

Метод доступа 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 исключительно в сетях с общей шиной (к которым относятся и радиосети, породившие этот метод). Все компьютеры такой сети имеют непосредственный доступ к общей шине, поэтому она может быть использована для передачи данных между любыми двумя узлами сети. Простота схемы подключения - это один из факторов, определивших успех стандарта Ethernet. Говорят, что кабель, к которому подключены все станции, работает в режиме *коллективного доступа* (*multiply-access, MA*).

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, 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 и посылает по кабелю кадр-ответ. Адрес станции-источника также включен в исходный кадр, поэтому станция-получатель знает, кому нужно послать ответ.

При описанном подходе возможна ситуация, когда две станции одновременно пытаются передать кадр данных по общему кабелю (рис. 3). Для уменьшения вероятности этой ситуации непосредственно перед отправкой кадра передающая станция слушает кабель (то есть принимает и анализирует возникающие на нем электрические сигналы), чтобы обнаружить, не передается ли уже по кабелю кадр данных от другой станции. Если *опознается несущая* (*carrier-sense, CS*), то станция откладывает передачу своего кадра до окончания чужой передачи, и только потом пытается вновь его передать. Но даже при таком алгоритме две станции одновременно могут решить, что по шине в данный момент времени нет передачи, и начать одновременно передавать свои кадры. Говорят, что при этом происходит *коллизия*, так как содержимое обоих кадров сталкивается на общем кабеле, что приводит к искажению информации.

Чтобы корректно обработать коллизию, все станции одновременно

наблюдают за возникающими на кабеле сигналами. Если передаваемые и наблюдаемые сигналы отличаются, то фиксируется *обнаружение коллизии (collision detection, CD)*. Для увеличения вероятности немедленного обнаружения коллизии всеми станциями сети, ситуация коллизии усиливается посылкой в сеть станциями, начавшими передачу своих кадров, специальной последовательности битов, называемой *jam-последовательностью*.

После обнаружения коллизии передающая станция обязана прекратить передачу и ожидать в течение короткого случайного интервала времени, а затем может снова сделать попытку передачи кадра.

Из описания метода доступа видно, что он носит вероятностный характер, и вероятность успешного получения в свое распоряжение общей среды зависит от загруженности сети, то есть от интенсивности возникновения в станциях потребности передачи кадров. При разработке этого метода предполагалось, что скорость передачи данных в 10 Мб/с очень высока по сравнению с потребностями компьютеров во взаимном обмене данными, поэтому загрузка сети будет всегда небольшой. Это предположение остается часто справедливым и по сей день, однако уже появились приложения, работающие в реальном масштабе времени с мультимедийной информацией, для которых требуются гораздо более высокие скорости передачи данных. Поэтому наряду с классическим Ethernet'ом растет потребность и в новых высокоскоростных технологиях.

Метод CSMA/CD определяет основные временные и логические соотношения, гарантирующие корректную работу всех станций в сети:

- Между двумя последовательно передаваемыми по общей шине кадрами информации должна выдерживаться пауза в 9.6 мкс; эта пауза нужна для приведения в исходное состояние сетевых адаптеров узлов, а также для предотвращения монопольного захвата среды передачи данных одной станцией.
- При обнаружении коллизии (условия ее обнаружения зависят от применяемой физической среды) станция выдает в среду специальную 32-х битную последовательность (*jam-последовательность*), усиливающую явление коллизии для более надежного распознавания ее всеми узлами сети.
- После обнаружения коллизии каждый узел, который передавал кадр и столкнулся с коллизией, после некоторой задержки пытается повторно передать свой кадр. Узел делает максимально 16 попыток передачи

этого кадра информации, после чего отказывается от его передачи. Величина задержки выбирается как равномерно распределенное случайное число из интервала, длина которого экспоненциально увеличивается с каждой попыткой. Такой алгоритм выбора величины задержки снижает вероятность коллизий и уменьшает интенсивность выдачи кадров в сеть при ее высокой загрузке.

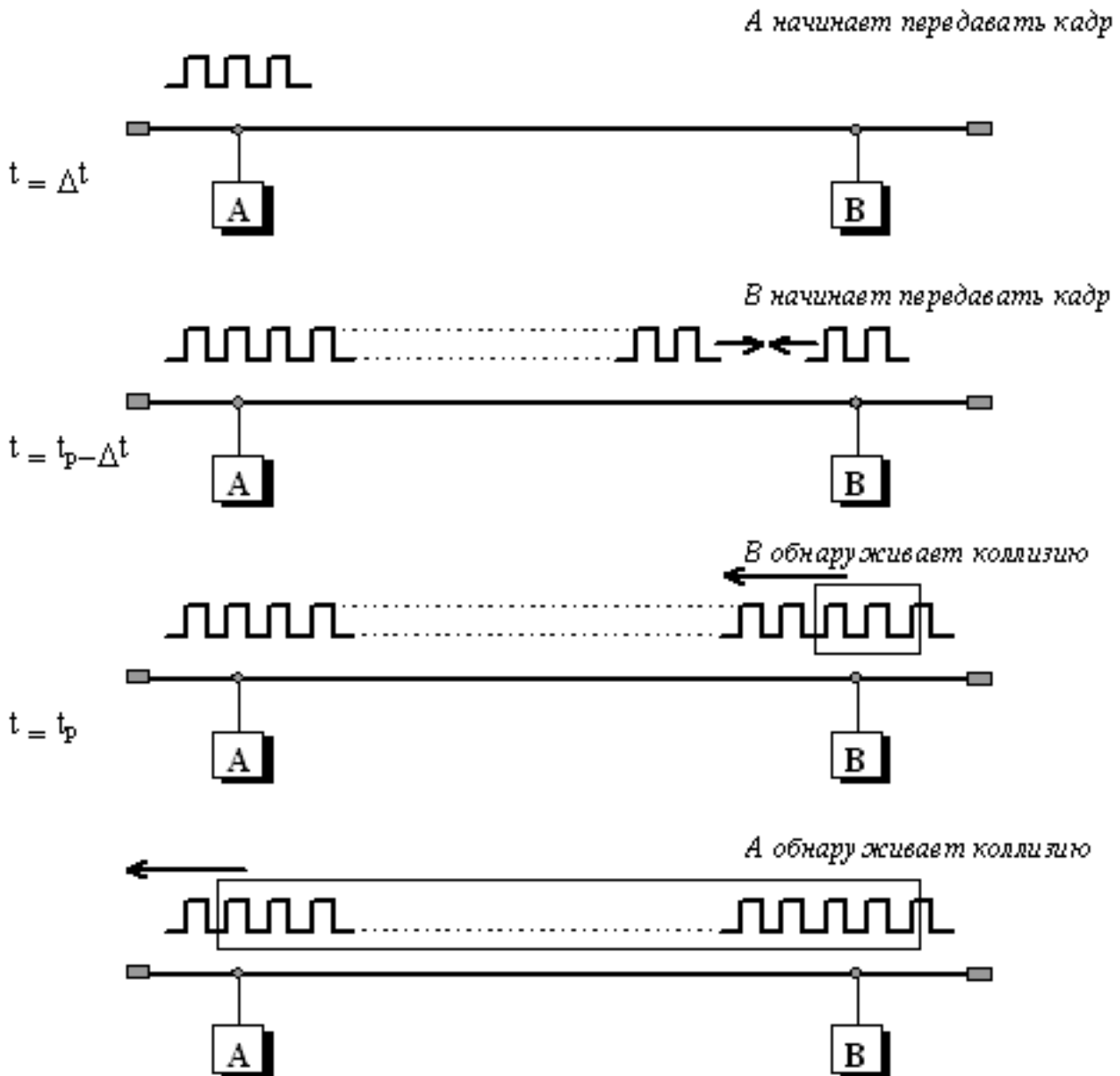


Рис. 3. Схема возникновения коллизии в методе случайного доступа CSMA/CD (t_p - задержка распространения сигнала между станциями A и B)

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, так как информация кадра исказится из-за наложения сигналов при коллизии, он будет

отбракован принимающей станцией (скорее всего из-за несовпадения контрольной суммы). Конечно, скорее всего искаженная информация будет повторно передана каким-либо протоколом верхнего уровня, например, транспортным или прикладным, работающим с установлением соединения и нумерацией своих сообщений. Но повторная передача сообщения протоколами верхних уровней произойдет через гораздо более длительный интервал времени (десятки секунд) по сравнению с микросекундными интервалами, которыми оперирует протокол Ethernet. Поэтому, если коллизии не будут надежно распознаваться узлами сети Ethernet, то это приведет к заметному снижению полезной пропускной способности данной сети.

Все параметры протокола Ethernet подобраны таким образом, чтобы при нормальной работе узлов сети коллизии всегда четко распознавались. Именно для этого минимальная длина поля данных кадра должна быть не менее 46 байт (что вместе со служебными полями дает минимальную длину кадра в 72 байта или 576 бит). Длина кабельной системы выбирается таким образом, чтобы за время передачи кадра минимальной длины сигнал коллизии успел бы распространиться до самого дальнего узла сети. Поэтому для скорости передачи данных 10 Мб/с, используемой в стандартах Ethernet, максимальное расстояние между двумя любыми узлами сети не должно превышать 2500 метров.

С увеличением скорости передачи кадров, что имеет место в новых стандартах, базирующихся на том же методе доступа CSMA/CD, например, Fast Ethernet, максимальная длина сети уменьшается пропорционально увеличению скорости передачи. В стандарте Fast Ethernet она составляет 210 м, а в гигабитном Ethernet ограничена 25 метрами.

Независимо от реализации физической среды, все сети Ethernet должны удовлетворять двум ограничениям, связанным с методом доступа:

- максимальное расстояние между двумя любыми узлами не должно превышать 2500 м,
- в сети не должно быть более 1024 узлов.

Кроме того, каждый вариант физической среды добавляет к этим ограничениям свои ограничения, которые также должны выполняться.

Уточним основные параметры операций передачи и приема кадров Ethernet, кратко описанные выше.

Станция, которая хочет передать кадр, должна сначала с помощью MAC-узла упаковать данные в кадр соответствующего формата. Затем для предотвращения смещения сигналов с сигналами другой передающей станции, MAC-узел должен прослушивать электрические сигналы на кабеле и в случае обнаружения несущей частоты 10 МГц отложить передачу своего кадра. После окончания передачи по кабелю станция должна выждать небольшую дополнительную паузу, называемую *межкадровым интервалом (interframe gap)*, что позволяет узлу назначения принять и обработать передаваемый кадр, и после этого начать передачу своего кадра.

Одновременно с передачей битов кадра приемно-передающее устройство узла следит за принимаемыми по общему кабелю битами, чтобы вовремя обнаружить коллизию. Если коллизия не обнаружена, то передается весь кадр, после чего MAC-уровень узла готов принять кадр из сети либо от LLC-уровня.

Если же фиксируется коллизия, то MAC-узел прекращает передачу кадра и посылает jam-последовательность, усиливающую состояние коллизии. После посылки в сеть jam-последовательности MAC-узел делает случайную паузу и повторно пытается передать свой кадр.

В случае повторных коллизий существует максимально возможное *число попыток повторной передачи кадра (attempt limit)*, которое равно 16. При достижении этого предела фиксируется ошибка передачи кадра, сообщение о которой передается протоколу верхнего уровня.

Для того, чтобы уменьшить интенсивность коллизий, каждый MAC-узел с каждой новой попыткой случайным образом увеличивает длительность паузы между попытками. Временное расписание длительности паузы определяется на основе *усеченного двоичного экспоненциального алгоритма отсрочки (truncated binary exponential backoff)*. Пауза всегда составляет целое число так называемых интервалов отсрочки.

Интервал отсрочки (slot time) - это время, в течение которого станция гарантированно может узнать, что в сети нет коллизии. Это время тесно связано с другим важным временным параметром сети - *окном коллизий (collision window)*. Окно коллизий равно времени двукратного прохождения сигнала между самыми удаленными узлами сети - наихудшему случаю задержки, при которой станция еще может обнаружить, что произошла коллизия. Интервал отсрочки выбирается равным величине окна коллизий

плюс некоторая дополнительная величина задержки для гарантии:

интервал отсрочки = окно коллизий + дополнительная задержка

В стандартах 802.3 большинство временных интервалов измеряется в количестве межбитовых интервалов, величина которых для битовой скорости 10 Мб/с составляет 0.1 мкс и равна времени передачи одного бита.

Величина интервала отсрочки в стандарте 802.3 определена равной 512 битовым интервалам, и эта величина рассчитана для максимальной длины коаксиального кабеля в 2.5 км. Величина 512 определяет и минимальную длину кадра в 64 байта, так как при кадрах меньшей длины станция может передать кадр и не успеть заметить факт возникновения коллизии из-за того, что искаженные коллизией сигналы дойдут до станции в наихудшем случае после завершения передачи. Такой кадр будет просто потерян.

Время паузы после N-ой коллизии полагается равным L интервалам отсрочки, где L - случайное целое число, равномерно распределенное в диапазоне [0, 2N]. Величина диапазона растет только до 10 попытки (напомним, что их не может быть больше 16), а далее диапазон остается равным [0, 210], то есть [0, 1024]. Значения основных параметров процедуры передачи кадра стандарта 802.3 приведено в таблице 1.

Таблица 1.

Битовая скорость	10 Мб/с
Интервал отсрочки	512 битовых интервалов
Межкадровый интервал	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 байтов
Минимальная длина кадра (без преамбулы)	64 байта (512 бит)
Длина преамбулы	64 бита

Учитывая приведенные параметры, нетрудно рассчитать максимальную производительность сегмента Ethernet в таких единицах, как число переданных пакетов минимальной длины в секунду (packets-per-second, pps). Количество обрабатываемых пакетов Ethernet в секунду часто

используется при указании внутренней производительности мостов и маршрутизаторов, вносящих дополнительные задержки при обмене между узлами. Поэтому интересно знать чистую максимальную производительность сегмента Ethernet в идеальном случае, когда на кабеле нет коллизий и нет дополнительных задержек, вносимых мостами и маршрутизаторами.

Так как размер пакета минимальной длины вместе с преамбулой составляет $64+8 = 72$ байта или 576 битов, то на его передачу затрачивается 57.6 мкс. Прибавив межкадровый интервал в 9.6 мкс, получаем, что период следования минимальных пакетов равен 67.2 мкс. Это соответствует максимально возможной пропускной способности сегмента Ethernet в 14880 п/с.