (WLAN) определяется стеком протоколов IEEE 802.11, который описывает физический уровень и канальный уровень с двумя подуровнями: MAC и LLC.

На физическом уровне определены несколько вариантов спецификаций, которые различаются:

- используемым диапазоном частот;
- методом кодирования;
- скоростью передачи данных.

Варианты построения беспроводных ЛВС стандарта 802.11, получившего название WiFi, представлены в табл. 3.7. Ниже дана их краткая характеристика.

Таблица 3.7

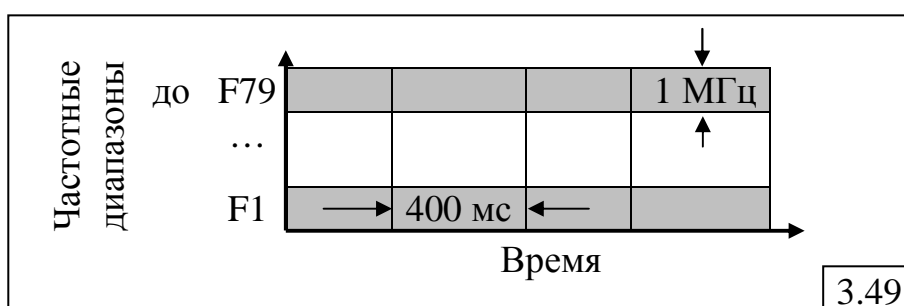
Вариант	Стандарт	Диапазон частот	Метод кодирования	Скорость передачи	Год
1	IEEE 802.11	ИК 850 нм		1 Мбит/с; 2 Мбит/с	1997
2	IEEE 802.11	2,4 ГГц	FHSS	1 Мбит/с; 2 Мбит/с	1997
3	IEEE 802.11	2,4 ГГц	DSSS	1 Мбит/с; 2 Мбит/с	1997
4	IEEE 802.11a	5 ГГц	OFDM	до 54 Мбит/с	1999
5	IEEE 802.11b	2,4 ГГц	DSSS	до 11 Мбит/с	1999
6	IEEE 802.11g	2,4 ГГц	OFDM	до 54 Мбит/с	2003

IEEE 802.11 (вариант 1):

- среда передачи – ИК-излучение;
- передача в зоне прямой видимости;
- используются 3 варианта распространения излучения:
 - ненаправленная антенна;
 - отражение от потолка;
 - фокусное направленное излучение («точка-точка»).

IEEE 802.11 (вариант 2):

- среда передачи – микроволновый диапазон 2,4 ГГц;
- метод кодирования – FHSS: до 79 частотных диапазонов шириной 1 МГц, длительность каждого из которых составляет 400 мс (рис.3.49);
- при 2-х состояниях сигнала обеспечивается пропускная способность среды передачи в 1 Мбит/с, при 4-х – 2 Мбит/с.



IEEE 802.11 (вариант 3):

- среда передачи – микроволновый диапазон 2,4 ГГц;
- метод кодирования – DSSS с 11-битным кодом в качестве расширяющей последовательности: 10110111000.

IEEE 802.11a:

- 1) диапазон частот – 5 ГГц;
- 2) скорости передачи: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Мбит/с;
- 3) метод кодирования – OFDM.

Недостатки:

- слишком дорогое оборудование;
- в некоторых странах частоты этого диапазона подлежат лицензированию.

IEEE 802.11b:

- 1) диапазон частот – 2,4 ГГц;
- 2) скорость передачи: до 11 Мбит/с;
- 3) метод кодирования – модернизированный DSSS.

IEEE 802.11g:

- 1) диапазон частот – 2,4 ГГц;
- 2) максимальная скорости передачи: до 54 Мбит/с;
- 3) метод кодирования – OFDM.

В сентябре 2009 года был утверждён стандарт IEEE 802.11n. Его применение позволит повысить скорость передачи данных практически вчетверо по сравнению с устройствами стандартов 802.11g. Теоретически 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 600 Мбит/с.

Радиус действия беспроводных сетей IEEE 802.11 – до 100 метров.

3.6.4. Технология WiMax

Технология беспроводного широкополосного доступа с высокой пропускной способностью WiMax представлена группой стандартов IEEE 802.16 и первоначально была предназначена для построения протяженных (до 50 км) беспроводных сетей, относящихся к классу региональных или городских сетей.

Стандарт IEEE 802.16 или IEEE 802.16-2001 (декабрь 2001 года), являющийся первым стандартом «точка-многоточка», был ориентирован на работу в спектре от 10 до 66 ГГц и, как следствие, требовал нахождения передатчика и приёмника в области прямой видимости, что является существенным недостатком, особенно в условиях города. Согласно описанным спецификациям, сеть 802.16 могла обслуживать до 60 клиентов со скоростью канала T-1 (1,554 Мбит/с).

Позднее появились стандарты IEEE 802.16a, IEEE 802.16-2004 и IEEE 802.16e (мобильный WiMax), в которых было снято требование прямой видимости между передатчиком и приёмником.

Основные параметры перечисленных стандартов технологии WiMax сведены в табл.3.8.

Таблица 3.8

Параметр	<i>IEEE 802.16</i>	<i>IEEE 802.16a</i>	<i>IEEE 802.16-2004</i>	<i>IEEE 802.16e</i>
Принят, год	2001	2003	2004	2005
Диапазон частот, ГГц	10 - 66	менее 11	менее 11	2 - 6
Модуляция	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	OFDM 256	OFDM 256	OFDM 256
Скорость, Мбит/с	32 - 134	1 - 75	1 - 75	до 30
Мобильность	Нет	Нет	Нет	Да
Ширина канала, МГц	20, 25 и 28	От 1,25 до 20 с 16 логическими каналами	От 1,25 до 20 с 16 логическими каналами	Более 5
Радиус ячейки, км	1 - 5	5 – 8, максимум 50	5 – 8, максимум 50	1 - 5

Рассмотрим основные **отличия технологии WiMax** от WiFi.

1. *Малая мобильность*. Первоначально стандарт разрабатывался для стационарной беспроводной связи на большие расстояния и предусматривал мобильность пользователей в пределах здания. Лишь в 2005 году был разработан стандарт IEEE 802.16e, ориентированный на мобильных пользователей. В настоящее время ведётся разработка новых спецификаций 802.16f и 802.16h для сетей доступа с поддержкой работы мобильных (подвижных) клиентов при скорости их движения до 300 км/ч.

2. *Использование более качественных радиоприемников и передатчиков* обуславливает более высокие затраты на построение сети.

3. *Большие расстояния* для передачи данных требуют решения ряда специфических проблем: формирование сигналов разной мощности, использование нескольких схем модуляции, проблемы защиты информации.

4. *Большое число пользователей* в одной ячейке.

5. *Более высокая пропускная способность*, предоставляемая пользователю.

6. Высокое качество обслуживания мультимедийного трафика.

Первоначально считалось, что IEEE **802.11** – *мобильный аналог Ethernet*, **802.16** – *беспроводной стационарный аналог кабельного телевидения*. Однако появление и развитие технологии WiMax (IEEE 802.16e) для поддержки мобильных пользователей делает это утверждение спорным.

3.6.5. Беспроводные персональные сети

Персональные сети (Personal Area Networks – PAN) предназначены для взаимодействия устройств, принадлежащих одному владельцу и расположенных территориально на небольшом расстоянии (около 10 м).

Особенности PAN:

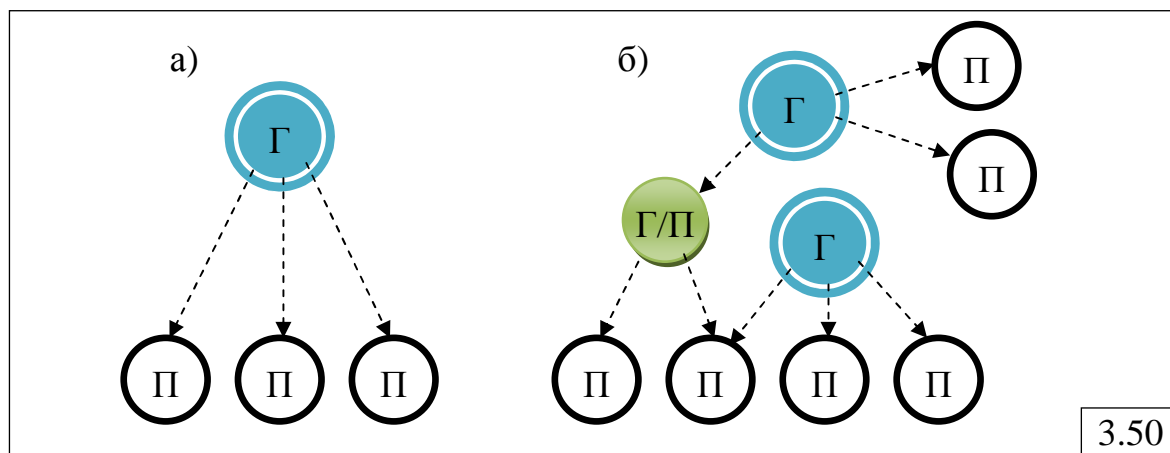
- простота, малые размеры и низкая стоимость объединяемых устройств и, как следствие этого, низкая стоимость реализации сети;
- небольшой диаметр сети;
- высокие требования к безопасности;
- беспроводная реализация;
- небольшая мощность излучаемых сигналов (не более 100 мВт).

3.6.5.1. Технология Bluetooth

Технология Bluetooth, описанная в стандарте IEEE 802.15.1 обеспечивает взаимодействие различных устройств в разделяемой среде диапазона 2,4 МГц со скоростью передачи до 1 Мбит/с.

В основе Bluetooth лежит концепция *пикосети*, которая характеризуется следующими особенностями:

- небольшая область покрытия от 10 м до 100 м;
- количество устройств в сети – до 255;
- количество активных (одновременно взаимодействующих) устройств – до 8;
- одно устройство *главное* (Г), в качестве которого обычно используется персональный компьютер), остальные *подчиненные* (П) (см. рис.3.50,а);
- несколько пикосетей могут образовывать рассредоточенную сеть, в которой одно устройство, называемое мостом, одновременно принадлежит нескольким сетям и может быть главным устройством одной пикосети и подчинённым устройством другой пикосети (рис.3.50,б);
- метод доступа – CDMA с использованием техники FHSS;
- надёжность передачи данных реализуется с помощью механизма квитирования;
- кадры имеют длину до 343 байт;
- для передачи голоса используются кадры длиной 30 байт.



3.50

3.6.5.2. Технология ZigBee

ZigBee – технология, описанная в стандарте IEEE 802.15.4 и предназначенная для построения беспроводных персональных сетей (WPAN) с использованием небольших маломощных радиопередатчиков. Спецификация ZigBee нацелена на приложения, которым требуется большее время автономной работы от батарей и большая безопасность, при небольших скоростях передачи данных.

Основная особенность технологии ZigBee заключается в том, что она при относительно *невысоком энергопотреблении* поддерживает не только простые топологии беспроводной связи («точка-точка» и «звезда»), но и сложные беспроводные сети с многосвязной (ячеистой) топологией с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Области применения технологии ZigBee – это построение беспроводных сенсорных сетей, автоматизация жилых и строящихся помещений, создание индивидуального диагностического медицинского оборудования, системы промышленного мониторинга и управления, а также применение в бытовой электронике и персональных компьютерах.

Технология ZigBee разработана с целью быть *проще и дешевле*, чем другие беспроводные персональные сети, такие как Bluetooth.

Устройство ZigBee может активироваться (переходить от спящего режима к активному) *за 15 миллисекунд* или меньше, что существенно меньше по сравнению с Bluetooth, для которого задержка при переходе от спящего режима к активному достигает 3-х секунд. Так как устройства ZigBee большую часть времени находятся в спящем режиме, уровень потребления энергии может быть очень низким, благодаря чему достигается продолжительная работа батарей.

Типовые области применения технологии ZigBee:

- домашняя автоматизация – температурный контроль, охрана и безопасность, датчики воды и мониторинг энергии, датчики задымления и пожара и т.д.;
- мобильные службы – мобильные оплата, мониторинг и контроль, охрана и контроль доступа в помещения, охрана здоровья, телепомощь;
- промышленное и коммерческое применение — контроль производственных процессов и промышленного оборудования, управление энергией, контроль доступа.

Существуют три типа устройств ZigBee.

- **Координатор ZigBee (ZC)** – наиболее ответственное устройство, формирующее пути дерева сети и связывающееся с другими сетями. В каждой сети есть один координатор ZigBee, который запускает сеть и может хранить информацию о сети.

- **Маршрутизатор ZigBee (ZR)** – может выступать в качестве промежуточного устройства, передавая данные между остальными устройствами.

• **Конечное устройство ZigBee (ZED)** – может обмениваться информацией с материнским узлом (координатором или маршрутизатором), но не может передавать данные от других устройств. Такое поведение позволяет узлу большую часть времени пребывать в спящем состоянии, что позволяет экономить энергоресурс батарей. Конечное устройство имеет небольшую память, что делает его дешёвым в производстве.

Устройства ZigBee должны быть совместимы со стандартом IEEE 802.15.4 беспроводных персональных сетей, который описывает нижние слои протокола (физический слой РНУ и управление доступом MAC). Стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) предусматривает использование метода широкополосной модуляции с прямым расширением спектра и работу в трех диапазонах:

- 1 канал в диапазоне 868,0-868,6 МГц;
- 10 каналов в диапазоне 902-928 МГц (шаг центральных частот 2 МГц, самая нижняя из них – 906 МГц);
- 16 каналов в диапазоне 2400-2483,5 МГц (шаг центральных частот 5 МГц, самая нижняя из них – 2405 МГц).

Соответственно скорость передачи данных составляет 20 кбит/с, 40 кбит/с и 250 кбит/с для каждого канала, расстояние передачи – от 10 до 75 метров.

Базовый режим доступа к каналу в сетях ZigBee – CSMA/CA – множественный доступ с контролем несущей и предотвращением коллизий. Однако возможны ситуации, исключающие применение CSMA. Например, при передаче пакетов подтверждения приема данных (если потеря пакета критична)

Стандарт ZigBee призван заполнить вакуум в спектре низкоскоростных и дешевых беспроводных сетевых технологий, поскольку делает возможным построение сетей с низким потреблением энергии и гибкими функциями поддержки беспроводного взаимодействия.

3.6.6. Беспроводные сенсорные сети

Беспроводная сенсорная сеть (WSN – Wireless Sensor Network) представляет собой распределённую самоорганизующуюся устойчивую к отказу отдельных элементов сеть, состоящую из множества необслуживаемых и не требующих специальной установки **датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств**, объединенных посредством *радиоканала*. Область покрытия сенсорной сети может составлять *от нескольких метров до нескольких километров* за счет ретрансляции сообщений от одного элемента к другому.

Беспроводные сенсорные сети находят всё более широкое применение в производстве, на транспорте, в системах обеспечения жизнедеятельности, в охранных системах и т.п. Использование недорогих беспроводных сенсорных устройств контроля параметров делает возможным применение сенсорных сетей для контроля:

- различных параметров (температура, давление, влажность и т. п.);
- доступа в режиме реального времени к удаленным объектам мониторинга;
- отказов исполнительных механизмов;
- экологических параметров окружающей среды.

Беспроводные сенсорные сети состоят из *миниатюрных вычислительных устройств* – **мотов**, снабженных сенсорами (датчиками температуры, давления, освещенности, уровня вибрации, местоположения и т. п.) и *приемопередатчиками сигналов*, работающими в заданном радиодиапазоне. Сенсорная сеть позволяет подключать до 65000 устройств.

Каждый узел сенсорной сети может содержать различные датчики для контроля внешней среды, микрокомпьютер и приемопередатчик. Это позволяет устройству проводить измерения, самостоятельно проводить начальную обработку данных и поддерживать связь с внешней информационной системой.

«Классическая» архитектура сенсорной сети основана на типовом узле, который может быть представлен тремя устройствами.

1. Сетевой координатор (FFD — Fully Function Device):

- осуществляет глобальную координацию, организацию и установку параметров сети;
- наиболее сложное устройство, требующее память большой ёмкости и источник питания.

2. Устройство с полным набором функций (FFD — Fully Function Device):

- поддерживает стандарт 802.15.4 (ZigBee);
- дополнительная память и энергопотребление позволяют выполнять роль координатора сети;
- поддерживает все топологии («точка-точка», «звезда», «дерево», «ячеистая сеть»);
- общается с другими устройствами сети.

3. Устройство с ограниченным набором функций (RFD — Reduced Function Device):

- поддерживает ограниченный набор функций стандарта 802.15.4;
- поддерживает топологии «точка-точка», «звезда»;
- не выполняет функции координатора;
- обращается к координатору сети и маршрутизатору.

3.6.7. Сравнение беспроводных технологий

Технологии WiMAX и Wi-Fi имеют много общего – термины созвучны, название стандартов, на которых основаны эти технологии, похожи (стандарты разработаны IEEE, оба начинаются с «802.»), а также обе технологии используют беспроводное соединение и могут использоваться для подключения к Интернету. Но, несмотря на это, эти технологии направлены на решение совершенно разных задач.

В табл. 3.9 для сравнения сведены рассмотренные выше беспроводные технологии передачи данных.

Таблица 3.9

Технология	Стандарт	Область примен.	Пропускная способность	Радиус действия	Диапазон частот
<i>WiFi</i>	802.11a	WLAN	до 54 Мбит/с	до 100 м	5,0 ГГц
<i>WiFi</i>	802.11b	WLAN	до 11 Мбит/с	до 100 м	2,4 ГГц
<i>WiFi</i>	802.11g	WLAN	до 108 Мбит/с	до 100 м	2,4 ГГц
<i>WiFi</i>	802.11n	WLAN	до 300 Мбит/с, в перспективе до 600 Мбит/с	до 100 м	2,4 - 2,5; 5,0 ГГц
<i>WiMax</i>	802.16d	WMAN	до 75 Мбит/с	6-10 км	1,5-11 ГГц
<i>WiMax</i>	802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбит/с	1-5 км	2.3-13.6 ГГц
<i>Bluetooth v.1.1</i>	802.15.1	WPAN	до 1 Мбит/с	до 10 м	2,4 ГГц
<i>Bluetooth v.1.1</i>	802.15.3	WPAN	от 11 Мбит/с до 55 Мбит/с	до 100 м	2,4 ГГц
<i>ZigBee</i>	802.15.4	WPAN	от 20 кбит/с до 250 кбит/с	1-100 м	2,4 ГГц (16 каналов); 915МГц (10); 868 МГц (1)
<i>Инфра-красный порт</i>	IrDa	WPAN	до 16 Мбит/с	до 50 см; од- носторонняя связь до 10 м	