

Лекция 4 ТО САПР, ч.2

Вычислительные сети

Участники процесса проектирования работают за пультом своего компьютера, являющегося клиентским узлом, подключенным к **локальной вычислительной сети (ЛВС, скорость 10 Мбит/с)** в своем подразделении. Для связи **ЛВС** между собой и с корпоративными серверами служит **опорная** (транспортная, скорость 100 Мбит/с) **сеть**. Подключение ЛВС к опорной сети выполняется с помощью серверов доступа (мостов или коммутаторов). Если предприятие имеет несколько площадок на территории одного города или в разных городах, то связь между площадками должна осуществляться с помощью **территориальных (магистральных, скорость 1000 Мбит/с и выше)** сетей. При этом аренда выделенной линии связана с большими затратами средств, поэтому чаще используют связь между удаленными территориями через **Internet** (глобальная сеть, скорость может быть невысока). Для этого предприятие должно быть связано с узлом магистральной сети одного из провайдеров абонентской линией или радиоканалом. Доступ к Web-серверам необходим для информационного обслуживания сотрудников, организации Web-конференций, дистанционного обучения персонала и т.п. Сокращение временных задержек при доступе в **Web-серверу** достигается использованием **дублирующих серверов** (зеркал) и использованием **кэширования данных** в промежуточных **проxy-серверах**. **Балансировщик Бл** распределяет клиентские запросы на обслуживание между однотипными серверами. **Брандмауэр** выполняет функции защиты информации, пропуская только разрешенные сообщения. Информационные системы, построенные на базе компьютерных сетей, обеспечивают хранение данных, обработку данных, организацию доступа пользователей к данным, передачу данных и результатов обработки данных пользователям. Компьютерные сети реализуют распределенную обработку данных (в основном, между двумя объектами: клиентом и сервером – он же mainframe, host).

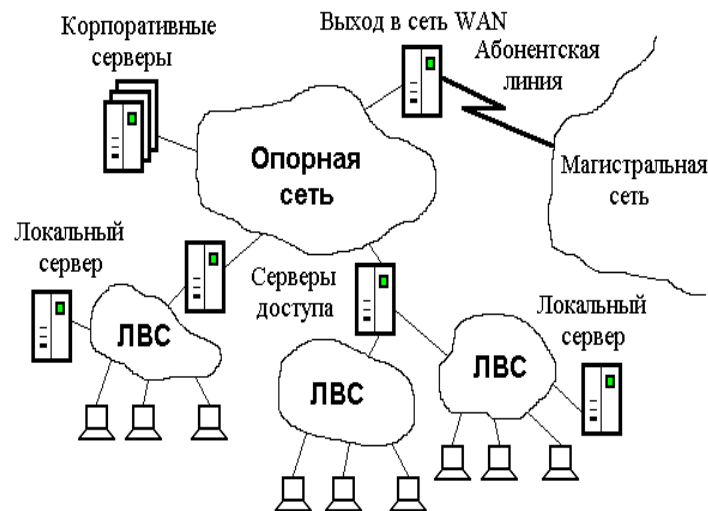
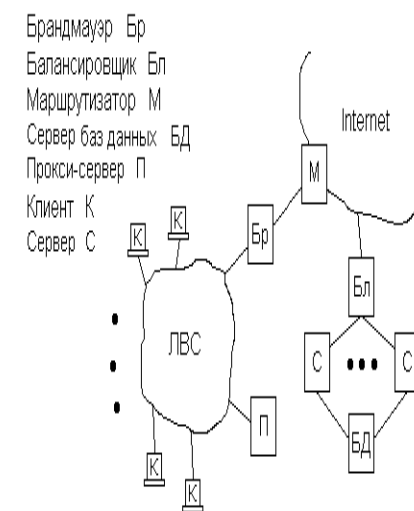
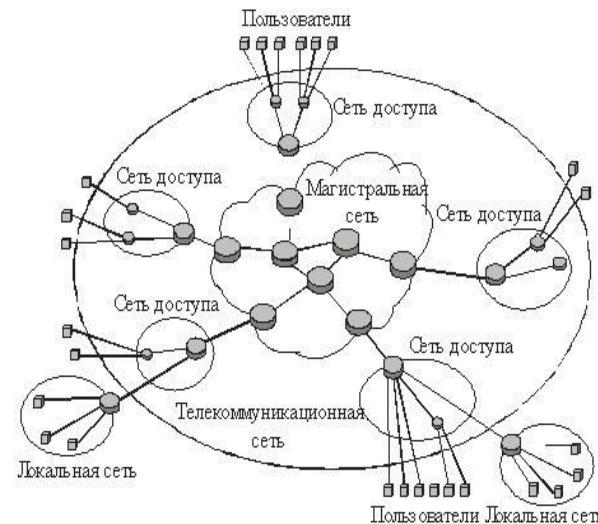


Рис. Структура корпоративной сети



Требования, предъявляемые к вычислительным сетям. Главным требованием является выполнение сетью ее основной функции - обеспечение пользователям потенциальной **возможности доступа к разделяемым ресурсам всех компьютеров**, объединенных в сеть. Все

остальные требования - **производительность, надежность, совместимость, управляемость, защищенность, расширяемость и масштабируемость** - связаны с качеством выполнения основной задачи.

Понятие «**качество обслуживания**» абонента (**Quality of Service, QoS**) компьютерной сети трактуется более узко - в него включаются только две самые важные характеристики сети - **производительность и надежность**. Существуют два подхода к его обеспечению:

- соблюдение некоторой числовой величины показателя качества обслуживания. Например, сеть может гарантировать пользователю А, что любой из его пакетов, посланных пользователю В, будет задержан сетью не более, чем на 150 мс. Или, что средняя пропускная способность канала между пользователями А и В не будет ниже 5 Мбит/с, при этом канал будет разрешать пульсации трафика в 10 Мбит на интервалах времени не более 2 секунд. Технологии **frame relay** и **ATM** позволяют строить сети, гарантирующие качество обслуживания по производительности.

- сеть обслуживает пользователей **в соответствии с их приоритетами**. Качество обслуживания в этом случае не гарантируется, а гарантируется только уровень привилегий пользователя. Сеть старается по возможности более качественно обслужить пользователя, но ничего при этом не гарантирует. Такое обслуживание называется обслуживанием **best effort** - с наибольшим старанием (сеть Internet).

Сети также различают в зависимости от используемых в них протоколов. Под **протоколом** понимается набор семантических и синтаксических правил, определяющий поведение функциональных блоков информационной системы при ее функционировании.

Многоуровневый подход. Для решения сложных задач взаимодействия между устройствами в сети используется **декомпозиция**, то есть

разбиение одной сложной задачи на несколько более простых задач в рамках многоуровневого подхода. Уровни образуют иерархию и устройства более высокого уровня организуют транспортировку сообщений в пределах сети, пользуясь для этого средствами нижележащих уровней.

Разделение на уровни позволяет вносить изменения в средства реализации одного уровня без перестройки средств других уровней, что значительно упрощает и удешевляет модернизацию сети по мере развития техники.

Эталонная модель взаимодействия открытых систем (ЭМВОС) от ISO признана международными организациями как основа для стандартизации протоколов информационных сетей.

Открытость сети подразумевает выделение в системе **интерфейсной части** (входов и выходов), обеспечивающей сопряжение с другими системами. Интерфейсные части должны быть выполнены **по известным правилам и соглашениям**.

Модель OSI		
Тип данных	Уровень (layer)	Функции
Данные	7. Прикладной (application)	Доступ к сетевым службам
Поток	6. Представительский (presentation)	Представление и шифрование данных
Сеансы	5. Сеансовый (session)	Управление сеансом связи
Сегменты / Дейтаграммы	4. Транспортный (transport)	Прямая связь между конечными пунктами и надежность
Пакеты	3. Сетевой (network)	Определение маршрута и логическая адресация
Кадры	2. Канальный (data link)	Физическая адресация
Биты	1. Физический (physical)	Работа со средой передачи, сигналами и двоичными данными

ЭМВОС (Open System Interconnection, OSI) содержит семь уровней.

Модель OSI	Модель TCP/IP
Прикладный	Прикладный
Представительский	
Сеансовый	
Транспортный	Транспортный
Сетевой	Межсетевой
Канальный	Доступ к сети
Физический	

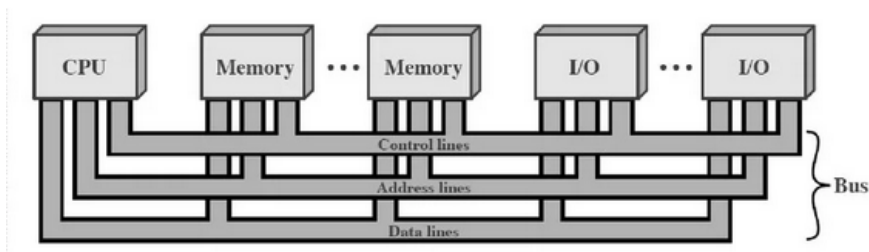
- **физический уровень** (Physical): работа со средой передачи, сигналами и двоичными данными, реализуются функции преобразования формы сигналов, выбор параметров физических сред.
- **канальный уровень** (link) – физическая адресация, функции, связанные с формированием и передачей кадров, обнаружением и исправлением ошибок, возникающих на физическом уровне. **Кадром** называют пакет канального уровня, пакеты на следующих уровнях могут состоять из одного или многих кадров. Из-за сложности канальный уровень расщеплен на два подуровня: **управление доступом к среде - MAC** — *Medium Access Control* (доступ к каналу передачи данных) и **управление логическим каналом - LLC** — *Logical Link Control* отвечает за передачу кадров между узлами с различной степенью надежности.
- **сетевой уровень** (Network): определение маршрута и логическая адресация – передача пакетов через промежуточные узлы и сети, контроль нагрузки на сеть с целью предотвращения перегрузок. Вводится понятие сети, появляются IP адреса.
- **транспортный уровень** (Transport): прямая связь между конечными пунктами, установление и управление соединением (качество связи). На транспортном уровне пакеты обычно называют сегментами.
- **сеансовый уровень** (Session): - тип связи (дуплекс или полудуплекс), начало и окончание заданий, последовательность и режим обмена запросами и ответами взаимодействующих партнеров.
- **представительский уровень** (Presentation): преобразование протоколов, шифрование данных (форматирование, структурирование).

- ЭМВОС

Интернет

- **прикладной уровень** (Application): доступ к сетевым службам (HTTP, FTP).

При создании OSI IBM и телефонные монополии предпочитали системы с **коммутацией каналов**. Другие сходились на **необходимости коммутации пакетов (Internet)** как некоторой формы международной стандартизации. Когда позиции OSI ослабли, один из ведущих сторонников Интернета, Einar Stefferud, с удовлетворением произнёс: «OSI это красивая мечта, а TCP/IP — уже реальность!». К середине девяностых Интернет стал стандартом де-факто для глобальной компьютерной сети, похоронив более завершённый, более сложный, но дорогой проект.

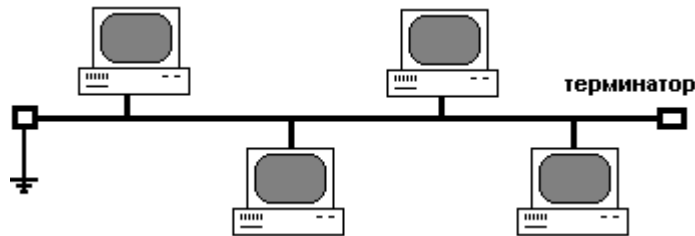


Основные виды соединений узлов в ЛВС — шинная (bus), кольцевая (ring), звездная (star) топологии. **Шинная** характерна тем, что связь между любыми двумя станциями устанавливается через один общий путь и данные, передаваемые любой станцией, одновременно становятся доступными для всех других станций, подключенных к этой же среде передачи данных (однородная структура). В сети **кольцевой топологии** узлы связаны кольцевой линией передачи данных и последние поочередно становятся доступными всем узлам сети. В случае **звездной топологии** имеется центральный узел, от которого расходятся линии передачи данных к каждому из остальных узлов. Все

перечисленные топологии обладают **свойством однородности**, то есть все компьютеры в такой сети имеют одинаковые права в отношении доступа к другим компьютерам.

Термин «шина» означает, что все разъемы соединены параллельно. **В процессоре** это питание, тактовые синхронизирующие импульсы, сигналы запроса прерываний, наконец, адреса и данные. Все устройства, подключенные к шине, не могут передавать данные одновременно, иначе те перепутаются между собой. Поэтому информацию приходится передавать поочередно по вызову процессора, который тоже включен в шину. Каждый компонент PC, каждый регистр ввода/вывода и ячейка RAM имеют свой адрес и входят в общее адресное пространство PC. Для адресации к какому-либо устройству PC служит шина адреса, по которой передается уникальный идентификационный код. Системная шина осуществляет обмен информацией между всеми устройствами компьютера и включает в себя **шины адреса**,

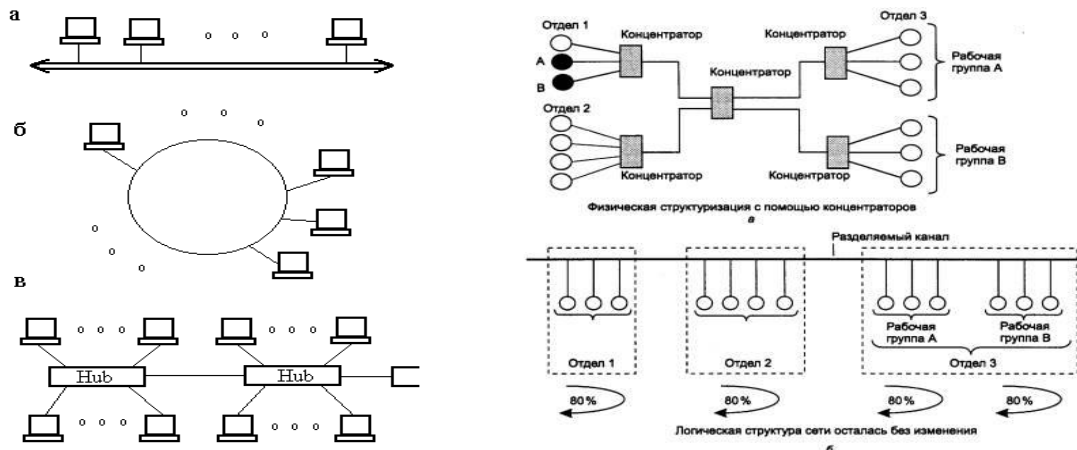
данных и управления. Пропускная способность шины определяется умножением тактовой частоты на ее разрядность. Чем выше разрядность шины (количество проводников, входящих в нее), тем больше данных может быть передано за определенный промежуток времени и выше производительность шины.



В сети Ethernet нет ни процессора, ни прерываний, но там тоже есть **шина**. В первой версии Ethernet это был коаксиальный кабель, к которому адаптеры сети подключались специальными разъемами (DB-15, его еще можно увидеть на старых сетевых картах). Поскольку все адаптеры подключены к шине параллельно, в любой момент времени может работать на передачу только один из них. Если же передавать данные одновременно, они перепутаются и будут потеряны. Это явление называется **коллизией** (столкновением). Никаких особых способов для предотвращения таких ситуаций не существует, и, если в сети передается много информации разными машинами, коллизии происходят то и дело. Раздельный способ использования общей шины так и называется «**множественный доступ с контролем несущей и разрешением коллизий**». В Ethernet-сетях есть и ограничения. Даже при наличии усилителей и

повторителей домен коллизий не должен превышать 2,5 км, а для 100 Мбит/с Fast Ethernet - всего 210 м. Иначе не удастся вовремя распознать коллизию и сетевые карты не смогут согласовать очередность передачи. Поэтому **чем быстрее шина, тем меньше должен быть ее размер**.

Шинная архитектура **неэффективна и медленна**, но эти недостатки окупаются ее **простотой и дешевизной**. Чтобы повысить пропускную способность шины, нужно увеличить ее **разрядность** - то есть число проводов, по которым передается информация. Другой способ - **уменьшение количества устройств в домене коллизий** - разделить сеть на несколько подсетей, в каждой из них станет свободнее - конкурирующих за доступ к шине устройств станет меньше. Но эти небольшие куски сети придется объединить специальными устройствами - мостами. Ethernet-мост пропускает информационный пакет из одной сети в другую, основываясь на адресе назначения пакета (MAC адрес). Третий способ повышения пропускной способности шины - **увеличение ее тактовой частоты**. Повышение частоты дается с трудом. Если частота превышена, переходные процессы при переключениях транзисторов не успевают завершиться за один такт, и это вызывает сбой, 1 и 0 перестают четко различаться по уровню. Также возрастают потери (разогрев) за счет конечного времени переключения транзистора.

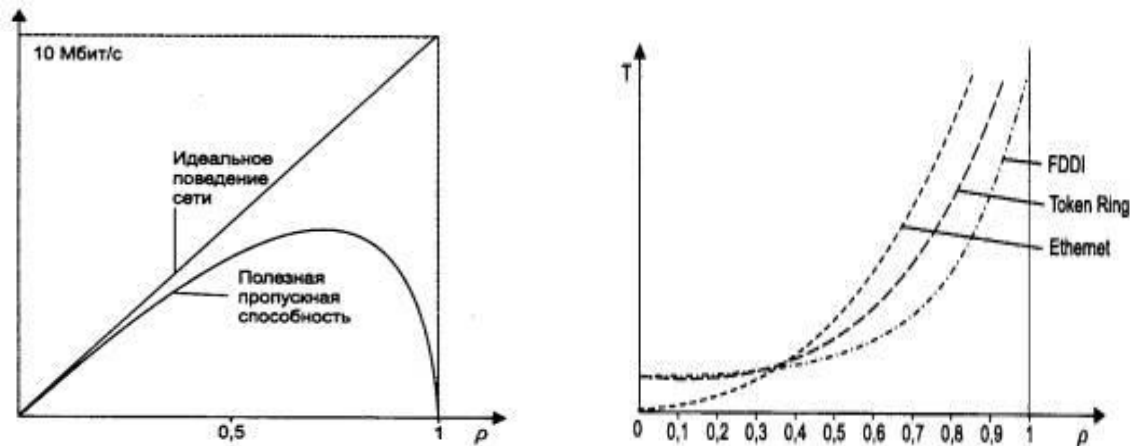


передают компьютеры отдела 1, выходили бы за пределы этой части сети только в том случае, если они направлены какому-либо компьютеру из других отделов, что достигается применением **мостов** (Bridge - определяют адрес каждого кадра и передают его только абоненту).

Если компьютеры интенсивно обмениваются информацией между собой, иногда приходится снижать число подключенных к кабелю компьютеров до 20, а то и до 10, чтобы каждому компьютеру доставалась **приемлемая доля** общей пропускной способности сети. При повышении интенсивности

При построении **больших сетей** однородная структура связей превращается из преимущества в недостаток - порождаются различные ограничения, важнейшими из которых являются **ограничения на длину связи между узлами, ограничения на количество узлов в сети, ограничения на интенсивность трафика**. Например, компьютер А, находящийся в одной подсети с компьютером В, посылает ему данные. Несмотря на разветвленную физическую структуру сети, **концентраторы** распространяют любой кадр по всем ее сегментам. Поэтому кадр, посылаемый компьютером А компьютеру В, хотя и не нужен компьютерам отделов 2 и 3, в соответствии с логикой работы концентраторов поступает на эти сегменты тоже и тормозит обмен информацией в сети - рис.б. Решение проблемы состоит в **отказе от единой однородной разделяемой среды**, чтобы кадры, которые

трафика и числа абонентов в сегменте, ЛВС все больше времени начинает проводить неэффективно, повторно передавая кадры, которые вызвали **коллизии**. Из-за наличия коллизий пропускная способность сети падает при увеличении нагрузки, а время доступа к информации увеличивается.



Для снятия этих ограничений используются специальные **методы структуризации** сети - **физическая** (понимается конфигурация связей, образованных отдельными частями кабеля), и **логическая** - конфигурация информационных потоков между компьютерами сети. Для логической структуризации сети используются такие коммуникационные устройства, как **мосты, коммутаторы, маршрутизаторы и шлюзы**.

а) Полезная пропускная способность и б) задержка доступа в зависимости от коэффициента загрузки сети ρ для технологий канального уровня (Ethernet, Token Ring и FDDI).

Цифровая передача данных требует выполнения нескольких обязательных операций: - синхронизация тактовой частоты передатчика и приемника; - преобразование последовательности битов в электрический сигнал; - уменьшение частоты спектра электрического сигнала с помощью фильтров; - передача урезанного спектра по каналу связи; - усиление сигнала и восстановление его формы приемником; - преобразование аналогового сигнала приемником в цифровой.

Канальный уровень. Протоколами канального уровня определяются:

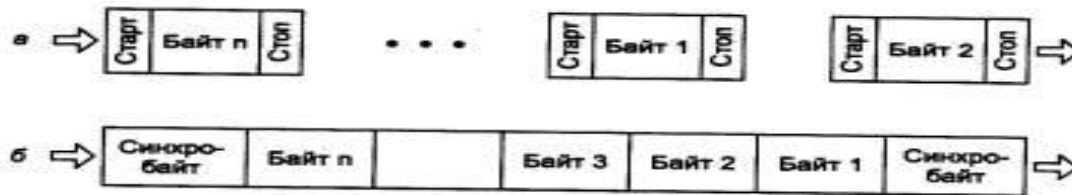
- правила **организации битов физического уровня** в **логические группы информации**, называемые **кадрами** (фреймами). Кадр является единицей данных канального уровня, состоящей из непрерывной последовательности сгруппированных битов, имеющей заголовок и окончание;
- правила **идентификации компьютеров в ЛВС по их физическим (MAC) адресам**.
- правила **обнаружения (и исправления) ошибок** при передаче;
- правила **управления потоками данных** (для устройств, работающих на канальном уровне, например, мостов, концентраторов, коммутаторов, сетевых плат);

Асинхронная связь применяется тогда, когда два устройства никак не синхронизированы. Отправитель может отправлять данные в любое время, а принимающая сторона должна быть все время готова к приему. При обмене данными на физическом уровне единицей информации является **бит**, поэтому средства физического уровня всегда поддерживают побитовую синхронизацию между приемником и передатчиком. Обычно достаточно обеспечить синхронизацию на двух уровнях - **битовом и кадровом**, - чтобы передатчик и приемник смогли обеспечить устойчивый обмен информацией. В **обязанности приемника**, например, входит строгая **синхронизация** с передатчиком на время кадра, **распознавание начала первого байта кадра, распознавание бит, распознавание границ полей кадра и распознавание признака окончания кадра**. Такой режим

работы называется **асинхронным или старт-стопным**. Например, клавиатура дисплея генерируют байты данных в случайные моменты времени. Для вхождения в синхронизм приемник имеет блоки (ФАПЧ), обеспечивающие **тактовую синхронизацию** (высокая точность подстройки фазы и частоты задающего генератора приемника; - малое время вхождения в синхронизм; - сохранение состояния синхронизма при кратковременных перерывах).

Асинхронные протоколы. Асинхронные протоколы ведут свое происхождение от тех времен, когда два человека связывались с помощью телетайпов по каналу «точка-точка». Эти протоколы оперируют с **отдельными символами**, которые представлены байтами со старт-стоповыми символами, **чаще всего ASCII**. Постепенно асинхронные протоколы усложнялись и стали, наряду с отдельными символами, использовать целые **блоки данных**, то есть **кадры**. Например, популярный **протокол XMODEM** передает файлы между двумя компьютерами по асинхронному модему. Принимающая сторона постоянно передает символ ASCII NAK. Передающая сторона, приняв NAK, отправляет очередной блок файла, состоящий из 128 байт данных, заголовка и концевого. Приемная сторона, получив новый блок, проверяла его номер и контрольную сумму. В случае совпадения этих параметров с ожидаемым, приемник отправлял символ ACK, а в противном случае - символ NAK, после чего передатчик должен был повторить передачу данного блока.

Символьно-ориентированные протоколы передают **блоки символов**, например текстовых файлов, ограниченных символами **синхронизации**: несколько **символов SYN** перед каждым блоком, **STX** (Start of Text, ASCII 0000010)- начало и **ETX** (End of Text, ASCII 0000011) - окончание кадра. Что бы отличить эти от подобных символов внутри кадра перед управляющими символами STX и ETX вставляется символ **DLE** (Data Link Escape). Такая процедура называется **стаффингом** символов (stuff - всякая всячина, заполнитель).



Обычно для передачи больших объемов данных используют синхронную связь, а для малых объемов – асинхронную.

Синхронная передача. Здесь передатчик и приемник устанавливают начальную синхронизацию, затем непрерывно передают данные, поддерживая синхронизацию на протяжении всего сеанса передачи. Достигается это посредством специальных схем кодирования данных, таких, как **манчестерское кодирование**, которые обеспечивают непрерывную запись в передаваемый поток данных тактовых сигналов передатчика. Таким способом можно поддерживать синхронизацию приемника вплоть до последнего бита сообщения, которое может достигать длины 4500 байтов (36000 битов). Это позволяет эффективно передавать большие кадры данных на больших скоростях.



«Манчестер» - при передаче каждого бита обязательно присутствуют оба состояния сигнала: «ON» и «OFF». Код может состоять только из интервалов одинарной, если соседние биты одинаковые, и двойной, если соседние биты отличаются, длительности. Это позволяет дополнительно синхронизировать приёмник с передатчиком при приёме каждого бита, определять — является ли код «манчестерским», диагностировать конец сообщения или «потерю» сигнала передатчика.

Синхронная система упаковывает вместе множество символов и посылает их непрерывным потоком, который называется **блоком**. У каждого блока есть заголовок, содержащий стартовый ограничитель для начальной синхронизации и информацию о блоке, и завершающая часть, для проверки ошибок и т. п.

Синхронные символьно-ориентированные и бит-ориентированные протоколы

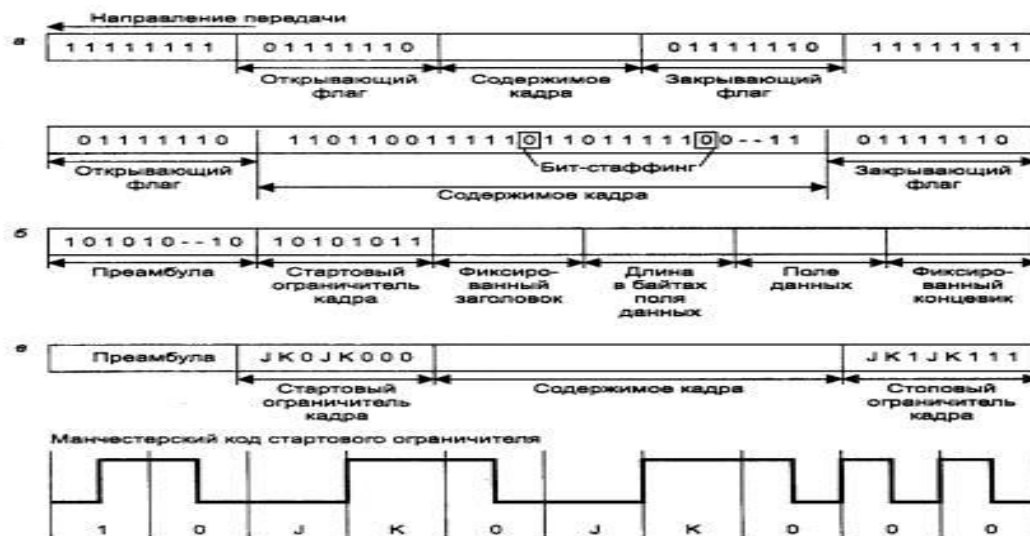
При синхронном режиме передачи старт-стопные биты между каждой парой байт отсутствуют. Пользовательские данные собираются в кадр, который предваряется байтами синхронизации (рис. 6). **Байт синхронизации** содержит заранее известный код, например 0111110, оповещающий приемник о приходе первого кадра данных. При его получении приемник должен войти в байтовый синхронизм с передатчиком, то есть правильно понимать начало и конец очередного байта кадра.

Кадр (frame) имеет в общем случае **заголовок, поле данных и концевик**. Все биты кадра передаются непрерывным синхронным потоком, что значительно ускоряет передачу данных. Приемник должен войти в **синхронизм**, найти начало и конец кадра, а также определить границы каждого поля кадра - адреса назначения, адреса источника, других служебных полей заголовка, поля данных и контрольной суммы, если она имеется. Обычно протоколы определяют максимальное и минимальное значение, которое может иметь длина поля данных.

Например, протокол Ethernet требует, чтобы поле данных содержало по крайней мере 46 байт данных (если приложение хочет отправить меньшее количество байт, то оно обязано дополнить их до 46 байт любыми значениями). Существуют также протоколы с кадрами фиксированной длины, например, в **протоколе АТМ кадры фиксированного размера 53 байт**, включая служебную информацию 5 байт. Для таких протоколов необходимо решить только первую часть задачи - распознать начало кадра.

Для ввода приемника в побитовый синхронизм служит **преамбула**, в которой передаются длинные последовательности чередующихся 1 и 0. Они позволяют цепи ФАПЧ приемника войти в побитовый синхронизм с передатчиком.

Бит-ориентированные протоколы. Сегодня используется более универсальная **бит-ориентированная** передача как двоичных, так и символьных данных. Начало и конец каждого кадра отмечается одной и той же 8-битовой последовательностью - **01111110**, называемой **флагом**. Чтобы флаг не присутствовал в поле данных кадра, используется **бит-стаффинг** - последовательность 01111110 никогда не появляется в поле данных кадра. Бит-стаффинг гораздо более экономичен, чем байт-стаффинг, следовательно, скорость передачи пользовательских данных в этом случае замедляется в меньшей степени. Если в поле данных обнаруживается, что подряд передано пять 1, то при бит-стаффинге автоматически вставляется дополнительный 0 (даже если после этих пяти 1 шел 0). На рис. показаны 3 различные схемы бит-ориентированной передачи. Они отличаются способом обозначения начала и конца каждого кадра.



Установление соединения

Передача с установлением соединения и без установления соединения

При передаче кадров данных на канальном уровне используются как **дейтаграммные** процедуры, работающие без установления соединения, так и процедуры с **предварительным установлением логического соединения**. При дейтаграммной передаче кадр посылается в сеть в сторону ближайшего маршрутизатора и никакой ответственности за его утерю протокол не несет. Дейтаграммами называются пакеты, которые передаются независимо друг от друга каждая по своему маршруту, выбираемому маршрутизаторами в зависимости от текущего состояния сети. Поэтому дейтаграммы одного и того же сообщения могут поступать к адресату в произвольной последовательности, что требует **дополнительных операций по их сборке сообщения** в узле-получателе.

Процедура установления соединения может использоваться для достижения различных целей.

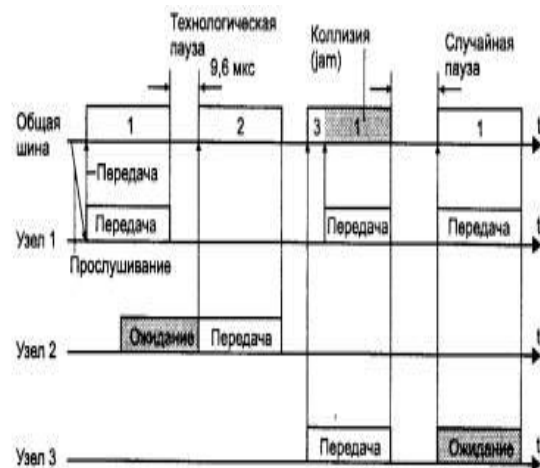
- Для **взаимной аутентификации пользователей, либо оборудования** (маршрутизаторы также имеют имена и пароли, чтобы злоумышленник не подменил корпоративный маршрутизатор и не отвел поток данных в свою сеть для анализа).
- Для **согласования изменяемых параметров протокола**: MTU (длина кадра), различных тайм-аутов и т. п.
- Для **обнаружения и коррекции ошибок**. Установление логического соединения дает точку отсчета для задания начальных значений номеров кадров. При потере нумерованного кадра приемник получает возможность обнаружить этот факт и сообщить передатчику, какой в точности кадр нужно передать повторно.
- При **динамической настройке коммутаторов** сети для маршрутизации всех последующих кадров. Так работают сети технологий X.25, frame relay и ATM.

Передача с установлением соединения более надежна, но требует больше времени для передачи данных и вычислительных затрат от конечных узлов. В этом случае узлу-получателю отправляется служебный кадр специального формата с предложением установить соединение. Если узел-получатель согласен с этим, то он посылает в ответ другой служебный кадр, подтверждающий установление соединения и предлагающий для данного логического соединения параметры - идентификатор соединения, максимальное значение поля данных кадров, срочность, протокол шифрования и т. п. Узел-инициатор соединения завершает процесс установления соединения отправкой третьего служебного кадра, в котором сообщит, что предложенные параметры ему подходят. На этом логическое соединение считается установленным, и в его рамках можно передавать информационные кадры с пользовательскими данными. Разрыв логического соединения происходит посылкой соответствующего служебного кадра.

Проблема доступа к сети

Поскольку среда передачи данных общая, а запросы на сетевые обмены у узлов появляются асинхронно, то возникает проблема разделения общей среды между многими узлами, **проблема обеспечения доступа к сети** - установление последовательности, в которой узлы получают право инициировать определенные действия. **Методы доступа** могут быть **случайными** или **детерминированными**. Основным методом случайного доступа является метод **множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов (МДКН/ОК)** или соревновательный. Метод основан **на контроле несущей** в линии передачи данных (на слежении за наличием в линии электрических колебаний) и **устранении конфликтов** (коллизий), возникающих из-за попыток одновременного начала передачи двумя или более станциями в **шинной структуре** узлов сети.

МДКН/ОК является децентрализованным широковещательным (broadcasting) методом. Все узлы имеют равные права по доступу к сети. Узлы, имеющие данные для передачи по сети, контролируют состояние линии передачи данных. Если линия свободна, то в ней отсутствуют электрические колебания. Узел, желающий начать передачу, обнаружив в некоторый момент времени t_1 отсутствие колебаний, захватывает свободную линию, т.е. получает полномочия по использованию линии. Любая другая станция, желающая начать передачу в момент времени $t_2 > t_1$ при обнаружении электрических колебаний в линии, откладывает передачу до момента $t + t_d$, где t_d — задержка, причем t_d является случайной величиной. В сетях Ethernet значения этой задержки выбираются в диапазоне от 9,6 мкс до 51,2 мс.



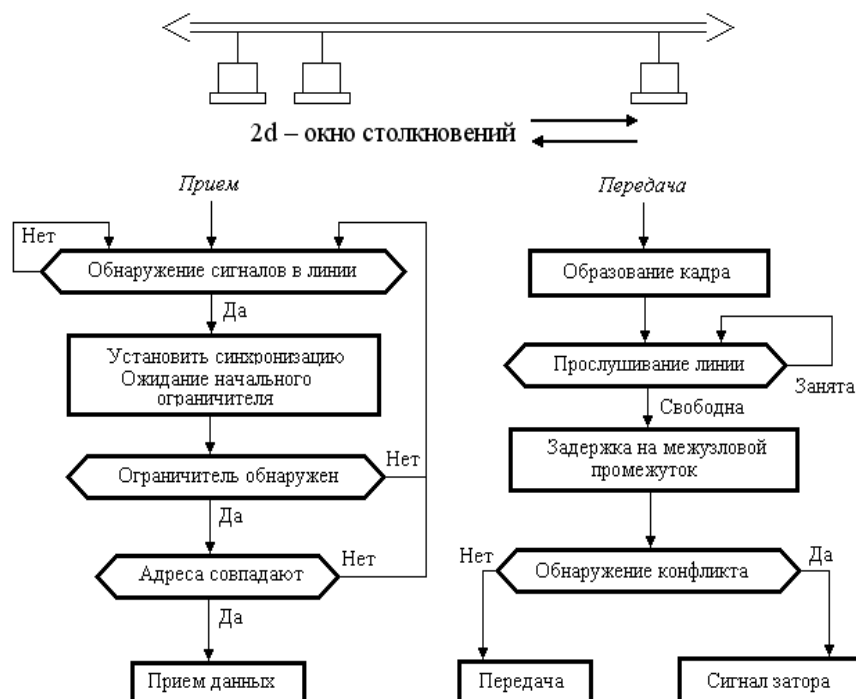
Все станции, подключенные к кабелю, могут распознать факт передачи кадра, и та станция, которая узнает собственный адрес в заголовках кадра, записывает его содержимое в свой внутренний буфер, обрабатывает полученные данные, передает их вверх по своему стеку, а затем посылает по кабелю кадр-ответ. Адрес станции источника содержится в исходном кадре, поэтому станция-получатель знает, кому нужно послать ответ. Узел 2 во время передачи кадра узлом 1 также пытался начать передачу своего кадра, однако обнаружил, что среда занята - на ней присутствует несущая частота, - поэтому узел 2 вынужден ждать, пока узел 1 не прекратит передачу кадра. После окончания передачи кадра все узлы сети обязаны выдержать **технологическую паузу (Inter Packet Gap) в 9,6 мкс** для приведения сетевых адаптеров в исходное состояние.

При описанном подходе возможна ситуация, когда две станции одновременно пытаются передать кадр данных по общей среде. При этом происходит **коллизия** (collision), так как содержимое обоих кадров сталкивается на общем кабеле и происходит искажение информации - методы кодирования, используемые в Ethernet, не позволяют выделять сигналы каждой станции из общего сигнала. Коллизия - это нормальная ситуация в работе сетей Ethernet. Она есть следствие распределенного характера сети и возникает из-за того, что один узел начинает передачу раньше другого, но до второго узла сигналы первого просто не успевают дойти. Станция, которая обнаружила коллизия, прерывает передачу своего кадра (в произвольном месте, возможно, и не на границе байта) и усиливает ситуацию коллизии посылкой в сеть специальной последовательности из 32 бит, называемой **jam-последовательностью - сигнал затора**.

Обнаружившая коллизия станция обязана прекратить передачу и сделать паузу прежде чем снова предпринять попытку захвата среды и передачи кадра. Случайная пауза выбирается по следующему алгоритму: Пауза = $L \cdot (\text{интервал отсрочки} = 512 \text{ битовым интервалам, для скорости } 10 \text{ Мбит/с величина битового интервала равна } 0,1 \text{ мкс})$; L представляет собой целое число, выбранное с равной вероятностью из диапазона $[0, 2^N]$, где N - номер повторной попытки передачи данного кадра: 1, 2, ..., 10. После 10-й попытки интервал, из которого выбирается пауза, не увеличивается. Таким образом, **случайная пауза может принимать значения от 0 до 52,4 мс**. Если 16 последовательных попыток передачи кадра вызывают коллизия, то передатчик должен прекратить попытки и отбросить этот кадр.

Четкое распознавание коллизий всеми станциями сети является необходимым условием корректной работы сети Ethernet. При разработке этого метода в конце 70-х годов предполагалось, что скорость передачи данных в 10 Мбит/с очень высока по сравнению с потребностями компьютеров во взаимном обмене данными, поэтому загрузка сети будет всегда небольшой. При значительной интенсивности коллизий полезная пропускная способность сети Ethernet резко падает, так как сеть почти постоянно занята повторными попытками передачи кадров. Для уменьшения интенсивности возникновения коллизий нужно либо уменьшить трафик, сократив, например, количество узлов в сегменте, либо повысить скорость протокола, например, перейти на Fast Ethernet (100Мбит/с).

Для надежного распознавания коллизий должно выполняться следующее соотношение: **T_{\min} (время передачи кадра минимальной длины) $\geq PDV$ - время, за которое сигнал коллизии успевает распространиться до самого дальнего узла сети.** Так как в худшем случае сигнал должен пройти дважды между наиболее



удаленными друг от друга станциями сети (в одну сторону проходит неискаженный сигнал, а на обратном пути распространяется уже искаженный коллизией сигнал), то это время называется **временем двойного оборота**. Поскольку длина минимального пакета может составлять (с учетом преамбулы) 576 бит, время транспортировки пакета по самому длинному пути (**PDV**) не должно превышать продолжительности передачи 575 бит. Отсюда может быть определено ограничение на расстояние между станциями. Расстояние между двумя узлами **не должно быть больше 6 635 м** с учетом двойного распространения сигнала, но в стандарте с учетом затухания длина непрерывного сегмента толстого коаксиального кабеля выбрана в 500 м. Максимальное расстояние между станциями сети уменьшается пропорционально увеличению скорости передачи. В стандарте Fast Ethernet оно составляет около 210 м, а в стандарте Gigabit Ethernet было бы ограничено 25 метрами, если бы разработчики стандарта не предприняли мер по увеличению минимального размера пакета.

Вариант локальных сетей с использованием беспроводных каналов связи называется **RadioEthernet**. Реальная протяженность может быть от нескольких сотен метров до 20-30 км и ограничена лишь наличием прямой видимости. Применяется **множественный доступ с контролем несущей и предотвращением** (было – обнаружением) **конфликтов** (модификация метода МДКН/ПК). Предотвращение конфликтов обеспечивается тем, что узел, запрашивающий связь, посылает в эфир специальный **кадр запроса**, а передачу информации он может начать только после истечения времени, равного длительности межкадрового промежутка T , если за это время в эфире не было других запросов. Любой узел может посылать кадр запроса, только если за время T перед этим в эфире не было других кадров запроса.

Кроме случайного используются и другие методы доступа, например,

- **опрос** (polling) — одно устройство (называемое контроллером, первичным, или «мастер» - устройством) выступает в качестве **арбитра доступа к среде**. Оно опрашивает все остальные устройства (вторичные) в некотором predetermined порядке, чтобы узнать, имеют ли они информацию для передачи;
- передача **маркера** (специального сообщения, которое передает временное управление средой передачи устройству, владеющему маркером) управляет доступом между устройствами сети (обычно в кольцевых сетях).

Методы обнаружения ошибок

Все методы обнаружения ошибок основаны на **передаче в составе кадра данных служебной избыточной информации**, по которой можно судить о достоверности принятых данных. Эту служебную информацию принято называть **контрольной суммой**. Принимающая сторона вычисляет контрольную сумму кадра по известному алгоритму и сравнивает с контрольной суммой, переданной в кадре.

Контроль по паритету заключается в суммировании по модулю 2 всех бит контролируемой информации. Метод редко применяется в вычислительных сетях из-за его большой избыточности и невысоких диагностических способностей.

Циклический избыточный контроль (Cyclic Redundancy Check, **CRC**) является в настоящее время наиболее популярным в вычислительных сетях и при записи данных на диски и дискеты. Метод основан на рассмотрении всех исходных данных в виде одного двоичного числа. Например, кадр стандарта Ethernet, состоящий из 1024 байт, будет рассматриваться как одно число, состоящее из 8192 бит. В качестве контрольной информации рассматривается остаток от деления этого числа на известный делитель в виде семнадцати или тридцатитрехразрядного числа, чтобы остаток от деления имел длину 16 разрядов (2 байт) или 32 разряда (4 байт).

При получении кадра данных снова вычисляется остаток от деления на тот же делитель R , но при этом к данным кадра добавляется и содержащаяся в нем контрольная сумма. Если остаток от деления на R равен нулю (или известному ненулевому остатку, что является более надежным показателем корректности), то делается вывод об отсутствии ошибок в полученном кадре, в противном случае кадр считается искаженным. Метод CRC обнаруживает все одиночные ошибки, двойные ошибки и ошибки в нечетном числе бит. Метод обладает также невысокой степенью избыточности. Например, для кадра Ethernet размером в 1024 байт контрольная информация длиной в 4 байт составляет только 0,4 %.

Методы восстановления искаженных и потерянных кадров в вычислительных сетях основаны на **повторной передаче кадра**. Чтобы убедиться в необходимости повторной передачи данных, отправитель нумерует отправляемые кадры и для каждого кадра ожидает от приемника

положительной квитанции - служебного кадра, извещающего о том, что исходный кадр был получен и данные в нем оказались корректными. Время этого ожидания ограничено - при отправке каждого кадра передатчик запускает таймер, и, если по его истечении положительная квитанция не получена, кадр считается утерянным. Приемник в случае получения кадра с искаженными данными может отправить отрицательную квитанцию - явное указание на то, что данный кадр нужно передать повторно.

Существуют два подхода к организации процесса обмена квитанциями: **метод с простоями и с организацией «окна»**.

Метод с простоями требует, чтобы источник, пославший кадр, ожидал получения квитанции (положительной или отрицательной) от приемника и только после этого посылал следующий кадр (или повторял искаженный). Если же квитанция не приходит в течение тайм-аута, то кадр (или квитанция) считается утерянным и его передача повторяется. Снижение производительности этого метода коррекции особенно заметно на низкоскоростных каналах связи, то есть в территориальных сетях.

Метод «скользящего окна» - источнику разрешается передать некоторое количество кадров, называемых размером окна в непрерывном режиме. Если некоторое время квитанция на кадры не пришла, то процесс передачи приостанавливается, кадр считается утерянным и передается снова. Если же квитанции поступает регулярно, то окно можно увеличивать до максимально возможной скорости данного канала и принятого протокола. Метод скользящего окна реализован во многих протоколах: LLC2, LAP-B, X.25, TCP.

Компрессия данных - многие программные и аппаратные средства сети способны выполнять динамическую компрессию, когда данные предварительно компрессируются (например, с помощью популярных архиваторов типа WinZip), а уже затем отсылаются в сеть. Многие модели коммуникационного оборудования, такие как модемы, мосты, коммутаторы и маршрутизаторы, поддерживают протоколы динамической компрессии, позволяющие сократить объем передаваемой информации в 4, а иногда и в 8 раз. Реальный коэффициент компрессии зависит от типа передаваемых данных, так, графические и текстовые данные обычно сжимаются хорошо, а коды программ - хуже.

Специфика локальных сетей нашла свое отражение в разделении **канального уровня на два подуровня MAC и LLC: -управления доступом к среде (Media Access Control, MAC)**. Уровень MAC обеспечивает корректное совместное использование разделяемой среды. В современных локальных сетях получили распространение несколько протоколов уровня MAC, определяющие специфику таких технологий, как Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 100VG-AnyLAN.

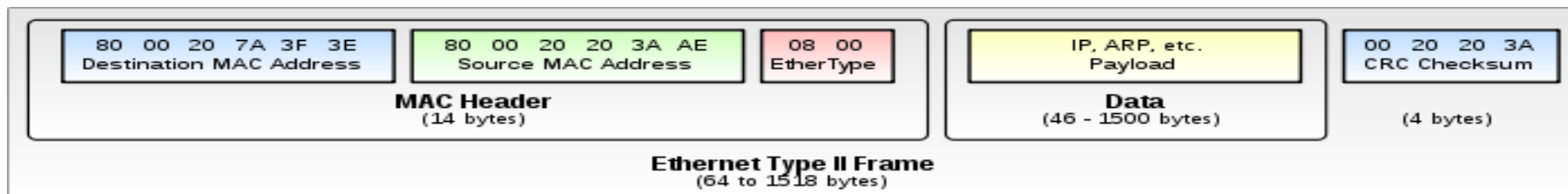
- **управление логическим каналом (Logical Link Control -LLC)** более высокий уровень. Уровень LLC отвечает за передачу кадров данных между узлами с **различной степенью надежности**, реализует функции интерфейса с сетевым уровнем. На уровне LLC существует несколько режимов работы, отличающихся наличием или отсутствием процедур восстановления кадров.

Протоколы уровней MAC и LLC взаимно независимы - каждый протокол уровня MAC может применяться с любым протоколом уровня LLC, и наоборот. Протокол LLC, поддерживает несколько режимов работы независимо от выбора конкретной технологии.

Примеры сетей канального уровня

Сеть Ethernet - семейство технологий пакетной передачи данных канального уровня компьютерных сетей. При проектировании стандарта Ethernet было предусмотрено, что каждая сетевая карта узла связи должна иметь **уникальный шестибайтный MAC-адрес**, прошитый в ней при изготовлении. Этот номер используется для идентификации отправителя и получателя кадра.

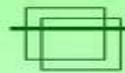
Ethernet - это самый распространенный на сегодняшний день стандарт локальных сетей, разработанный фирмой Xerox. В этой сети шинной топологии применен метод доступа МДКН/ОК. В сетях Ethernet могут использоваться четыре разновидности формата кадра. Во всех четырех разновидностях кадр имеет длину от 576 до 12208 бит, т.е. от 72 до 1526 байт, и включает следующие обязательные части (ниже указаны последовательности полей кадра, в скобках даны размеры полей в байтах). Ethernet Version 2 или Ethernet-кадр II, ещё называемый DIX (аббревиатура первых букв фирм-разработчиков **DEC, Intel, Xerox**) — наиболее распространен и используется по сей день.



- преамбула (7 байт) состоит из 7 байт, состоящих из значений 10101010, нужна для вхождения приемника в побитовый и побайтовый синхронизм с передатчиком.
- ограничитель (1 байт) определяет начало кадра и представляет собой код 10101011.
- адрес назначения (6 байт) Адреса, используемые в ЛВС на канальном уровне и называемые MAC-адресами, шестибайтовые, это уникальные номера сетевых плат, назначаемые изготовителями плат по выданным им лицензиям.
- адрес источника (6 байт).
- длина кадра (2 байта).
- данные (46- 1500 байт).
- контрольный код (4 байта). Бит - один двоичный разряд в двоичной системе счисления. Байт = 8 бит-единица хранения и обработки информации.
-

Параметры	Значения
Битовая скорость	10 Мбит/с
Интервал отсрочки	512 битовых интервала
Межкадровый интервал (IPG)	9,6 мкс
Максимальное число попыток передачи	16
Максимальное число возрастания диапазона паузы	10
Длина jam-последовательности	32 бита
Максимальная длина кадра (без преамбулы)	1518 байт
Минимальная длина кадра (без преамбулы)	64 байт (512 бит)
Длина преамбулы	64 бит
Минимальная длина случайной паузы после коллизии	0 битовых интервалов
Максимальная длина случайной паузы после коллизии	524 000 битовых интервала
Максимальное расстояние между станциями сети	2500 м
Максимальное число станций в сети	1024

Формат кадров Ethernet



Pre+SFD	DA	SA	T L	LLC data	(Pad)	FCS
Преамбула +SFD	Адрес назначения	Адрес источника	Тип или длина кадра	Данные верхних уровней	Поле заполнения	Контрольная сумма

Pre - преамбула (7 байт 10101010) для синхронизации на приемной стороне

SFD - начальный ограничитель кадра (Starting Frame Delimiter, 10101011)

DA - адрес назначения (Destination Address, 6 байт - MAC адрес)

SA - адрес источника (Source Address, 6 байт - MAC адрес)

T - тип кадра, 2 байта (для кадра Ethernet II)

L - длина кадра, 2 байта (для кадров Ethernet 802.3, Ethernet 802.2, Ethernet SNAP, устарело)

LLC data - 0-1500 байт, информация с заголовками верхних уровней

Pad - поле заполнения, если поле LLC data меньше 46 байт

FCS - контрольная сумма кадра (Frame Check Status, 4 байта, циклический избыточный код по всем полям, кроме Pre+SFD и FCS)

Общая длина кадра Ethernet - 64-1518 байт, длина заголовочной и трейлерной частей (без преамбулы) - 18 байт

Параметры кадра (уровня MAC) Ethernet для 10 Мбит/с независимо от физической среды.

Максимальная производительность сети Ethernet

Для коммуникационного оборудования наиболее тяжелым режимом является обработка кадров минимальной длины. Это объясняется тем, что на обработку каждого кадра мост, коммутатор или маршрутизатор тратит примерно одно и то же время, связанное с просмотром таблицы продвижения пакета, формированием нового кадра (для маршрутизатора) и т. п.

Размер кадра минимальной длины вместе с преамбулой составляет 72 байт или 576 бит (рис.), поэтому на его передачу затрачивается 57,5 мкс. Прибавив межкадровый интервал в 9,6 мкс, получаем, что период следования кадров минимальной длины составляет 67,1 мкс. (8 байт преамбула, 2*6= адреса, 46 байт-данные, 4 байта-контрольная сумма). Отсюда максимально возможная пропускная способность сегмента Ethernet составляет $1/67,1 \cdot 10^{-6} = 14\,880$ кадр/с. Минимально возможная пропускная способность сегмента Ethernet для кадров максимальной длины составляет 813 кадр/с. При работе с большими кадрами нагрузка на мосты, коммутаторы и маршрутизаторы довольно ощутимо снижается.



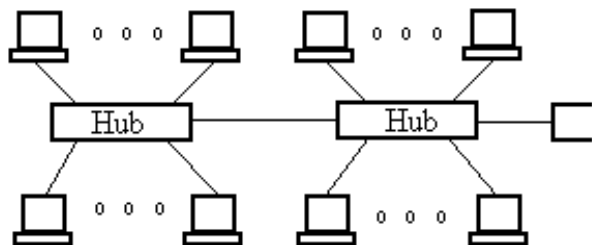
Рис. К расчету пропускной способности протокола Ethernet

Максимальная полезная пропускная способность (скорость передачи пользовательских данных, которые переносятся полем данных кадра) равна для минимальной длины: $C_{\Pi} = 14880 * 46 * 8 = \mathbf{5,48 \text{ Мбит/с}}$.

Для кадров максимальной длины полезная пропускная способность равна: $C_{\Pi} = 813 * 1500 * 8 = \mathbf{9,76 \text{ Мбит/с}}$,

При использовании **кадров среднего размера с полем данных в 512 байт** пропускная способность сети составит 9,29 Мбит/с, что тоже достаточно близко к предельной пропускной способности в 10 Мбит/с. Отношение текущей пропускной способности сети к ее максимальной пропускной способности называется **коэффициентом использования сети**.

В настоящее время технология Ethernet является доминирующей в ЛВС. Унифицировано несколько вариантов сети Ethernet, различающихся топологией и особенностями физической среды передачи данных. Сеть Ethernet имеет иерархическую структуру. Участки (отдельные компьютеры или подсети) по 10 Мб/с подключаются к портам переключателей (switches) скорости 10/100, их выходы по 100 Мб/с, в свою очередь, подключаются к портам переключателей 100/1000. **10-40-100 Gigabit Ethernet** - новые схемы модуляции, новое оптоволокно, новые лазеры, DWDM (частотное разделение каналов по 50 - 100 ГГц).



1. Основной низкоскоростной вариант называется **Twisted Pair Ethernet** (шина, топология "звезда", дерево), принятое обозначение 10Base-T. Это кабельная сеть с использованием **неэкранированных витых пар** проводов и концентраторов, называемых также хабами. В этой сети не рекомендуется включать последовательно более четырех хабов. Скорость 10 Мбит/с. Baseband network означает, что сообщения пересылаются в цифровой форме без модуляции. Допускаются длины сегментов до 100 м, максимальное расстояние между узлами (диаметр сети) 500 м, предельное число узлов 1024. Уровни сигнала при манчестерском кодировании — $\pm 0,85 \text{ В}$, подключение к компьютеру — через телефонный разъем RJ-45. В разветвленной сети из витых пар и концентраторов происходит широковещательная передача данных по МДКН/ОК.

Структура сети Ethernet с топологией "звезда" При использовании кабелей известно правило конфигурирования **5-4-3-2-1**, при котором выполняются условия корректной работы кабельного сегмента ЛВС:

- 5** - сеть может состоять из пяти физических кабельных сегментов;
- 4** - при этом могут быть использованы четыре концентратора;
- 3** - к трем сегментам могут быть подключены сетевые станции;
- 2** - два сегмента не могут содержать сетевые подключения;
- 1** - все это создает один логический сегмент ЛВС или домен коллизий.

продолжительности передачи 575 бит для того, чтобы можно было надежно детектировать коллизии. При расчете этого времени нужно принимать во внимание время распространения сигналов по кабелю и задержку, вносимую повторителями. Для произвольных сетей расстояние между абонентами рассчитывается, но не превышает 2,5 км.

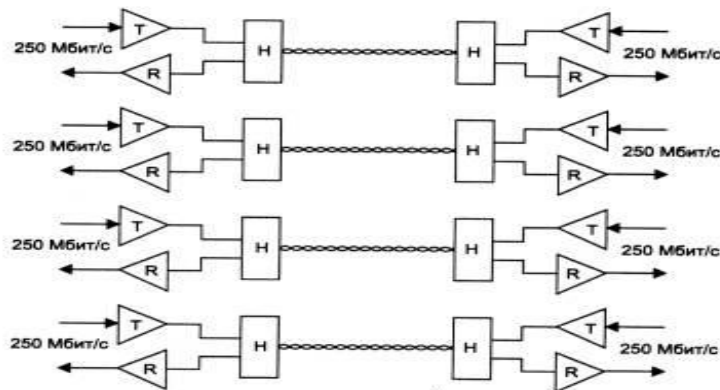
***) Диаметр сети:** если пакет передается через сеть слишком долго, станция может полностью завершить передачу своего пакета, не заметив того, что среда уже используется для передачи другой станцией (конфликт). Такие ситуации запрещены протоколом. Поскольку длина минимального пакета может составлять (с учетом преамбулы) 576 бит, время транспортировки пакета по самому длинному пути (PDV) не должно превышать

2. **Thick Ethernet** (шина "с толстым" коаксиальным кабелем); принятое обозначение варианта **10Base-5**, где первый элемент "10" характеризует скорость передачи данных по линии **10 Мбит/с**, последний элемент "5" — максимальную длину сегмента (в сотнях метров), т.е. 500 м; другие параметры: максимальное число сегментов — 5; максимальное число узлов на одном сегменте — 100; минимальное расстояние между узлами — 2,5 м. Под сегментом кабеля понимается часть кабеля, используемая в качестве линии передачи данных и имеющая на концах согласующие элементы (терминаторы) для предотвращения отражения сигналов.

3. **Thin Ethernet** (шина "с тонким" коаксиальным кабелем); принятое обозначение **10Base-2**: максимальное число сегментов — 5; максимальная длина сегмента — 185 м; максимальное число узлов на одном сегменте — 30; минимальное расстояние между узлами — 0,5 м; скорость передачи данных по линии — **10 Мбит/с**.

4. **Fiber Optic Ethernet** вариант **10Мбит/с** на основе оптоволоконного кабеля, обозначение 10Base-F, формирователь-приемник - светодиоды. Максимальные длины — в пределах 2 км.

5. **Fast Ethernet - 100-мегабитная сеть** — в которой применен тот же метод доступа, что и в 10Base-T. Эта сеть используется для построения скоростных ЛВС (последовательно включается не более двух хабов), для объединения низкоскоростных подсетей 10Base-T в единую скоростную сеть и для подключения серверов. Диаметр сети — 200 м в случае витой пары и 272 м в случае ВОЛС. Практически можно использовать до 250 узлов.

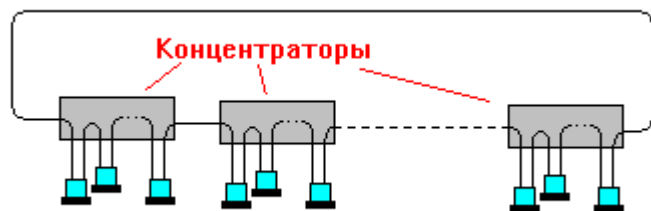


6. **Gigabit Ethernet**. В соответствии со стандартом IEEE 802.3z имеются разновидности Gigabit Ethernet на ВОЛС с использованием длин волн 830 или 1270 нм (варианты 1000Base-SX и 1000Base-LX соответственно) и на витой паре категории 5 (вариант 1000Base-T). Связь осуществляется на расстояниях до 5000 м в случае одномодовой ВОЛС, 550 м в случае многомодовой ВОЛС или до 200 м в случае медных проводов. В проводных сегментах сети 1000 Мб/с, используются - передача по 4 параллельным витым парам, - 5-уровневое представление данных (например, +2, +1, 0, -1, -2 В – код PAM5), - кодирование 8В/10В, передача «туда-обратно» по одной паре проводов (DSP).

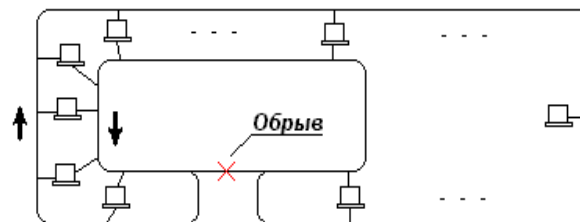
Рис. Двухнаправленная передача по четырем парам DTP категории 5

7. **RadioEthernet**, имеется несколько разновидностей **беспроводных сетей** на частотах 2,4 ГГц, и 5 ГГц. В стандарте определены обязательные скорости — 6, 12 и 24 Мбит/с, Super-G до (54 – 108) Мбит/с, радиус действия — сотни метров.

Сеть Token Ring — вторая по степени распространенности среди ЛВС после сетей Ethernet. Token – маркер. Это сеть кольцевой топологии, с тажируемым маркерным методом доступа, учитывающим приоритеты. Она была разработана фирмой IBM и послужила основой для стандарта IEEE 802.5.



сеть Token Ring



а) сеть FDDI

Концентраторы служат для удобства управления сетью, в частности, отключения от кольца неисправных узлов. Типичная реализация сети Token Ring характеризуется следующими данными: максимальное число станций данных — 96; максимальное число концентраторов — 12; максимальная длина замыкающего кабеля — 120 м; максимальная длина кабеля между двумя концентраторами или между концентратором и станцией — 45 м; два варианта скорости передачи данных по линии — 4 или 16 Мбит/с. После включения сети один из узлов сети назначается активным, т.е. он включает в кольцо свой сдвигающий регистр, формирует и посылает в кольцо маркер. Именно этот узел будет восстанавливать маркер, если он по какой-либо причине будет потерян. Сеть Token Ring рассчитана на меньшие предельные расстояния и число станций, чем Ethernet, но лучше приспособлена к повышенным нагрузкам.

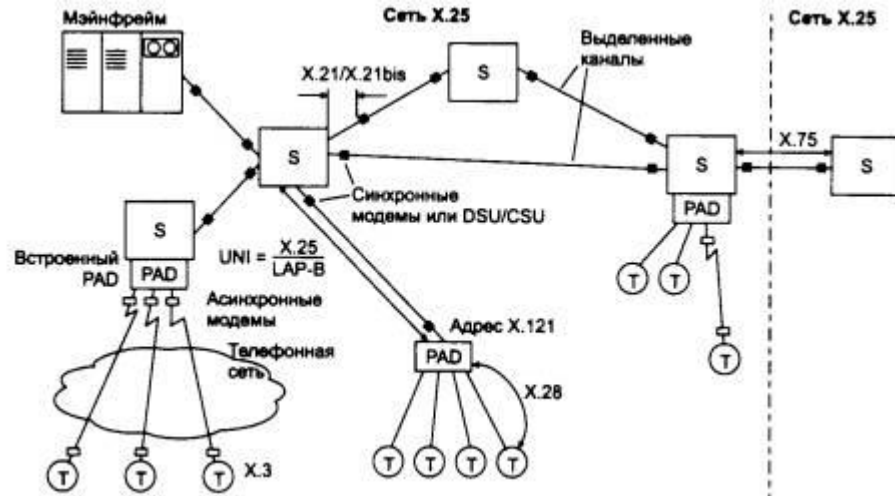
Сеть FDDI (Fiber Distributed Data Interface) — сеть кольцевой топологии на ВОЛС. В основном варианте сети применено двойное кольцо ВОЛС. Максимальная протяженность кольца — до 200 км, между соседними станциями — не более 2 км. Максимальное число узлов — 500. В ВОЛС используются волны длиной 1300 нм. Два кольца ВОЛС используются одновременно. Станции можно подключать к одному из колец или к обоим сразу. Использование конкретным узлом обоих колец позволяет для этого узла иметь суммарную пропускную способность в 200 Мбит/с. Другое возможное использование второго кольца — обход с его помощью поврежденного участка. Сети FDDI связывают подсети отдельных подразделений предприятий.

Сети X.25 относятся к первому поколению сетей коммутации пакетов.

Протоколы X.25 разработаны ITU еще в 1974 г. В России их популярность остается значительной до настоящего времени, поскольку эти сети хорошо работают на ненадежных линиях благодаря **протоколам с установлением соединения и коррекцией ошибок на двух уровнях - канальном и сетевом**. Технология сетей X.25 имеет несколько существенных признаков, отличающих ее от других технологий.

1. Наличие в структуре сети специального устройства - **PAD (Packet Assembler Disassembler) «Сборщик-разборщик пакетов»**, предназначенного для выполнения операции сборки нескольких низкоскоростных потоков байт от терминалов в пакеты, передаваемые по сети и направляемые компьютерам для обработки. К удаленному устройству PAD терминалы подключаются по асинхронному интерфейсу, обычно для этой цели используется интерфейс RS-232C. Один **PAD обычно обеспечивает доступ для 8, 16 или 24 асинхронных терминалов**. Устройства PAD часто используются для подключения к сетям X.25 кассовых терминалов и банкоматов, имеющих асинхронный интерфейс RS-232.
2. Наличие трехуровневого стека протоколов с использованием на канальном и сетевом уровнях протоколов с установлением соединения, управляющих потоками данных и исправляющих ошибки.
3. Ориентация на однородные стеки транспортных протоколов во всех узлах сети - **сетевой уровень рассчитан на работу только с одним протоколом** канального уровня и не может подобно протоколу IP объединять разнородные сети. Сеть X.25 состоит из коммутаторов (Switches, S), называемых **также центрами коммутации пакетов (ЦКП)**, расположенных в различных географических точках и соединенных высокоскоростными выделенными каналами (рис.). Выделенные каналы могут быть как цифровыми, так и аналоговыми. Взаимодействие двух сетей X.25 определяет стандарт X.75.

Компьютеры и локальные сети обычно подключаются к сети X.25 непосредственно через адаптер X.25 или маршрутизатор, поддерживающий на своих интерфейсах протоколы X.25. Для управления устройствами PAD в сети существует протокол X.29, с помощью которого узел сети может управлять и конфигурировать PAD удаленно, по сети. Стандарт X.25 относится к трем нижним уровням ЭМВОС, т.е. включает протоколы физического, канального и сетевого уровней. На сетевом уровне используется коммутация пакетов.



Характеристики сети:

- **пакет** размером до одного **килобайта** содержит адресную, управляющую, информационную и контрольную части, т.е. в его заголовке имеются флаг, адреса отправителя и получателя, тип **кадра** (служебный или информационный), номер кадра (используется для правильной сборки сообщения из пакетов);
- на канальном уровне применено оконное управление, размер окна задает число кадров, которые можно передать до получения подтверждения (это число равно 8 или 128);
- передача данных по виртуальным (логическим) каналам, т.е. это сети с установлением соединения;
- **узлы на маршруте**, обнаружив ошибку, ликвидируют ошибочный пакет и **запрашивает повторную передачу пакета**. В сетевом протоколе X.25 значительное внимание уделено контролю ошибок (в отличие, например, от протокола IP, в котором обеспечение надежности передается на транспортный уровень). Эта особенность приводит к уменьшению скорости передачи, т.е. **сети X.25 низкоскоростные** (обычно обеспечивается скорость **64 кбит/с**), но зато эти сети можно реализовать

на каналах связи с невысокой помехоустойчивостью. Контроль ошибок производится при инкапсуляции и восстановлении пакетов во всех коммутаторах, а не только в оконечном узле. **Типичная АКД** в X.25 — синхронный модем с дуплексным бит-ориентированным протоколом. Скорости от 9,6 до 64 кбит/с. На физическом уровне для связи с цифровыми каналами передачи данных используется протокол X.21, а с аналоговыми каналами — протокол X.21bis.

Скрэмблирование = перемешивание данных скрэмблером перед передачей их в линию с помощью потенциального кода для исключения длинных последовательностей из нулей или единиц. Методы скрэмблирования заключаются в побитном вычислении результирующего кода на основании бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит результирующего кода. Например, скрэмблер может реализовывать следующее соотношение:

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5},$$

где B_i - двоичная цифра результирующего кода, полученная на i -м такте работы скрэмблера, A_i - двоичная цифра исходного кода, поступающая на i -м такте на вход скрэмблера, B_{i-3} и B_{i-5} - двоичные цифры результирующего кода, полученные на предыдущих тактах работы скрэмблера, соответственно на 3 и на 5 тактов ранее текущего такта, \oplus - операция исключающего ИЛИ (сложение по модулю 2). Например, для исходной последовательности 110110000001 на выходе скрэмблера появится последовательность 110001101111, в которой нет последовательности из шести нулей, присутствовавшей в исходном коде.

Избыточные коды, например 4B/5B или 8B/10B применяют для распознавания искаженных бит на физическом уровне. Запись 4B/5B означает, что каждые 4 бита исходного кода передаются 5 битами. Общее количество битовых комбинаций 5B равно 32 по сравнению с исходными 16. Если принимается запрещенная комбинация, значит на линии произошло искажение сигнала. Некоторые методы позволяют из 16 запрещенных комбинаций восстановить сразу истинные (поиск по словарию). Платой является уменьшение скорости передачи.