Лекция №3
Метод доступа CSMA/CD

Курс «Компьютерные сети»

Приходько Татьяна Александровна
к.т.н. доцент кафедры вычислительных технологий

1.1. Структура стандартов IEEE 802.x

1.2. Метод доступа CSMA/CD

Проект 802

В конце 70-х годов локальные вычислительные сети стали восприниматься в качестве потенциального инструмента ведения бизнеса и **Институт инженеров по электронике и электротехнике (IEEE)** пришёл к выводу, что необходимо определить стандарты для локальных вычислительных сетей.

В результате был выпущен Project 802. Для реализации проекта был создан комитет, который принял ряд стандартов, имеющих обозначение **IEEE 802.x.**

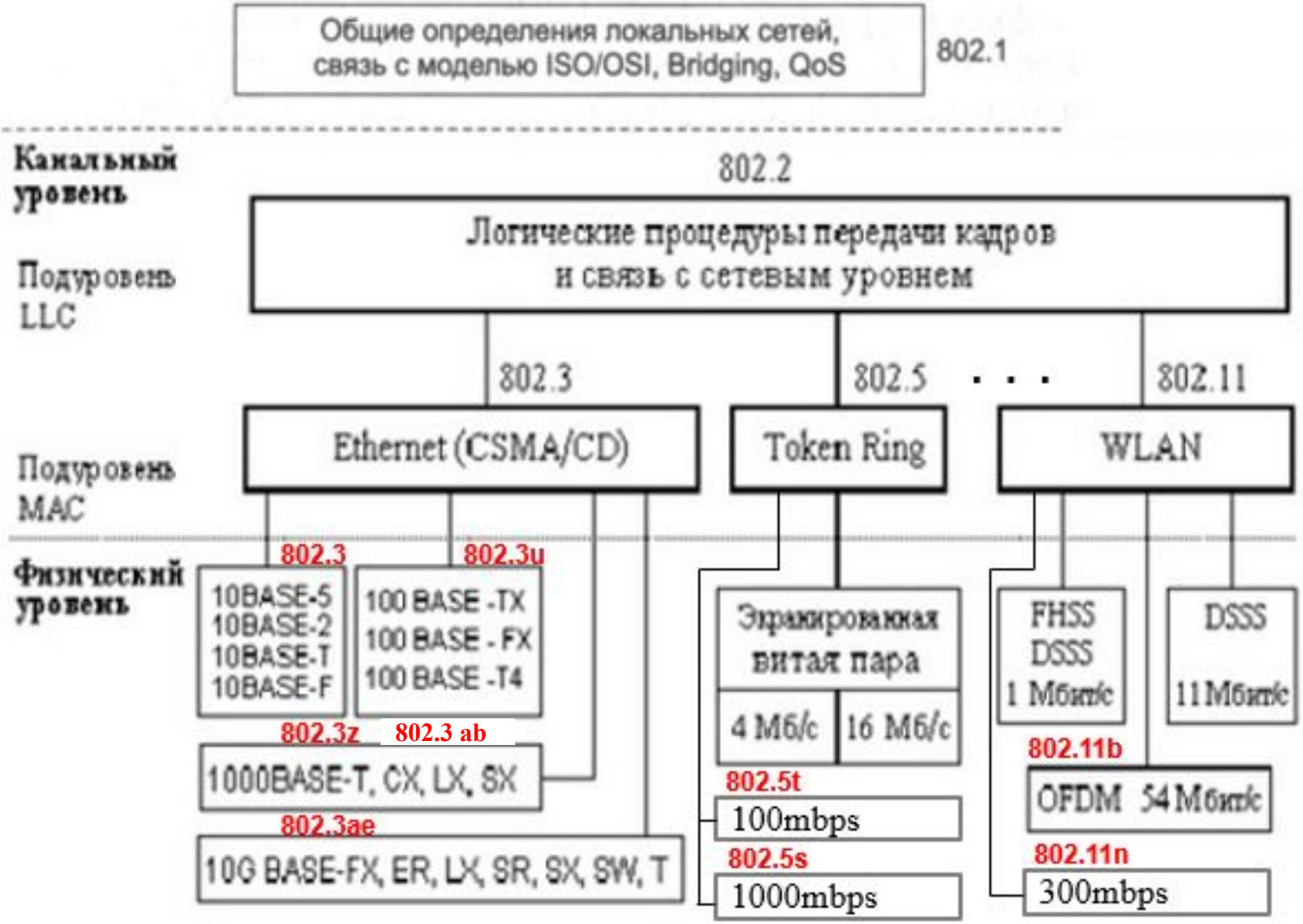
Хотя публикация стандартов IEEE 802.x и опередила публикацию стандартов ISO/OSI, оба проекта велись приблизительно в одно и то же время и при полном обмене информацией, что и привело к рождению двух *совместимых* моделей:

- **ISO/OSI** и
- **IEEE 802.x.** – группы стандартов, выпущенных в результате реализации проекта 802

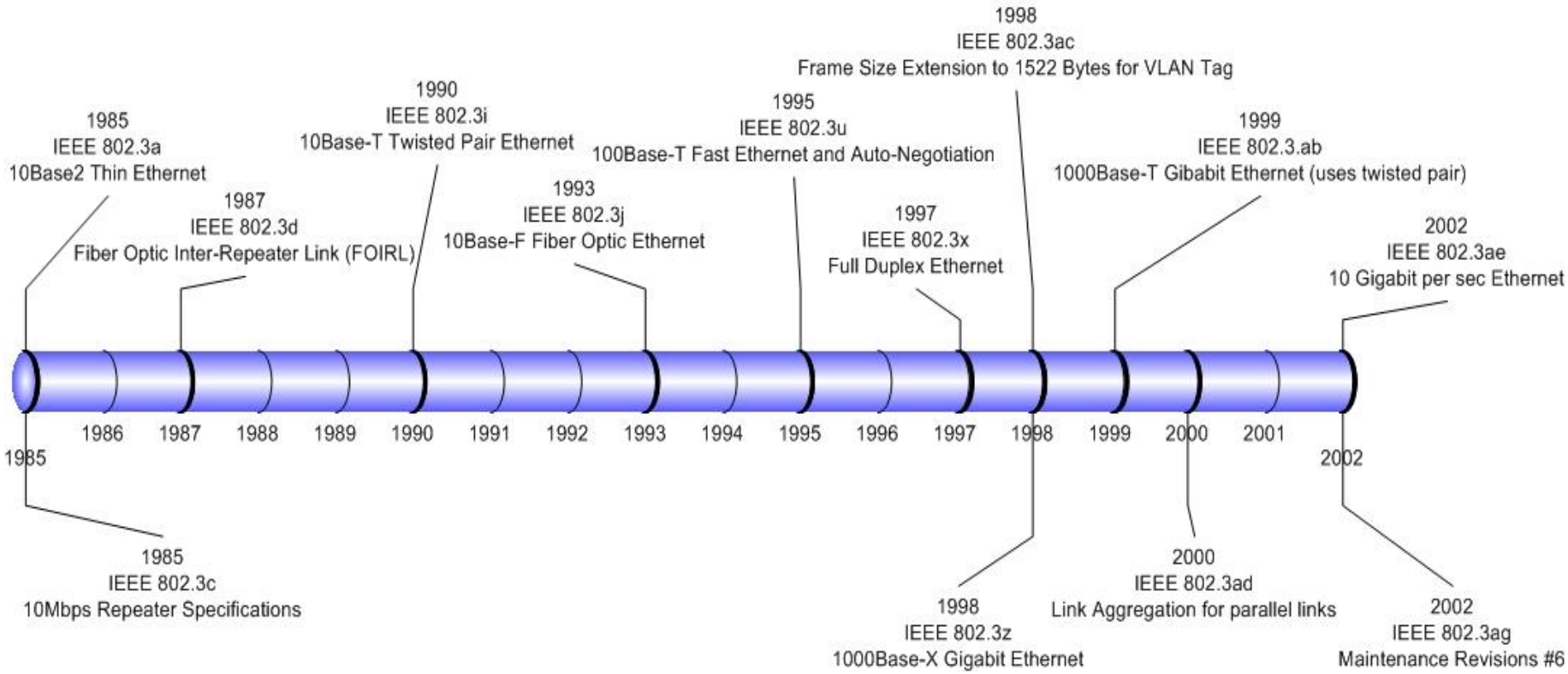
Структура стандартов IEEE 802.x

- Стандарты семейства IEEE 802.x охватывают только два нижних уровня семиуровневой модели OSI – ***физический и канальный***. Это связано с тем, что именно эти уровни в наибольшей степени отражают специфику локальных сетей. Уровни, расположенные выше, в значительной степени, имеют общие черты, характерные как для локальных, так и глобальных сетей.
- Специфика локальных сетей в стандартах IEEE 802.x нашла своё отражение в разделении канального уровня на два подуровня, которые часто называют также уровнями.
- Первый подуровень – логический (передача данных) – ***LLC*** (Logical Link Control)
- и второй подуровень – управления доступом к среде – ***MAC*** (Medium Access Control).

Структура стандартов IEEE 802.x



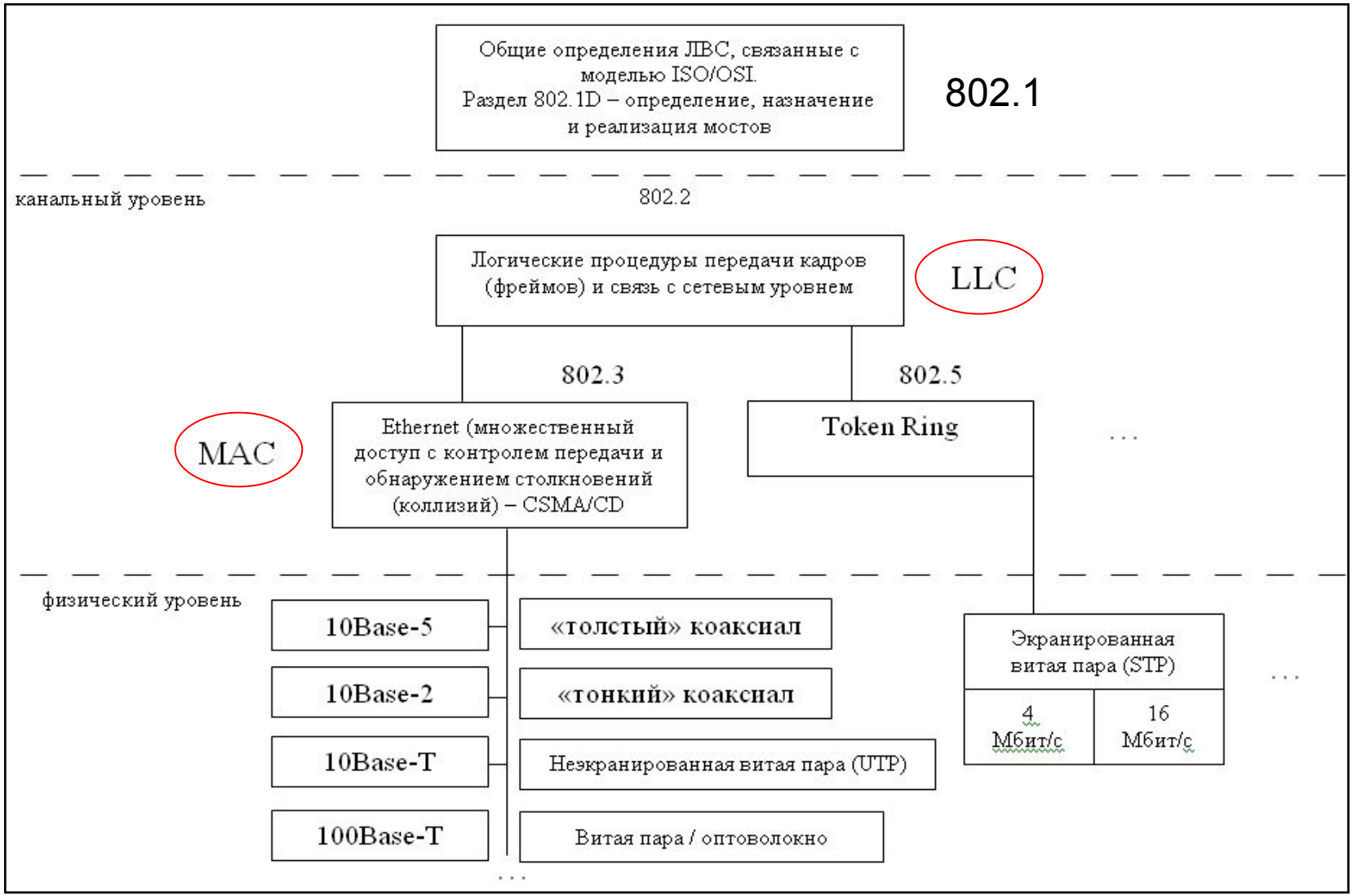
Историческая ретроспектива стандартов IEEE 802.x



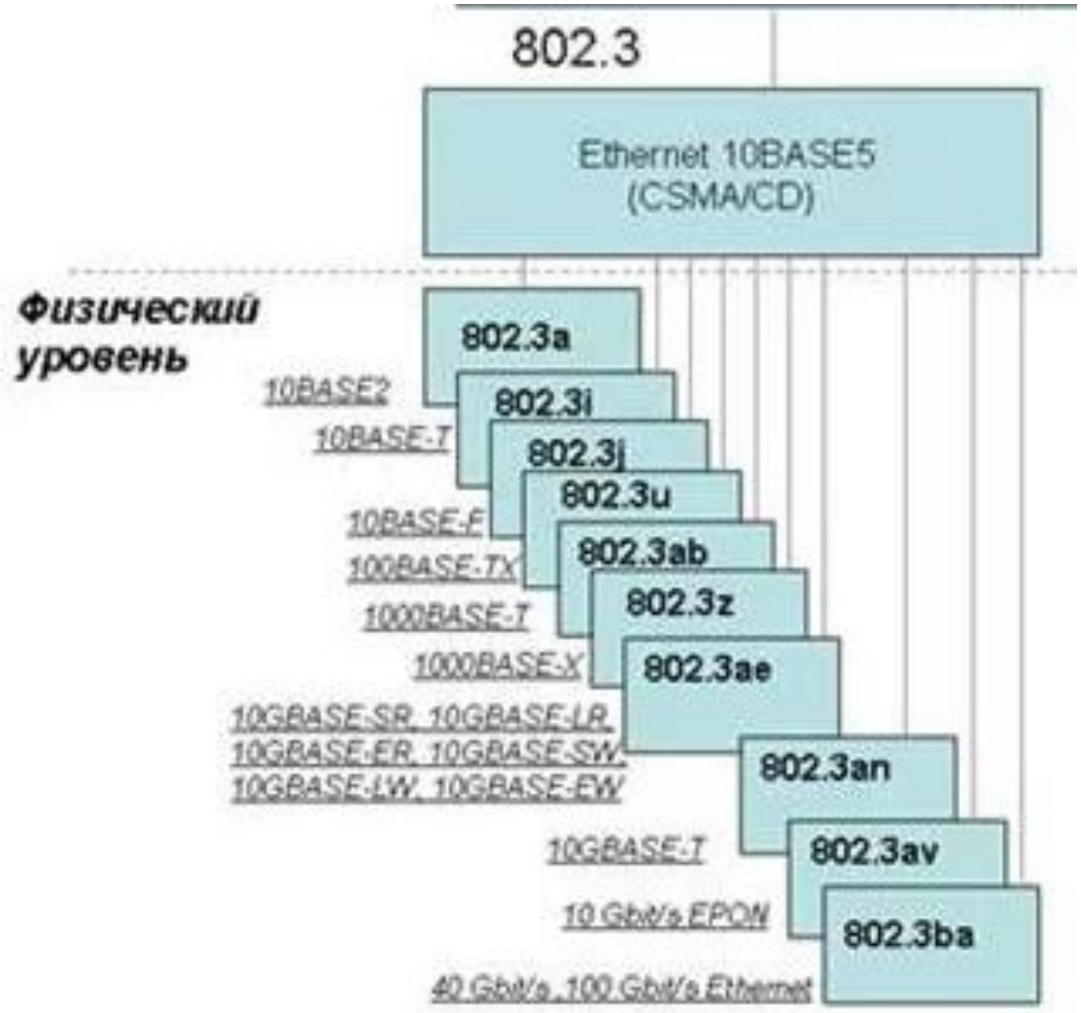
Модель OSI

Данные	Прикладной доступ к сетевым службам
Данные	Представления представление и кодирование данных
Данные	Сеансовый Управление сеансом связи
Блоки	Транспортный безопасное и надёжное соединие точка-точка
Пакеты	Сетевой Определение пути и IP (логическая адресация)
Кадры	Канальный MAC и LLC (Физическая адресация)
Биты	Физический кабель, сигналы, бинарная передача данных

Структура стандартов IEEE 802.x



Структура стандартов IEEE 802.3



Подкомитет 802.1

- Стандарты 802.1 носят общий для всех технологий характер.
- В подкомитете 802.1 были разработаны общие определения локальных сетей и их свойств, определена связь подуровней модели IEEE 802 с моделью ISO/OSI. Но наиболее практически важным является стандарт 802.1, который описывает **взаимодействие между собой различных технологий, а также стандарты по построению более сложных сетей на основе базовых технологий.**
- Эта группа стандартов носит общее название стандартов межсетевого взаимодействия (internetworking). Сюда входят такие важные стандарты, как 802.1D, описывающий логику работы моста (коммутатора, switch), стандарт 802.1H, определяющий работы транслирующего моста, который может без маршрутизатора объединять сети Ethernet и FDDI, Ethernet и Token Ring и т.д.

Подкомитет 802.2

- Структура стандарта появилась в результате большой работы, проведённой комитетом 802, по выделению в различных фирменных технологиях общих подходов и общих функций, а также согласования стилей их описания. Описание каждой технологии разделено на две части – описание уровня MAC и описание физического уровня. Как видно из рисунка, практически у каждой технологии единственному протоколу подуровня MAC соответствует несколько вариантов протоколов физического уровня.
- На канальном уровне у всех технологий изображён общий для них протокол LLC, поддерживающий несколько режимов работы, но независимый от выбора конкретной технологии.
- Стандарт подуровня **LLC курирует подкомитет 802.2.**
- Даже технологии, стандартизированные не в рамках комитета 802, ориентируются на использование протокола LLC, определённого стандартом 802.2. Например, протокол FDDI, стандартизированный национальным институтом стандартов США ANSI, использует протокол 802.2.

Подуровень LLC

- Подуровень LLC отвечает за передачу кадров (фреймов) между узлами сети с различной степенью надёжности, а также реализует функции интерфейса с прилегающим к нему сетевым уровнем. Именно через подуровни LLC сетевой протокол запрашивает у канального уровня нужную ему транспортную операцию с нужным качеством.
- **Протоколы LLC и MAC взаимно независимы**, т.е. **каждый протокол уровня MAC может использоваться с любым протоколом уровня LLC и наоборот.**

Подуровень MAC

- Подуровень MAC появился из-за существования в локальных сетях ***разделяемой среды передачи данных***, и именно этот подуровень обеспечивает корректное совместное использование общей среды, предоставляя её в соответствии с определённым алгоритмом в распоряжение той или иной станции сети.
- В локальных сетях получили распространение **несколько протоколов подуровня MAC,** реализующих различные алгоритмы доступа к разделяемой среде. Эти протоколы полностью определяют специфику таких технологий, как **Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, FDDI и т.д**.

Замечания:

- Стандарты 802.3, 802.4, 802.5 и 802.12 описывают технологии локальных сетей, которые появились в результате улучшения фирменных технологий, которые легли в основу этих стандартов.
- Например, стандарт 802.3 составила технология Ethernet, разработанная компаниями Digital, INTEL и Xerox (Ethernet DIX). Стандарт 802.4 появился как обобщение технологии ArcNet компании Datapoint Corporation. В основу стандарта 802.5 положена технология Token Ring, разработанная фирмой IBM.
- Исходные фирменные технологии и их модификации, т.е. стандарты 802.x в ряде случаев долгие годы существовали параллельно; например, технология ArcNet так до конца и не была приведена в соответствие со стандартом 802.4 (теперь это делать поздно, т.к. с 1993 г. производство оборудования ArcNet было свёрнуто).
- Расхождения между технологией Token Ring и стандартом 802.5 также периодически возникают, т.к. компания IBM регулярно вносит усовершенствования в свою технологию, а подкомитет 802.5 отражает эти усовершенствования с некоторым запаздыванием.

Замечания (продолжение):

- Исключение составляет технология Ethernet. Последний фирменный вариант стандарта Ethernet DIX был принят в 1980г., и с тех пор никто больше не предпринимал попыток фирменного развития Ethernet. Все новшества в семействе технологий Ethernet вносятся только в результате принятия открытых стандартов подкомитета 802.3.
- Более поздние стандарты изначально разрабатывались не одной компанией, а группой заинтересованных компаний, а потом передавались в соответствующие подкомитет IEEE 802 для утверждения. Так произошло с технологиями Fast Ethernet, Gigabit Ethernet. Группа заинтересованных компаний образовывала сначала небольшое объединение, а затем по мере развития работ к нему присоединялись другие компании, так что процесс принятия стандарта носил открытый характер.

Комитет 802 включает ряд подкомитетов:

Получили известность следующие подкомитеты (рабочие группы):

- **802.1 – объединение сетей, основная задача - internetworking;**
- **802.2 – управление логической передачей данных (LLC);**
- **802.3 – Ethernet с методом доступа CSMA/CD;**
- **802.4 – локальные сети с методом доступа Token Bus (маркерный доступ к шине, аналог ArcNet);**
- **802.5 – локальные сети с методом доступа Token Ring (маркерный доступ к кольцу);**
- **802.6 – сети мегаполисов (MAN);**
- **802.7 – техническая консультационная группа по широкополосной передаче;**
- **802.8 – техническая консультационная группа по волоконно-оптическим сетям;**
- **802.9 – интегрированные сети передачи голоса и данных;**
- **802.10 – сетевая безопасность;**
- **802.11 – беспроводные сети;**
- **802.12 – локальные сети с методом доступа по требованию с приоритетами.**

Нумерация стандартов IEEE

- Нумерация стандартов IEEE из серии 802 производится в соответствии со схемой: если за цифрой следует *прописная* буква, то это отдельный стандарт, если же за цифрой следует *строчная* буква, то это дополнение к стандарту или часть стандарта, обозначаемого несколькими цифрами и буквами.

Примеры:

- 1. IEEE 802.1F – Стандарт определения управляющей информации для серии 802; одобрен в 1993году.
- 2. IEEE 802.3ae – 10GBaseX (Ethernet со скоростью 10 Гбит/с для оптического волокна).
- 3. IEEE 802.3an – 10GBaseT (Ethernet со скоростью 10 Гбит/с по кабелям Категории 6 и 7).

Организационная структура IEEE 802

Комитет по стандартам для локальных и городских сетей IEEE 802 международный орган разработки стандартов, объединяющий свыше 500 специалистов по сетям из разных стран мира. Комитет IEEE 802 сформирован в феврале 1980 года не реже 3-х раз в год собирается на пленарные заседания.

Стандарты института IEEE известны под кодовым названием IEEE 802.xxx .

Рабочие группы в составе комитета IEEE 802

- **Рабочие группы** – это органы, которые в настоящее время ведут разработку стандартов. В каждой рабочей группе есть председатель. Обычно рабочие группы в периоды между пленарными заседаниями комитета собираются на так называемые межсессионные совещания, где регулярно обсуждают ход работы над стандартами.

- Рабочие группы делятся на две категории.

1. - активные рабочие группы;
2. - “замороженные” рабочие группы.

- **Активные рабочие группы** – это органы, которые в настоящее время ведут разработку стандартов.
- **“Замороженные” рабочие группы** – это те, которые уже завершили разработку своих стандартов и в данный момент и не занимаются другими проектами. Их роль заключается в оказании всесторонней технической поддержки и в сопровождении выпущенных стандартов (до тех пор пока они остаются на рынке).

Стандарты Ethernet: последние разработки и направления развития

- Стандарты проекта 802 первой волны были рассчитаны на фиксированные линии передачи данных (медь и оптическое волокно). Ситуация изменилась, когда в 1990 году появилась рабочая группа **802.11 по стандартизации беспроводных локальных сетей.**
- Сегодня беспроводные технологии являются основной темой проекта 802.

Наиболее активные группы:

- - 802.3 – множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий;
- - 802.11 – беспроводные локальные сети;
- - 802.15 – беспроводные персональные сети;
- - 802.16 – широкополосный беспроводный доступ;
- - 802.20 – мобильный широкополосный доступ;
- - 802.21 – независимый от среды роуминг.

Выводы:

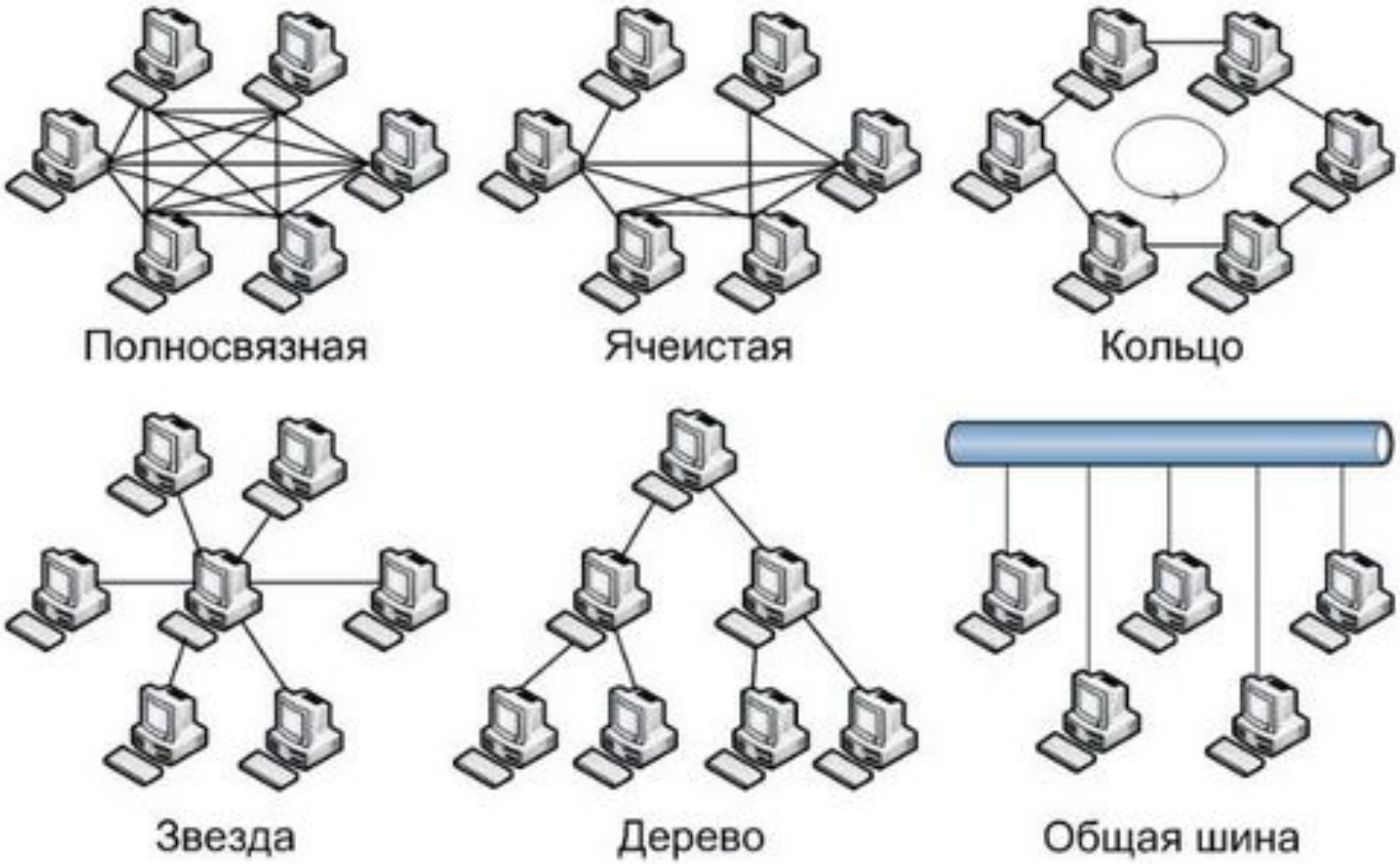
- 1. Комитет IEEE 802 разрабатывает стандарты, которые содержат рекомендации для проектирования нижних уровней локальных сетей (физического и канального). Специфика локальных сетей нашла отражение в разделении канального уровня на два подуровня – MAC и LLC.
- 2. Стандарты подкомитета 802.1 носят общий характер для всех технологий и постоянно пополняются, например, в этом стандарте стандартизована сравнительно новая технология виртуальных локальных сетей (VLAN).
- 3. Более поздние стандарты изначально разрабатывались не одной компанией, а группой заинтересованных компаний и потом передавались в соответствующий подкомитет IEEE 802 для утверждения.
- 4. Наиболее активными рабочими группами являются: IEEE 802.3 и IEEE 802.11, которые разрабатывают современные стандарты для технологии Ethernet и беспроводной связи.

Почему побеждает Ethernet?

- Множество сетевых протоколов
- **Цена**
- Много оборудования
- Высокая работоспособность
- Легкий в использовании
- Легко масштабируемый

1.2. Метод доступа CSMA/CD

Топологии компьютерных сетей

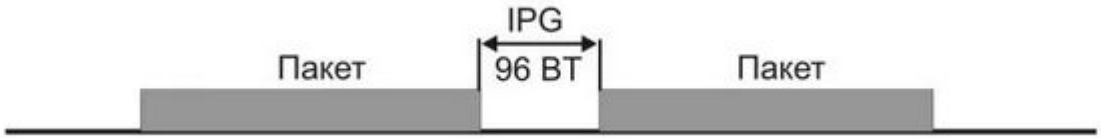


CSMA/CD

- В сетях Ethernet используется метод доступа к среде передачи данных, называемый *методом коллективного доступа с опознаванием несущей и обнаружением коллизий (carrier-sense-multiply-access with collision detection, CSMA/CD)*.
- Этот метод используется в сетях с общей шиной (к которым относятся и радиосети, породившие этот метод). Заметьте, что **отдельные сегменты звезды тоже работают по этому принципу**!
- Все компьютеры такой сети имеют непосредственный доступ к общей шине, поэтому она может быть использована для передачи данных между любыми двумя узлами сети.
- Говорят, что кабель, к которому подключены все станции, работает в режиме *коллективного доступа (multiply-access, MA).*

CSMA/CD

- Все данные, передаваемые по сети, помещаются в кадры определенной структуры и снабжаются уникальным адресом станции назначения. Затем кадр передается по кабелю.
- Все станции, подключенные к кабелю, распознают факт передачи кадра, и та станция, которая узнает собственный адрес в заголовках кадра, записывает его содержимое в свой внутренний буфер, обрабатывает полученные данные и посылает по кабелю кадр-ответ. Адрес станции-источника также включен в исходный кадр, поэтому станция-получатель знает, кому нужно послать ответ.
- Между кадрами устанавливается стандартный промежуток – IFG – Inter Frame Gap – Межкадровый интервал, равный 96 би*).

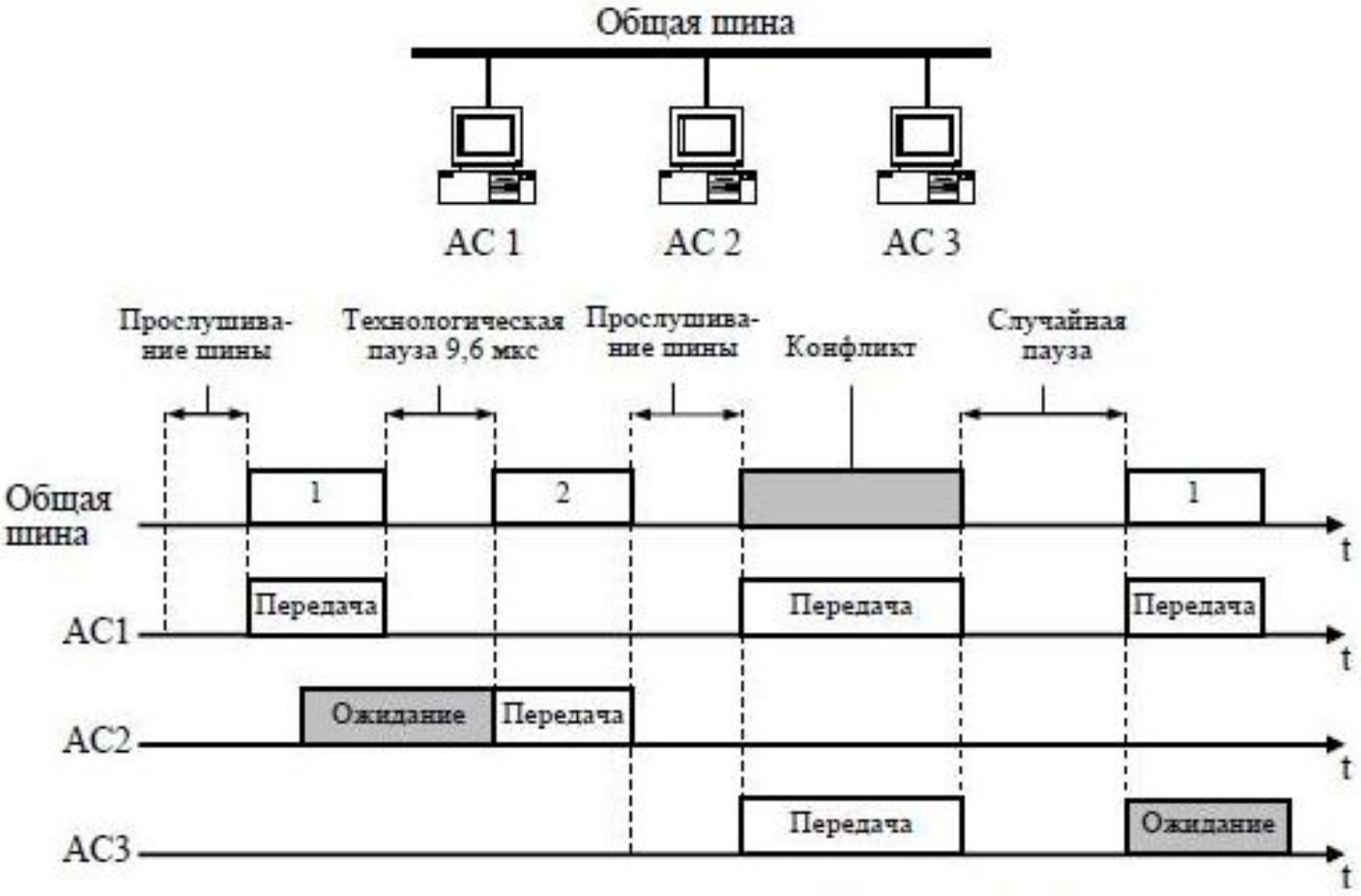


*)би – битовый интервал – время передачи одного бита, для Ethernet – это 0,1 мкс.

CSMA/CD

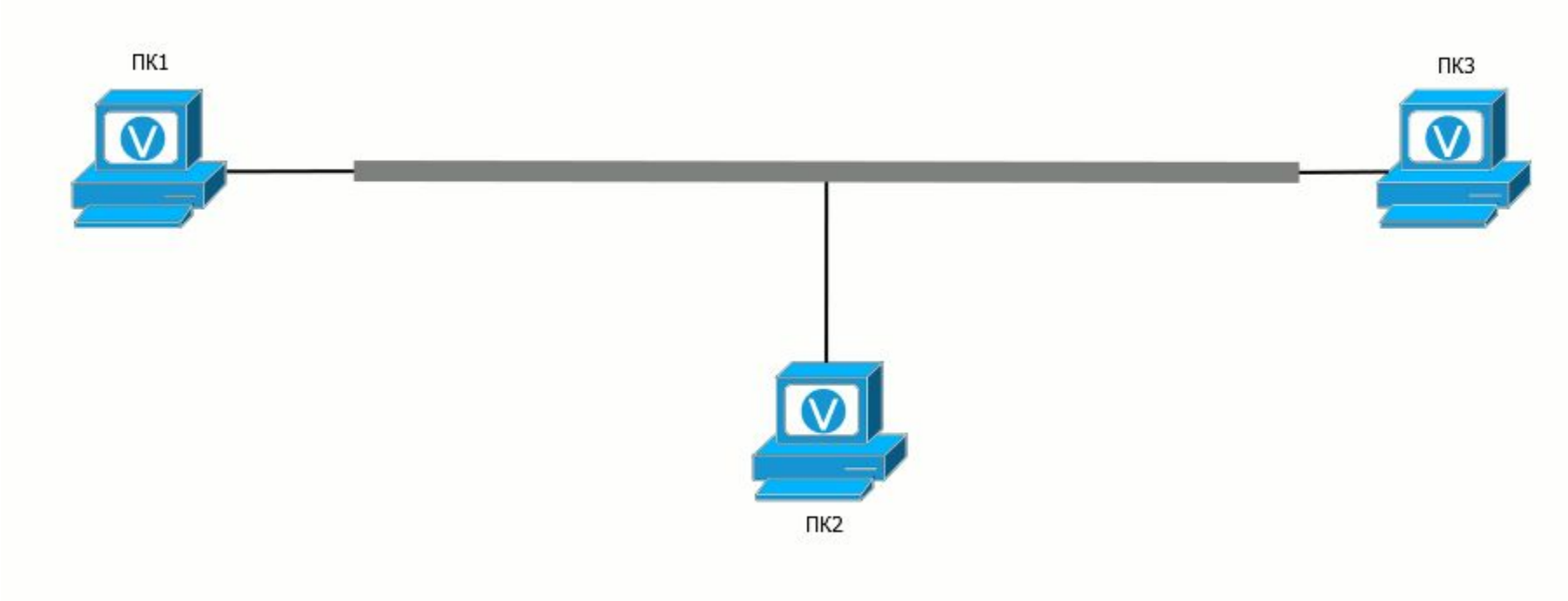
- Все данные, передаваемые по сети, помещаются в кадры определенной структуры и снабжаются уникальным адресом станции назначения. Затем кадр передается по кабелю.
- Все станции, подключенные к кабелю, распознают факт передачи кадра, и та станция, которая узнает собственный адрес в заголовках кадра, записывает его содержимое в свой внутренний буфер, обрабатывает полученные данные и посылает по кабелю кадр-ответ. Адрес станции-источника также включен в исходный кадр, поэтому станция-получатель знает, кому нужно послать ответ.

CSMA/CD



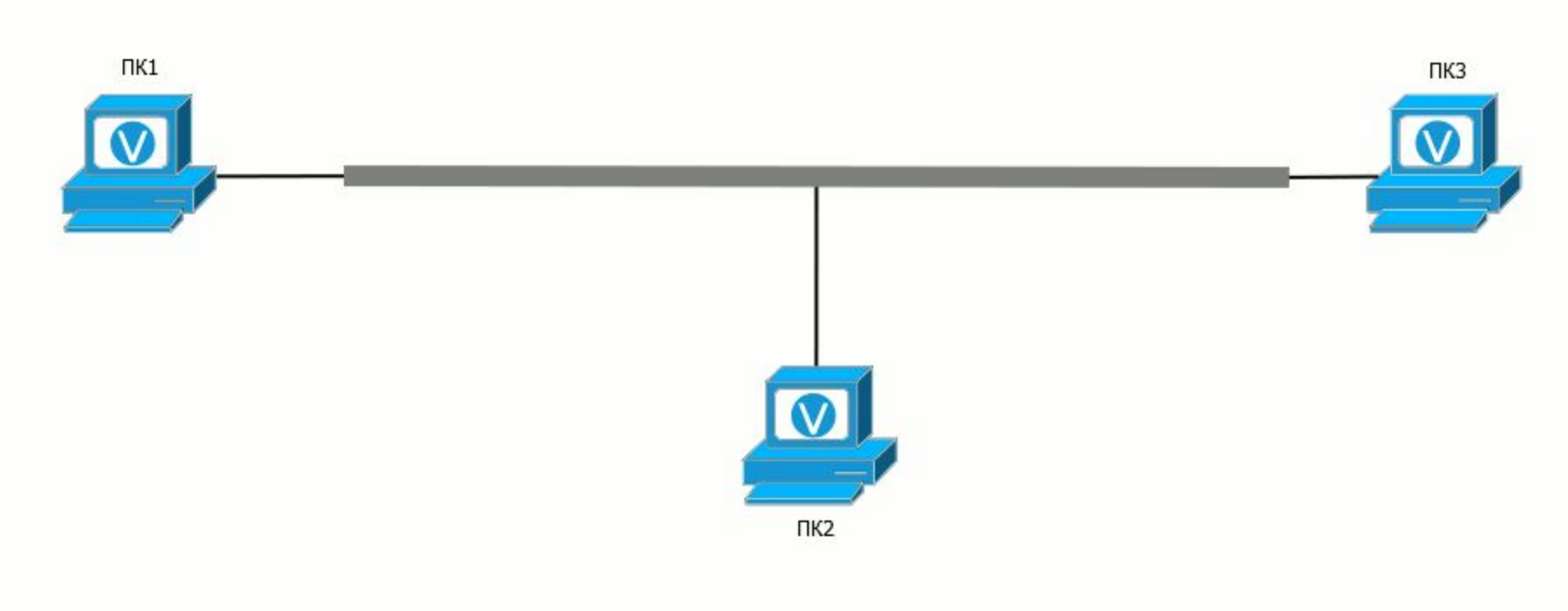
Временн**а**я диаграмма передачи кадров в разделяемой среде

CSMA/CD



Информация проходит без искажений

CSMA/CD

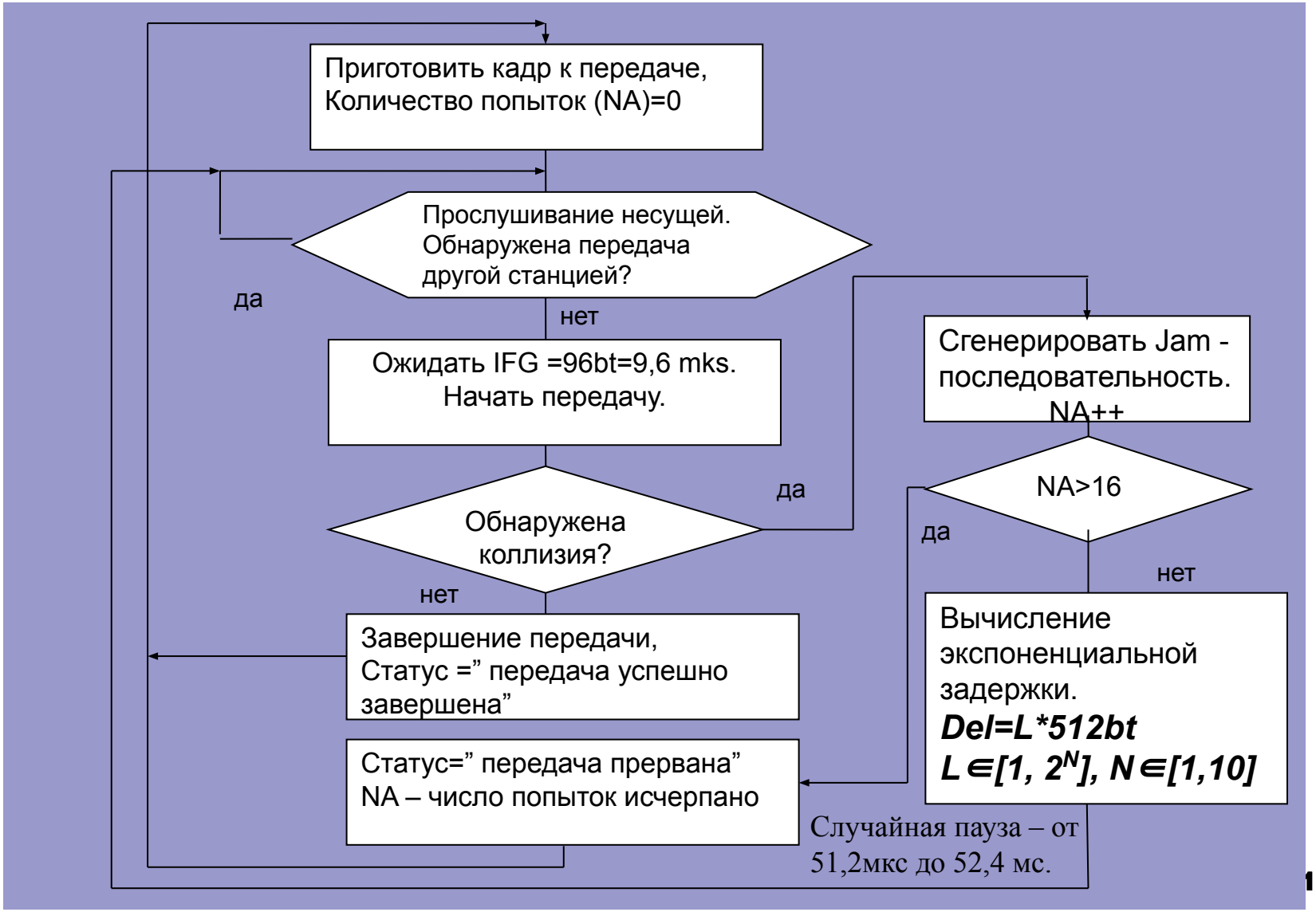


Коллизия – столкновение сигналов

Распространение сигнала о коллизии (домен коллизий)

CSMA/CD - случайный алгоритм

Передача кадра



CSMA/CD - случайный алгоритм

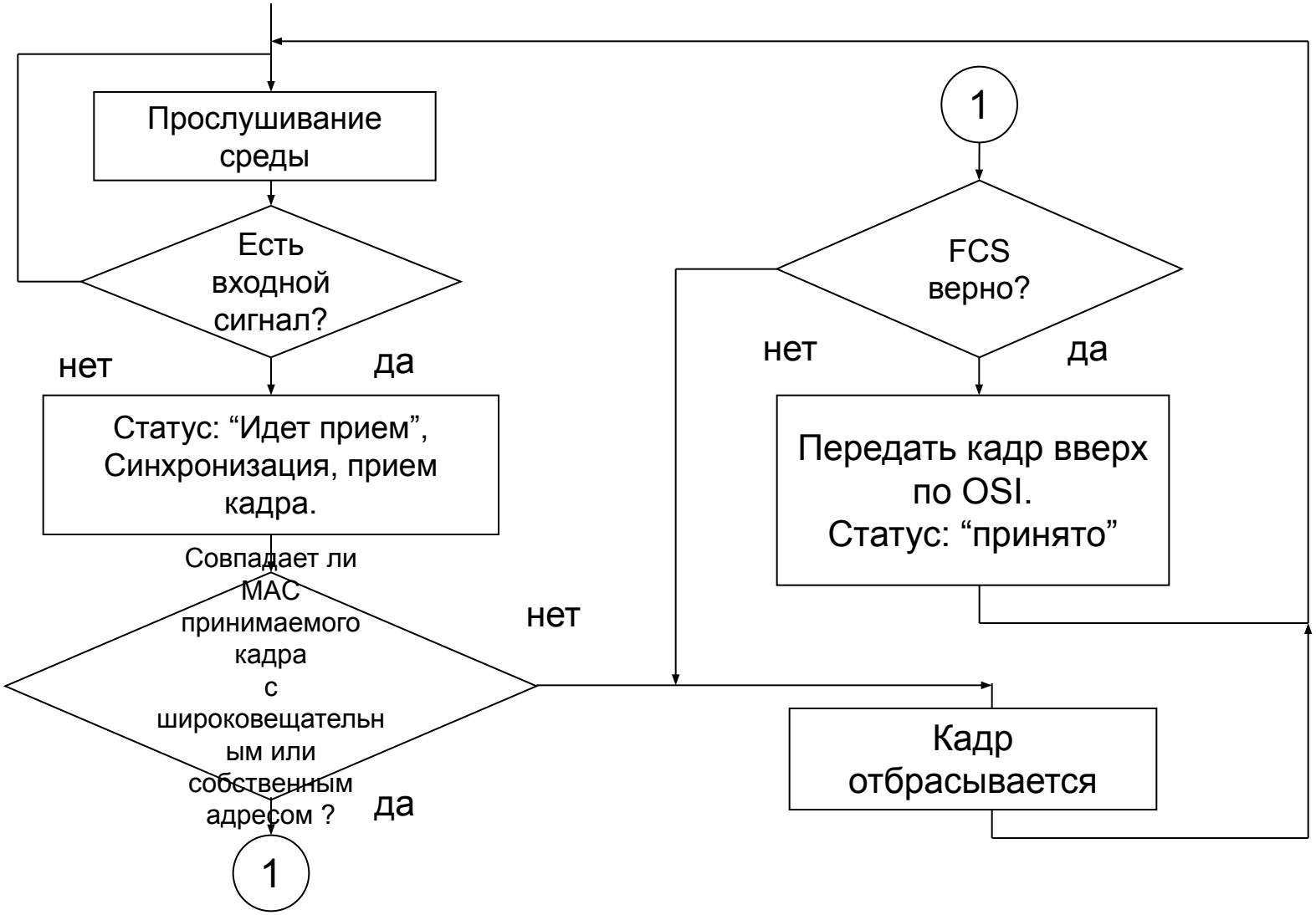
Передача кадра

Jam-сигнал (jamming - дословно глушение). Передача jam-сигнала гарантирует, что не один кадр не будет потерян, так как все узлы, которые передавали кадры до возникновения коллизии, приняв jam-сигнал, прервут свои передачи и замолкнут в преддверии новой попытки передать кадры.

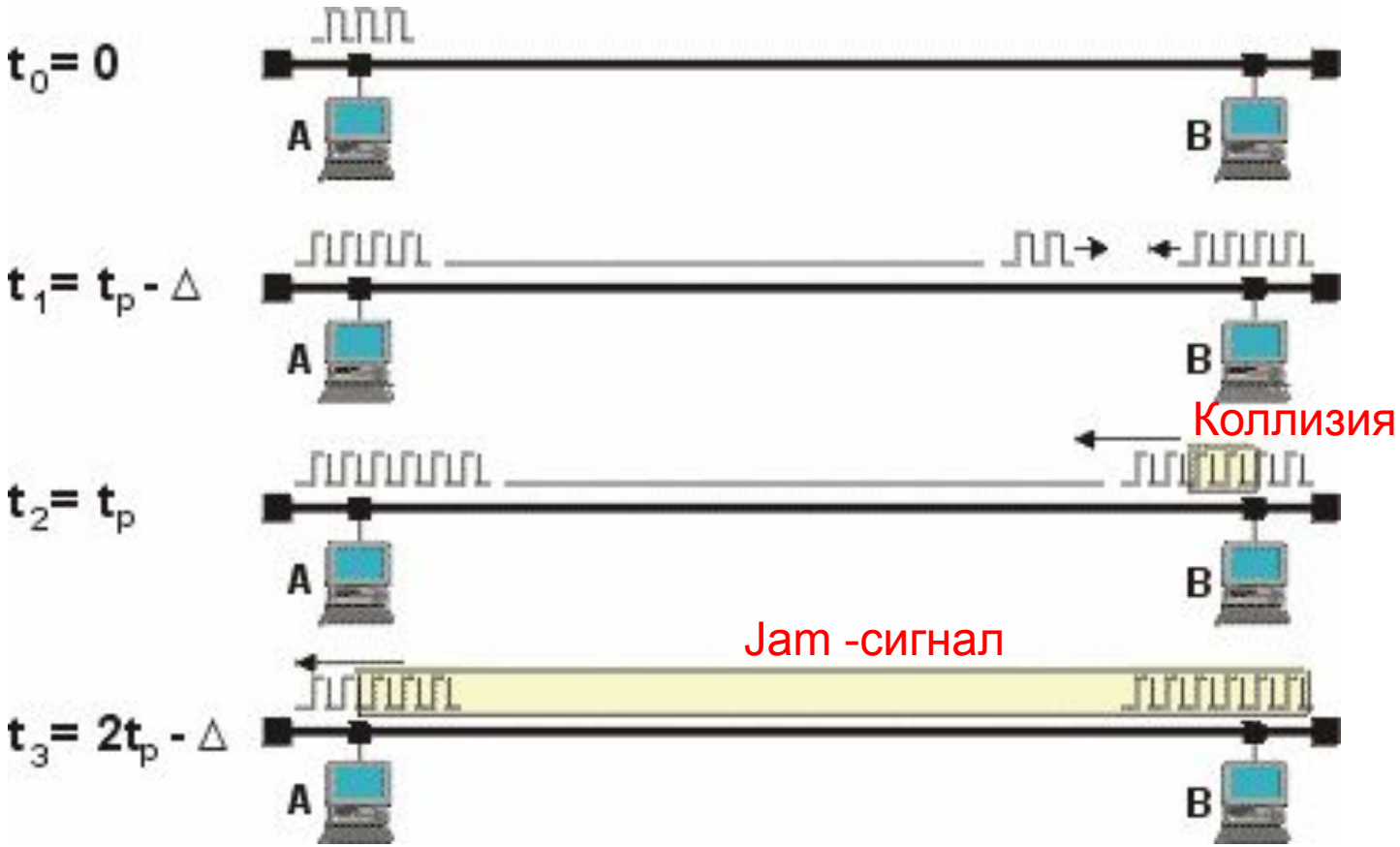
Jam-сигнал должен быть достаточной длины, чтобы он дошел до самых удаленных станций коллизионного домена, с учетом дополнительной задержки SF (safety margin) на возможных повторителях.

CSMA/CD - случайный алгоритм

Прием кадра



Коллизия



Δ - мало, можно пренебречь

CSMA/CD - случайный алгоритм

Возникновение коллизии при приеме кадра обнаруживается либо по изменению электрического потенциала, если используется коаксиальный сегмент, либо по факту приема дефектного кадра (неверная контрольная сумма), если используется витая пара или оптическое волокно. В обоих случая принятая информация сбрасывается.

CSMA/CD

Media Access Control in Ethernet

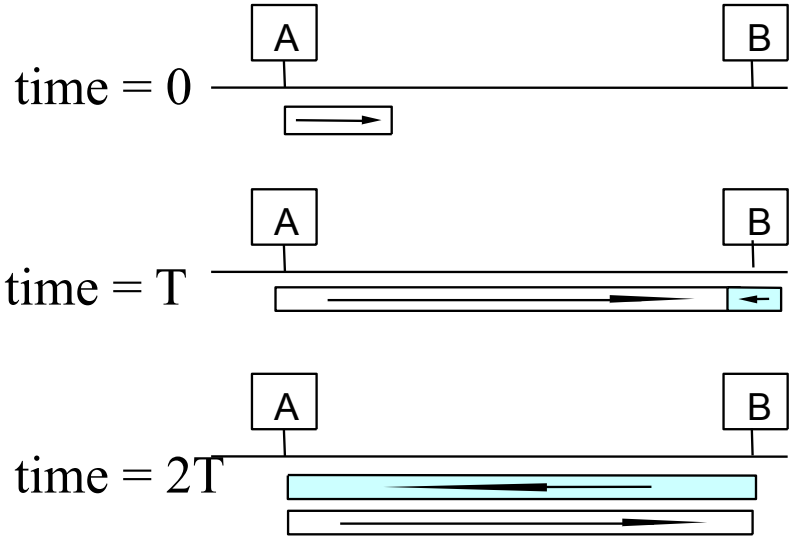
Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)

Определение коллизии

- Как может А знать, что произошло столкновение?
- Должен быть механизм для обеспечения повторной передачи при столкновении
- Сообщение от А достигает В в момент времени Т
- Jam сигнал от В достигает А в момент времени 2Т

Время 2Т называет RTD - Round Trip Delay – двойной оборот сигнала
или
PDV – Path Delay Value

Чему равно Т?
Времени передачи кадра минимальной длины.



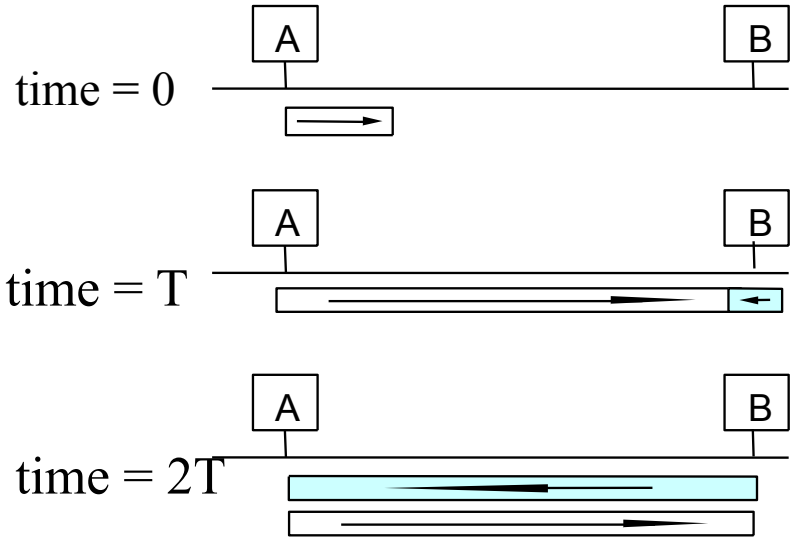
Определение коллизии

- IEEE 802.3 определяет максимальное значение 2T равным 57,5 bt (битовый интервал)
  - При скорости 10 Мбит / с для передачи одного бита требуется 0,1 мкс, поэтому для передачи 575 бит (72B) требуется 57,5 МКС
  - Таким образом, фреймы Ethernet должны быть длиной не менее 64B (72 байта с преамбулой)=575 бит

Станция A должна останавливать передачу при получении jam сигнала.

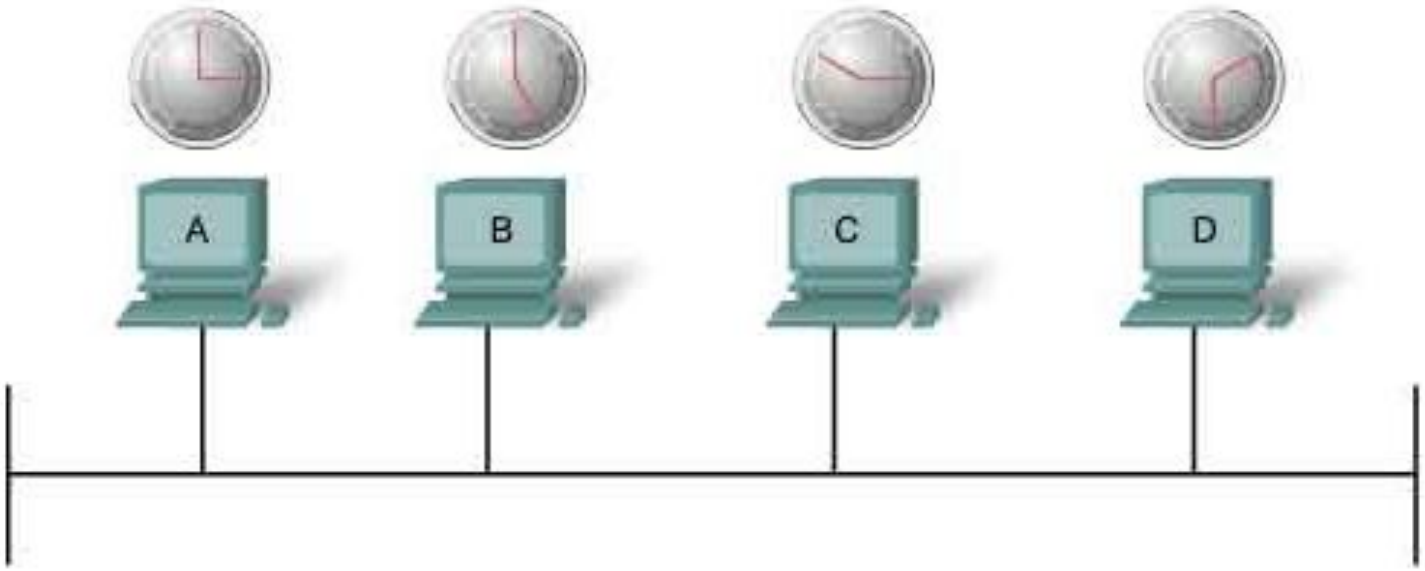
Если сигнал о коллизии придёт позже, чем будет отправлен последний бит кадра, то этот кадр будет потерян.

Он будет повторен значительно позже по команде от верхних уровней OSI.



Экспоненциальная задержка

Backoff Timing



After a Jam signal is received, all stations cease transmission and each waits a random time period—set by the back off timer—before trying to send another frame.

CSMA/CD

- Алгоритм CSMA/CD с использованием усеченной бинарной экспоненциальной задержки признан лучшим среди множества алгоритмов случайного доступа: он обеспечивает эффективную работу сети как при малых, так и при средних загрузках. При больших загрузках следует отметить два недостатка.
  - Во-первых, при большом числе коллизий станция 1, которая впервые собирается отправить кадр (до этого не пыталась передавать кадры), имеет преимущество перед станцией 2, которая уже несколько раз безуспешно пыталась передать кадр, натыкаясь на коллизии. Поскольку станция 2 ожидает значительное время пред последующими попытками в соответствии с правилом бинарной экспоненциальной задержки. Таким образом, может наблюдаться нерегулярность передачи кадров, что нежелательно для зависящих от времени приложений.
  - Во-вторых, при большой загруженности снижается эффективность работы сети в целом. Оценки показывают, что при одновременной передаче 25 станций общая полоса пропускания снижается примерно в 2 раза. Но число станций в коллизионном домене может быть больше, поскольку далеко не все они одновременно будут обращаться к среде.

CSMA/CD

Значения основных параметров процедуры передачи кадра стандарта 802.3

Битовая скорость (bit rate), Мбит/с	10Мб/с (Манчестерское кодирование)
Время слота (slot time), мкс (ВТ) Интервал отсрочки	51,2 (512) битовых интервалов
Межкадровый интервал (interframe gap), мкс (ВТ)	9,6 мкс (96)би
Макс. число попыток передачи (attempt limit)	16
Макс. число возрастания диапазона паузы (backoff limit)	10
Длина jam-последовательности (jam size), биты	32
Макс. длина кадра (без преамбулы) (maximum frame size),	1518 байтов
Мин. длина кадра (без преамбулы) (minimum frame size)	64 байта (512 бит)

CSMA/CD

Время канала **ST** (slot time)- это минимальное время, в течении которого узел обязан вести передачу, занимать канал. Это время соответствует передаче кадра минимального допустимого размера, принятого стандартом. Время канала связано с максимальным допустимым расстоянием между узлами сети - диаметром коллизионного домена.

Домен коллизий – область сети, в которой все станции должны распознать коллизию для корректной работы сети.

CSMA/CD

- Четкое распознавание коллизий всеми станциями сети является необходимым условием корректной работы сети Ethernet. Если какая-либо передающая станция не распознает коллизию и решит, что кадр данных ею передан верно, то этот кадр данных будет утерян. Из-за наложения сигналов при коллизии информация кадра исказится, и он будет отбракован принимающей станцией (возможно, из-за несовпадения контрольной суммы).
- Искаженная информация (утерянный кадр) будет повторно передана каким-либо протоколом верхнего уровня, например транспортным или прикладным, работающим с установлением соединения и гарантией доставки. Но повторная передача сообщения протоколами верхних уровней произойдет через значительно более длительный интервал времени (иногда даже через несколько секунд) по сравнению с микросекундными интервалами, которыми оперирует протокол Ethernet.

CSMA/CD

Поэтому если коллизии не будут надежно распознаваться узлами сети Ethernet, то это приведет к заметному снижению полезной пропускной способности данной сети.

Для надежного распознавания коллизий должно выполняться следующее соотношение:

$T_{min} >= PDV$,

где T_{min} - время передачи кадра минимальной длины, а 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 (Path Delay Value, PDV)* *).

*) PDV иначе называю RDT – Round Trip Time

CSMA/CD

- При выполнении этого условия передающая станция должна успевать обнаружить коллизию, которую вызвал переданный ее кадр, еще до того, как она закончит передачу этого кадра.
- Очевидно, что выполнение этого условия зависит, с одной стороны, от длины минимального кадра и пропускной способности сети, а с другой стороны, от длины кабельной системы сети и скорости распространения сигнала в кабеле (для разных типов кабеля эта скорость несколько отличается).
- Все параметры протокола Ethernet подобраны таким образом, чтобы при нормальной работе узлов сети коллизии всегда четко распознавались. При выборе параметров, конечно, учитывалось и приведенное выше соотношение, связывающее между собой минимальную длину кадра и максимальное расстояние между станциями в сегменте сети.

CSMA/CD

- В стандарте Ethernet принято, что минимальная длина поля данных кадра составляет 46 байт (что вместе со служебными полями дает минимальную длину кадра 64 байт, а вместе с преамбулой - 72 байт или 576 бит). Отсюда может быть определено ограничение на расстояние между станциями.

- Итак, в 10-мегабитном Ethernet время передачи кадра минимальной длины равно 575 битовых интервалов, следовательно, время двойного оборота должно быть меньше 57,5 мкс.

Порядок вычислений

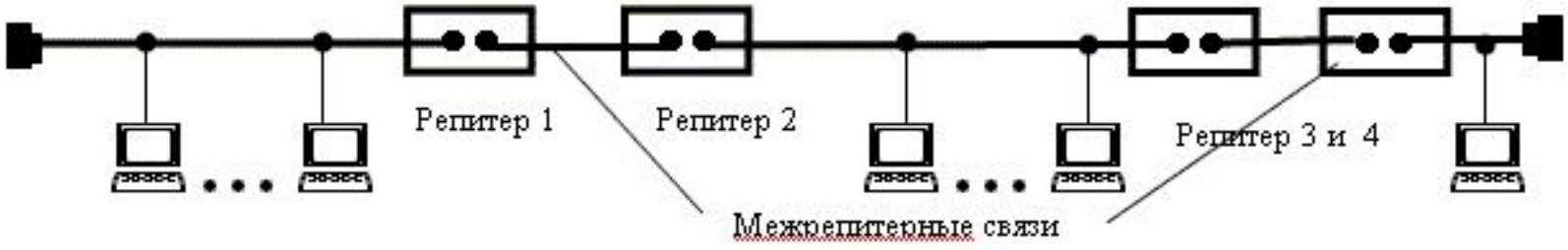
- Шаг 1:
  - Проверьте допустимые длины сегментов, согласно стандартов IEEE 802.3
  - Проверьте выполнение правила 5-4-3

- Шаг 2:
  - Найдите наихудший маршрут – самый длинный путь в метрах
  - Посчитайте RDT (двойной оборот) на найденном худшем маршруте ≤575bt (слева-направо и справа-налево)
  - Посчитайте сокращение межкадрового интервала - PVV на пути с наибольшим количеством повторителей≤ 49bt

Сокращение межкадрового интервала

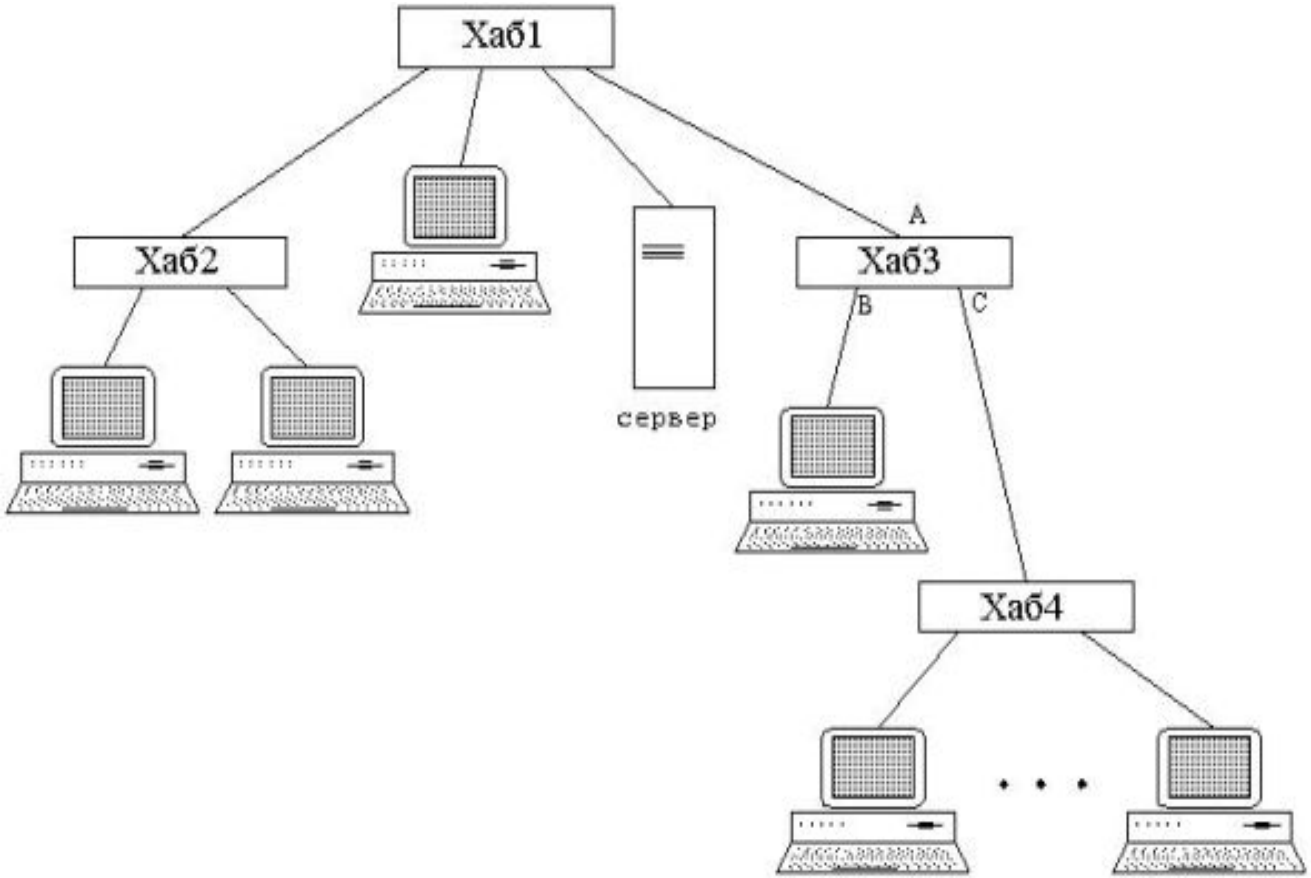
Правило 5-4-3

В наши дни правило 5-4-3 с репитерами в основном устарело, но вам все равно нужно его знать. Правило гласит, что при использовании ретрансляторов в сети может быть 5 сегментов последовательно, соединенных 4-мя репитерами / хабами / концентраторами и лишь 3 сегмента могут быть нагружены компьютерами (последнее только для коаксиального кабеля)



Сокращение межкадрового интервала

Правило 5-4 для звезды

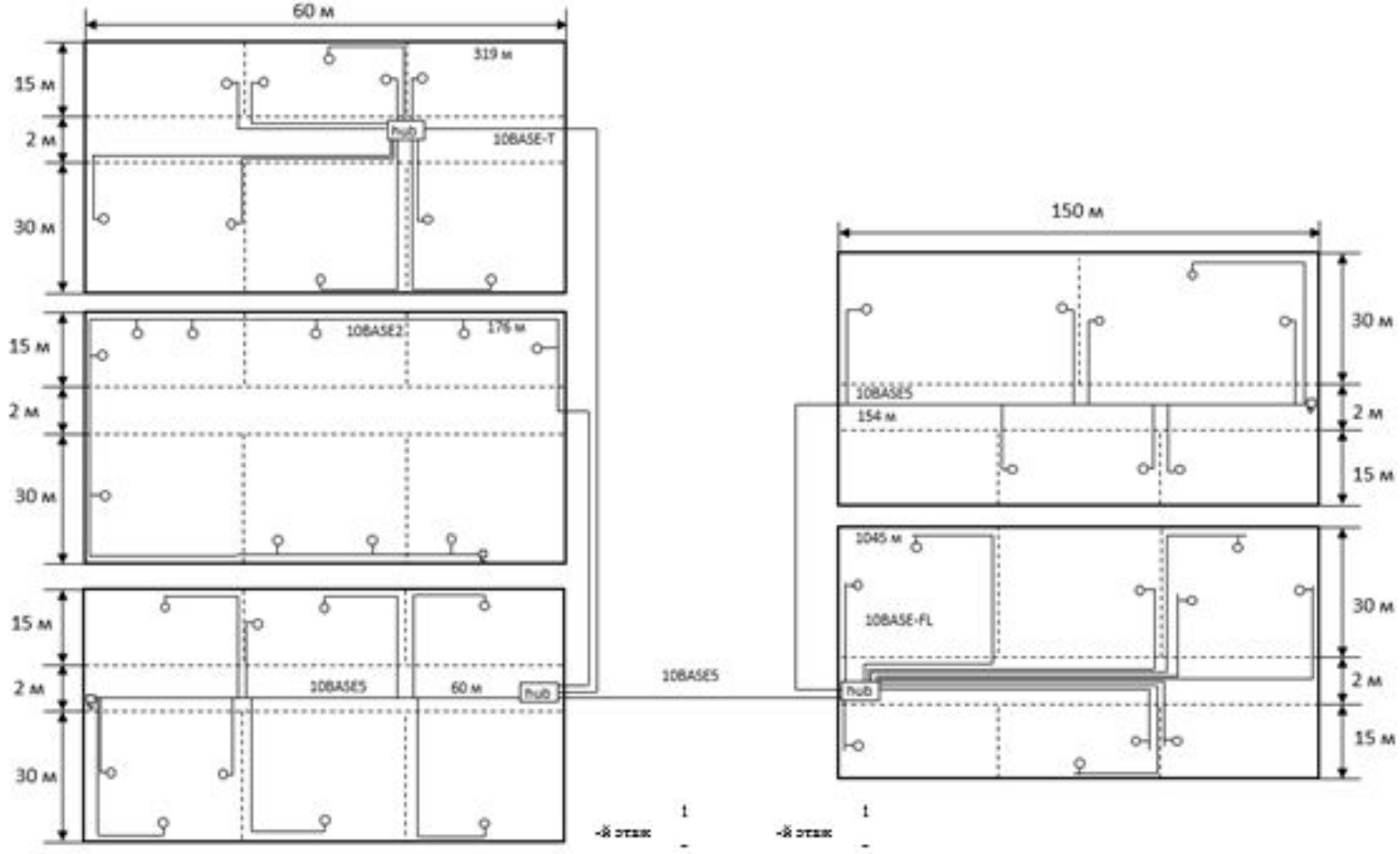


Сокращение межкадрового интервала

Правило 2-х хабов для Fast Ethernet

По сравнению с сетями Ethernet на протяженность сети Fast Ethernet накладываются более жесткие ограничения. Правило "4-х хабов" переходит в правило "двух хабов" и диаметр сети сокращается примерно до 200 метров. Причем повторители должны быть соединены между собой кабелем не длиннее 5 метров.

Задание на ЛР 2 –
Изучение вопросов конфигурации сетей Ethernet



Ключевые моменты лекции

1. Структура стандартов IEEE 802.x
2. Случайный алгоритм CSMA/CD (блок-схема)
3. Разделяемая среда передачи данных
4. Коллизия
5. Межкадровый интервал (сокращение)
6. Домен коллизий
7. Значения основных параметров процедуры передачи кадра стандарта 802.3

Литература

- Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для ВУЗов 5-е изд. / В.Г.Олифер, Н.А.Олифер. – СПб: Издательство «Питер», 2016.- 992с.:ил
- Дуглас Э. Крамер. "Сети TCP/IP/ . Принципы, протоколы и струткура."
- Хант К. Серия "Для специалиста": Персональные компьютеры в сетях TCP/IP. - BHV-Киев, 1997.
- Пассивные оптические сети (PON/EPON/GEPON) «Семенов Ю.А. (ИТЭФ-МФТИ). Semenov Yu (ITEP-MIPT)» в свободном доступе: http://book.itep.ru/4/41/pon.htm
- Программа сетевой академии CISCO CCNA. Вспомогательное руководство. Издательский дом «Вильямс» -,2008г. - 1168с.