

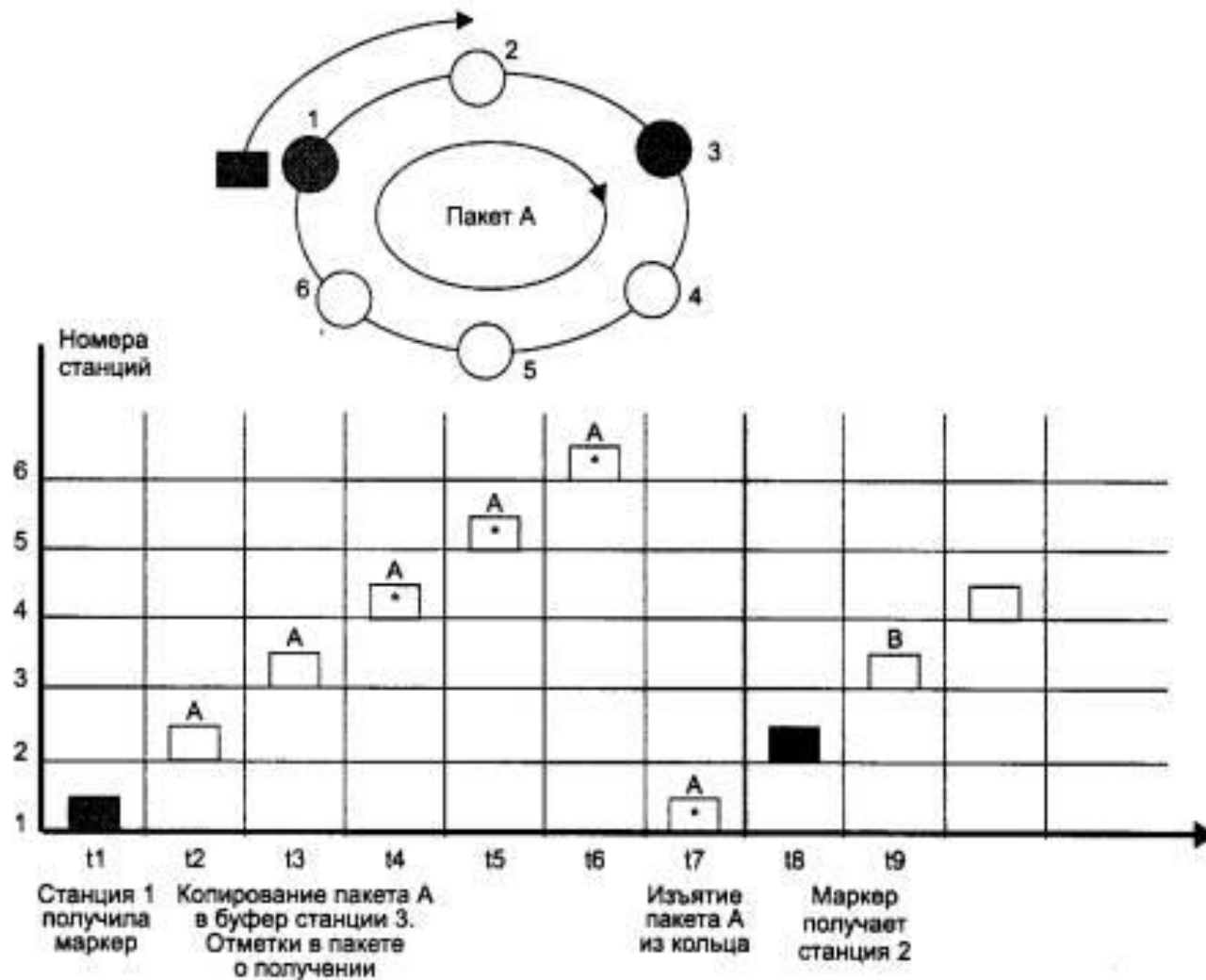
МЕТОДЫ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА К СРЕДЕ

Маркерный доступ

Алгоритм сети Token Ring 4Мбит IEEE 802.5:

- Станции соединены в кольцо.
- Каждая станция получает данные от непосредственного соседа с одной стороны и передаёт соседу с другой стороны.
- По сети циркулирует кадр специального формата – маркер.
- Станция имеет право передавать только в том случае, если к ней пришел маркер.
- На время передачи маркер задерживается (максимальное время задержки ограничено стандартом).
- Станции побитово ретранслируют все передаваемые пакеты.
- Получатель устанавливает флаг подтверждения приёма.

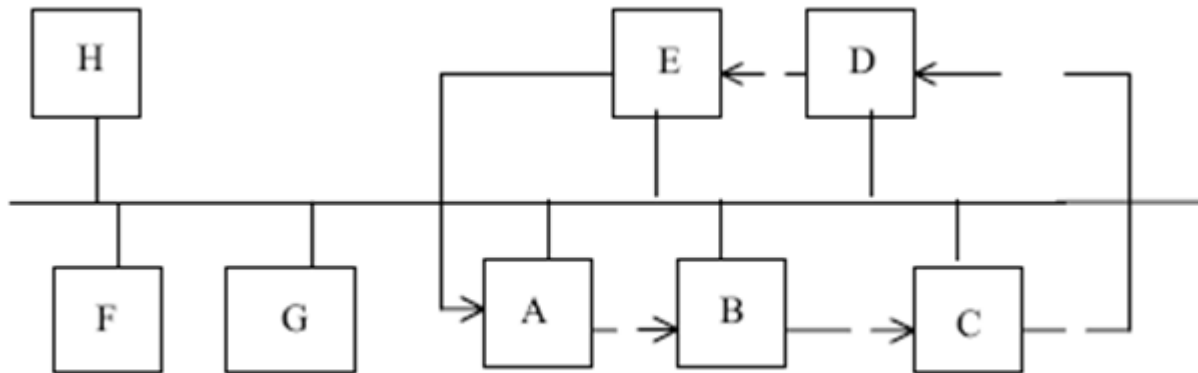
Маркерный доступ



Маркерный доступ

- Алгоритм раннего освобождения маркера (Token Ring 16 Мбит):
 - Станция передаёт маркер по завершению передачи данных, не дожидаясь подтверждения.
- Использование приоритетов:
 - Каждый маркер имеет уровень приоритета, от 0 (низший) до 7(высший).
 - Станция может захватить маркер только в том случае, если приоритет передаваемых данных больше или равен приоритету маркера.
- Восстановление маркеров:
 - За восстановление маркера отвечает активный монитор. Если монитор не получает в течение длительного времени маркер, то он порождает новый.

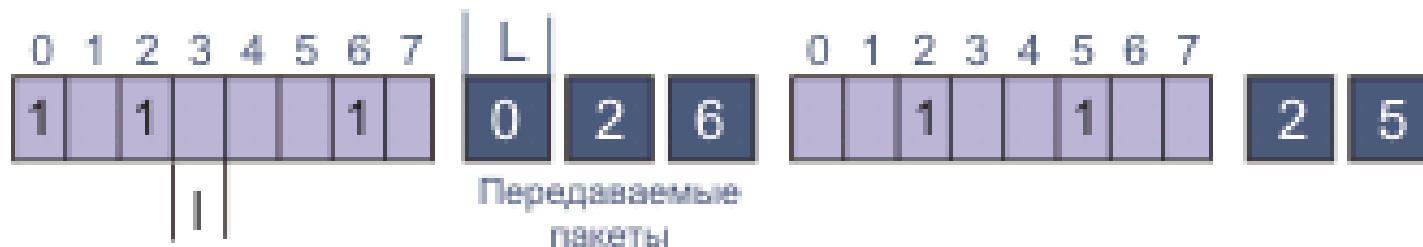
Маркерный доступ на шине



- Маркер циклически передаётся между станциями.
- Станции, не входящие в кольцо, не могут передавать данные или кадр маркера, однако могут получать данные.

Протокол Bitmap

- К сетевому сегменту подключено N станций
- После передачи любого пакета выделяется N временных интервалов.
- Каждой подключенной к сетевому сегменту машине ставится в соответствие один из этих интервалов.
- Если машина готова начать передачу, она записывает в это интервал бит, равный 1.
- По завершении этих N интервалов, рабочие станции по очереди передают свои пакеты.



Разрешение коллизий в CAN

- Шина CAN устроена таким образом, что при передаче данных от нескольких источников на шине вычисляется «проводочное ИЛИ».
- При передаче сначала передаётся идентификатор отправителя.
- Передающая станция сравнивает уровень сигнала на шине с передаваемым. Если уровни не совпадают станция завершает передачу.

Разрешение коллизий в CAN

	T=0	T=1	T=2	T=3	T=4	T=5	T=6...
Станция 10000	1	0	0				
Станция 10100	1	0	1	0	0	Данные	
Станция 00100	0						
Шина	1	0	1	0	0	Данные	

МНОЖЕСТВЕННЫЙ ДОСТУП С КОЛЛИЗИЯМИ

ALOHA

- Беспроводная сеть, разрабатываемая с 1968 в университете Гавайских островов под руководством Нормана Абрамсона
- Сеть предназначалась для связи терминалов клиентов с центральным компьютером
- Так как был известен импульсный характер компьютерного трафика, то было принято решение не использовать методы FDMA или TDMA в связи с низкой эффективностью

Алгоритм ALOHA (Pure ALOHA)

- Использовались две частоты: одна для связи клиенты→сервер, вторая сервер→клиенты.
- Алгоритм доступа:
 - Станция, имеющая пакет для передачи, отправляет его
 - При этом, если несколько станций начинают отправку одновременно, происходит коллизия и данные не доходят до сервера
 - Сервер рассылает подтверждения о приёме данных и свои данные, используя вторую частоту и указывая адрес получателя в кадре
 - В случае, если подтверждение не получено, то станция повторяет передачу через случайный интервал времени

Алгоритм ALOHA (Pure ALOHA)

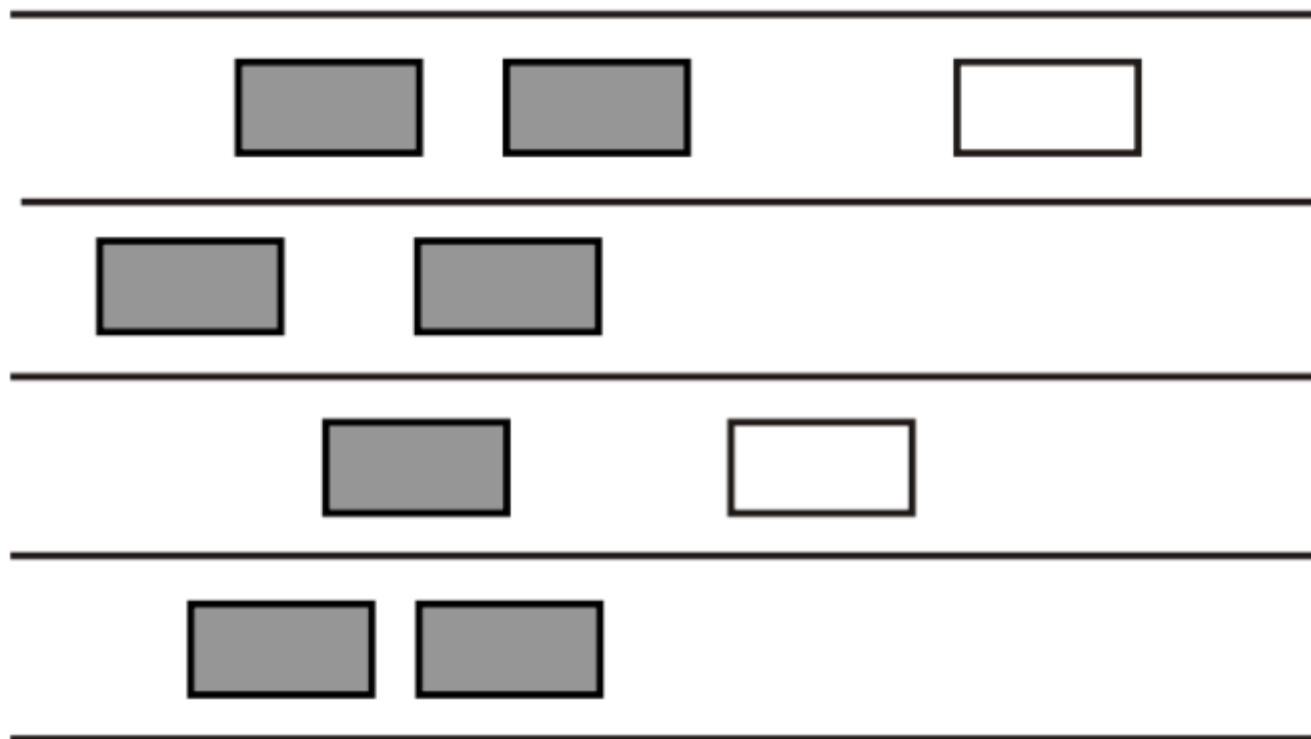
Станции

A

B

C

D



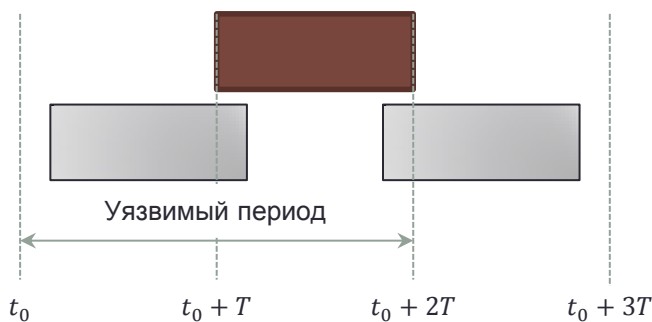
Время

Анализ алгоритма Pure ALOHA

- Предположения
 - Все кадры имеют одинаковую длину
 - Время передачи кадра T
 - Станции не могут генерировать новые кадры до успешной отправки предыдущего
 - Бесконечное число станций генерируют кадры случайно по распределению Пуассона, со средним значением N кадров за время передачи одного кадра, $0 < N < 1$
 - Станциям также необходимо пересылать пострадавшие от коллизий кадры повторно, пусть вероятность k попыток передачи старых и новых кадров за время передачи кадра подчиняется распределению Пуассона со средним значением G .
 - $G \geq N$
 - При малой нагрузке на канал ($N \approx 0$) $G \approx N$
 - При большой нагрузке $G > N$
 - Производительность канала $S = GP_0$, где P_0 - вероятность того, что кадр не пострадает при коллизии

Анализ алгоритма Pure ALOHA

При каких условиях кадр будет передан без повреждений?



Вероятность формирования k кадров за время передачи кадра

$$\Pr(k) = \frac{G^k e^{-G}}{k!}.$$

Среднее число кадров, передаваемых за интервал $2T$ равно $2G$.

Вероятность что за интервал $2T$ будет сформировано 0 кадров

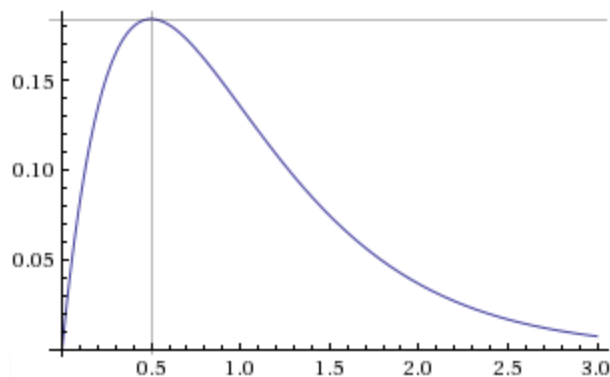
$$P_0 = e^{-2G}.$$

Производительность канала

$$S = GP_0 = Ge^{-2G}.$$

Анализ алгоритма Pure ALOHA

$$S = Ge^{-2G}$$



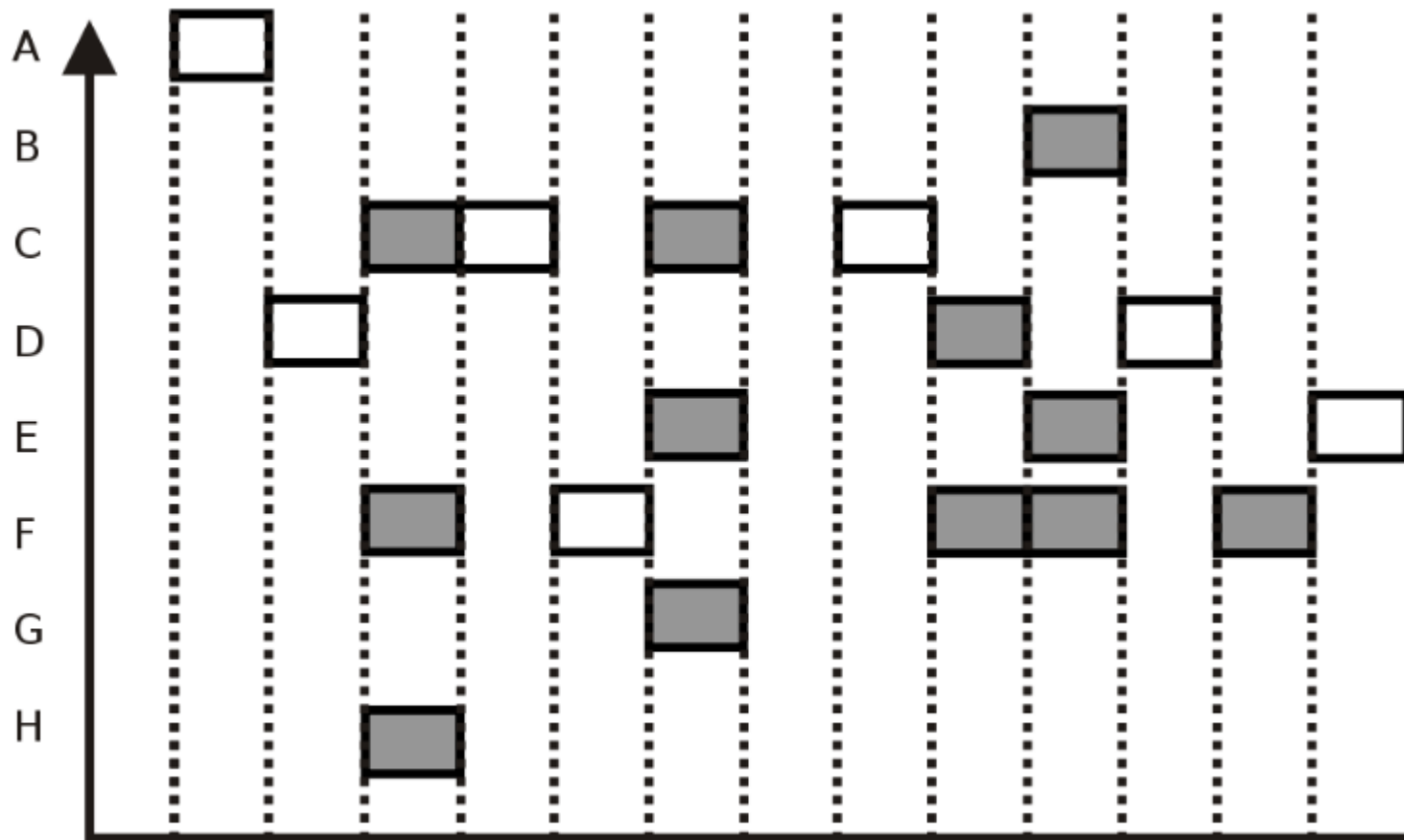
Максимальная производительность достигает значения $S = 1/2e \approx 0,184$ при $G = 0,5$.

Таким образом, мы можем надеяться на использование не более 18% пропускной способности канала.

Дискретная (Slotted) ALOHA

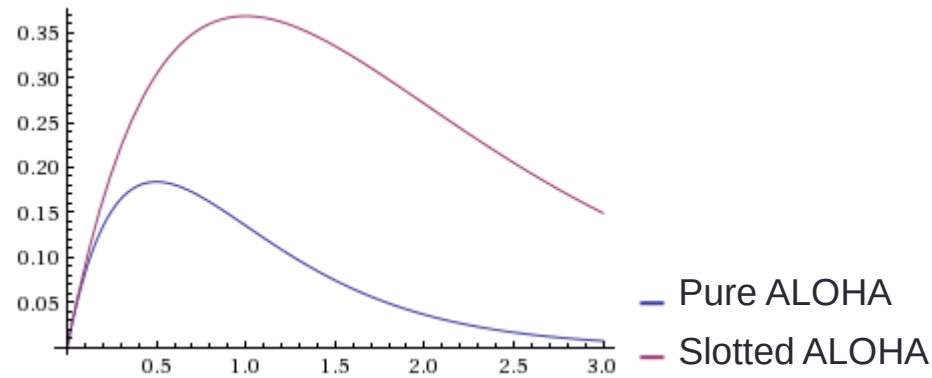
- Алгоритм Slotted ALOHA опубликован в 1972 году Робертсом.
- Время разделяется на дискретные интервалы, по продолжительности равные длине одного кадра.
- Для синхронизации станций можно использовать передачу сигнала синхронизации.
- Станция может начинать передачу только в начале интервала.
- Таким образом, опасный временной интервал сокращается в два раза.
- Пропускная способность $S = Ge^{-G}$

Дискретная (Slotted) ALOHA



Анализ Slotted ALOHA

$$S = Ge^{-G}$$



Максимальная производительность достигает значения $S = 1/e \approx 0,368$ при $G = 1$.

Для дискретной ALOHA 37% интервалов будут пустыми, 37% с успешно переданными кадрами и 26% с коллизиями.

Анализ Slotted ALOHA

Вероятность что кадр избежит столкновения

$$e^{-G}$$

Вероятность столкновения

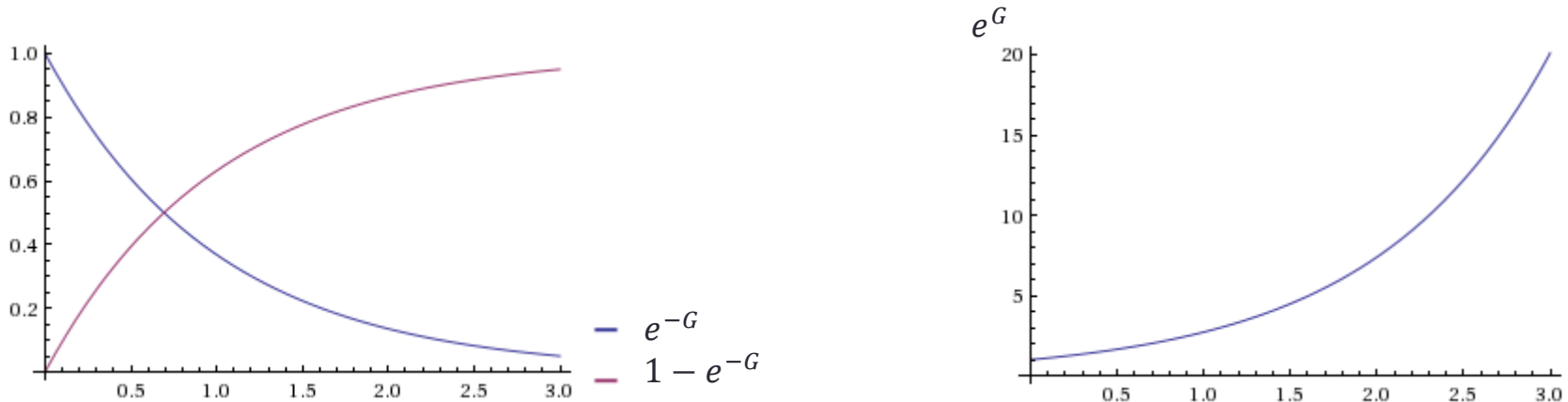
$$1 - e^{-G}$$

Вероятность передачи кадра ровно за k попыток

$$P_k = e^{-G}(1 - e^{-G})^{k-1}$$

Ожидаемое число попыток передачи одного кадра

$$E = \sum_{k=1}^{\infty} kP_k = \sum_{k=1}^{\infty} ke^{-G}(1 - e^{-G})^{k-1} = e^G$$



МНОЖЕСТВЕННЫЙ ДОСТУП С КОНТРОЛЕМ НЕСУЩЕЙ

Множественный доступ с контролем несущей

- Максимальная производительность для алгоритма ALOHA равна $1/e$.
- Лучше сделать нельзя, при условии что станции начинают передавать данные не анализируя, что делают другие.
- Протоколы, в которых станции прослушивают среду передачи данных и действуют в соответствии с этим называются протоколами с контролем несущей / Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

Настойчивый протокол CSMA

- Когда у станции появятся данные для передачи она проверяет состояние канала:
 - Канал свободен
 - Передаём данные
 - Канал занят
 - Ждём завершения передачи
 - Передаём кадр
 - В случае коллизии ждём случайный интервал времени, если канал свободен пытаемся передать ещё раз
- Задержка распространения сигнала может помешать станции обнаружить передачу, которая уже началась.
- Если несколько станций ждут окончания передачи кадра, то они начнут передачу одновременно.

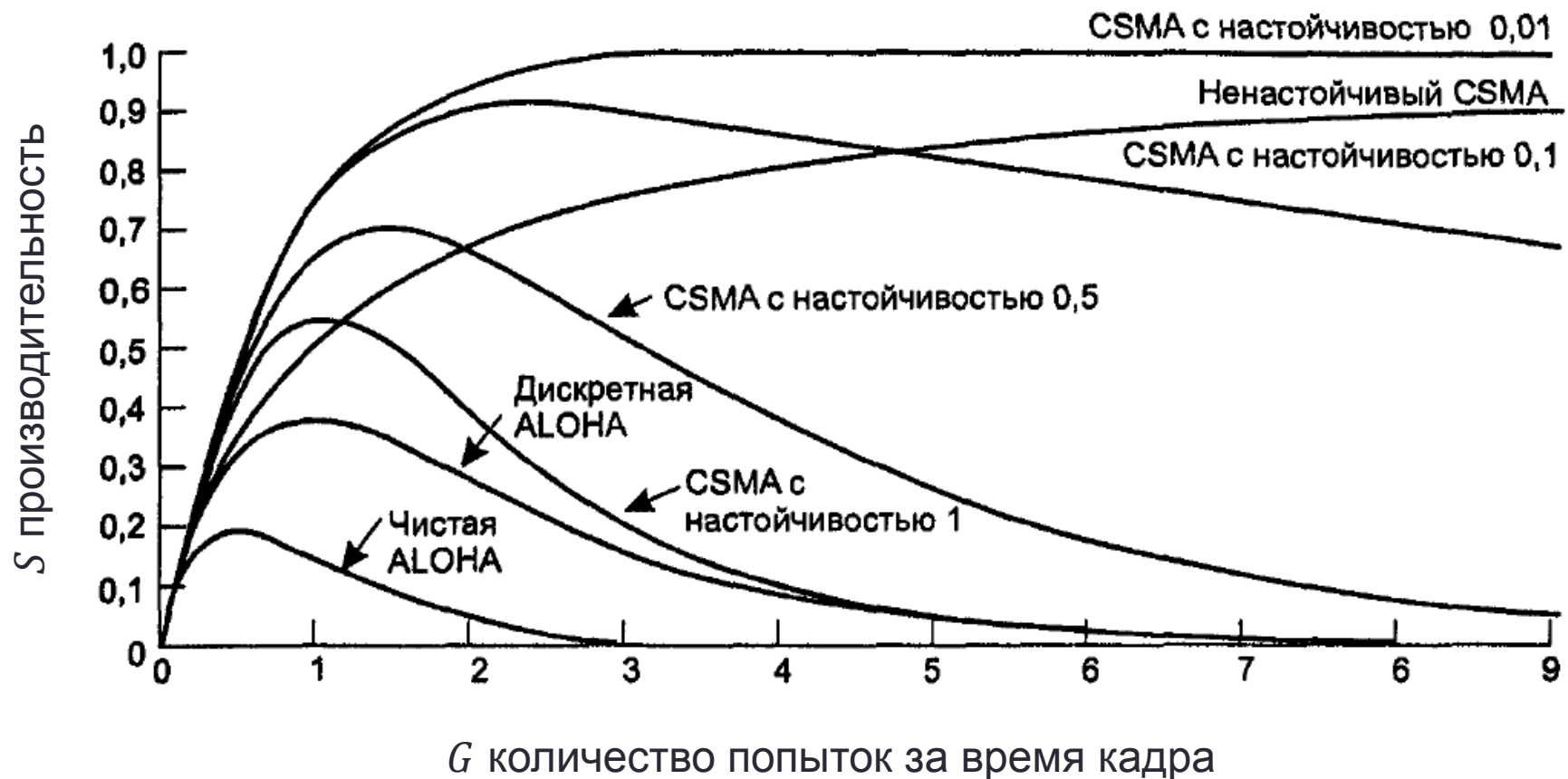
Ненастойчивый протокол CSMA

- Когда у станции появляются данные для передачи, она проверяет состояние канала
 - Канал свободен
 - Передаём данные
 - Канал занят
 - Ждём случайный интервал времени
 - Повторно проверяем состояние канала
 - В случае коллизии ждём случайный интервал времени, если канал свободен пытаемся передать ещё раз

Протокол CSMA с настойчивостью p

- Когда у станции появляются данные для передачи, она проверяет состояние канала
 - Канал свободен
 - С вероятностью p передаём данные
 - С вероятностью $1-p$ отказываемся от передачи и ждём начала следующего такта
 - Канал занят (или произошла коллизия)
 - Ждём случайный интервал времени
 - Начинаем с начала алгоритма

Протоколы CSMA



Протокол CSMA с обнаружением конфликтов

- Преимущество CSMA перед ALOHA вызвано тем, что станция не начинает передачу если она видит, что канал уже занят.
- Мы можем повысить эффективность ещё больше, если будем контролировать возникновение коллизий и прекращать передачу при их обнаружении.
- Получим протокол множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий / Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD).

Алгоритм CSMA/CD

- Перед началом отправки пакета проверяем занят ли канал.
- Если канал был занят, ожидаем окончания передачи и начинаем передавать.
- Если произошла коллизия, прерываем передачу, ждём случайный интервал времени и начинаем сначала.



Канал может находиться в 3 состояниях:

- Период передачи
- Период коллизий
- Период молчания

Алгоритм CSMA/CD

- Сколько времени нужно для обнаружения коллизии?
 - Сигнал должен дойти от одной станции до другой (расположенных максимально далеко друг от друга)



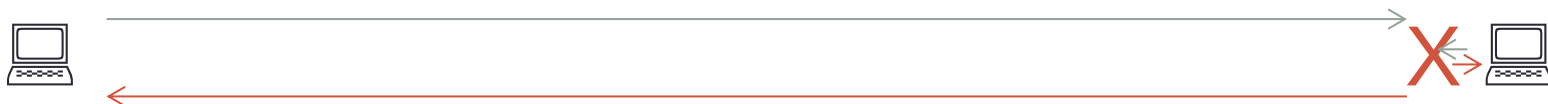
- Вторая станция может начать передачу прямо перед тем, как до неё дойдет сигнал от первой станции



- Вторая станция определит коллизию сразу же



- Первая станция узнает о коллизии когда сигнал вернётся обратно к ней



Алгоритм CSMA/CD

- Для обнаружения коллизий станция должна прослушивать канал во время передачи, и, если сигнал отличается от того, что она передаёт, делается вывод об обнаружении столкновения.
- Если передаётся сигнал 0v то заметить столкновение может быть не легко – нужно специальное кодирование.
- Отсутствие коллизии не гарантирует правильный приём кадра получателем, необходимо обеспечение надёжной доставки более высокими уровнями.

CSMA/CD в Ethernet



- Передача ведётся манчестерским кодированием
- Перед началом кадра передаётся преамбула: 7 байт 10101010 и 1 байт 10101011
- Станции, ожидающие передачу, должны выждать межкадровый интервал Inter Packet Gap после окончания работы предыдущей станции (9,6 мкс для 10 Мбит)
- В случае обнаружения коллизии при передаче станции завершают передачу данных и усиливают коллизию передачей специальной 32-битной jam-последовательности
- После коллизии, участвовавшие в ней станции выдерживают случайную паузу.

Алгоритм двоичного экспоненциального отката

Exponential Backoff Algorithm

Пауза после коллизии определяется по формуле

$$T_{\text{Отсрочки}} = L * t_{\text{интервал}}$$

где

$t_{\text{интервал}}$ - интервал отсрочки, равный 512 битовым интервалам (0.1мкс для 10 Мбит/с)

L – случайное число из интервала $[0, 2^N]$,

N – номер повторной попытки, $N \leq 10$; после 10 попытки интервал не увеличивается.

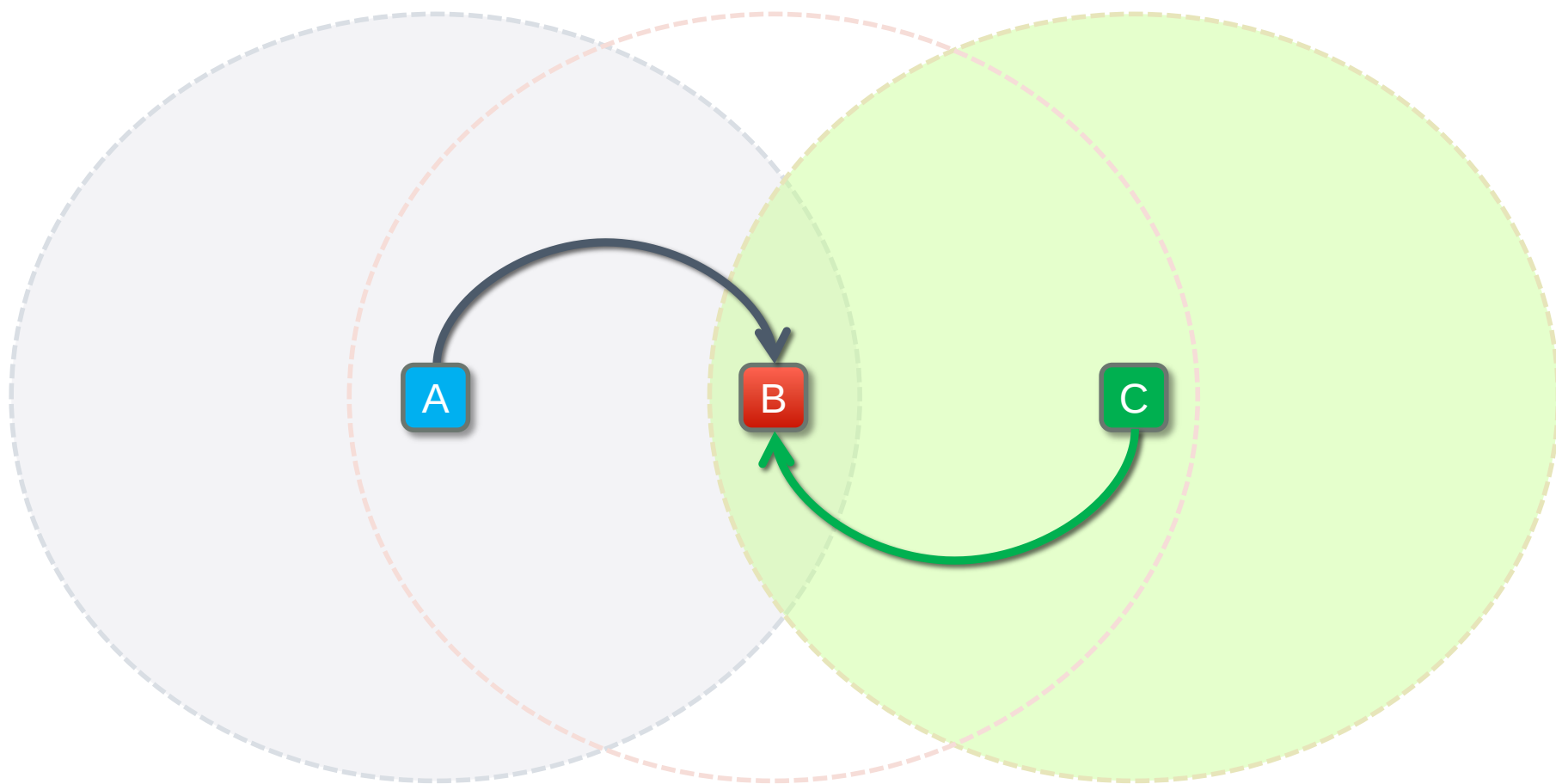
Таким образом, для 10 Мбит/с Ethernet задержка могла составлять от 0 до 52,4 мс.

Ограничения Ethernet

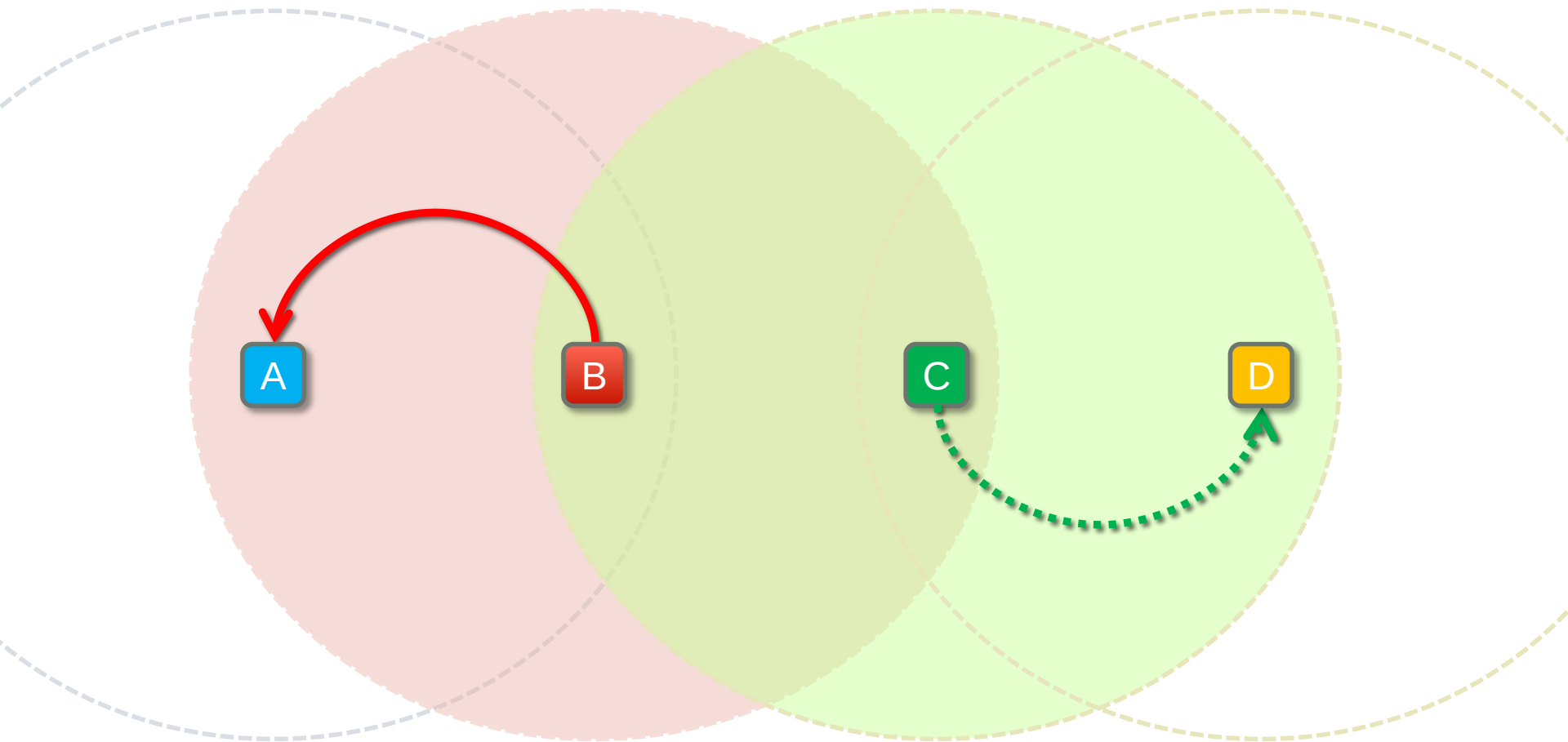
- Для успешного распознавания коллизии отправителем, она должна дойти до него за время передачи кадра
 - Для этого необходимо время, называемое Path Delay Value (PDV) или время двойного оборота
 - Это ограничивает минимальный размер кадра, или максимальный размер сегмента при фиксированном минимальном размере кадра (46 байт данных → 64 байта включая заголовок → 72 байт с преамбулой)
 - Минимальное время передачи пакета 575 битовых интервалов → PDU должно быть менее 57,5 мкс. Сигнал за это время проходит 13280 м, что даёт макс. длину сегмента 6635 м.
 - Было выбрано ограничение 500 метров на один сегмент коаксиального кабеля, максимум 5 сегментов (2500 м) через повторители.
 - С увеличением скорости передачи максимальная длина сегмента пропорционально уменьшается:
 - Для 100 Мбит/с: 210 метров
 - Для 1 Гбит/с оно составило бы 25 метров, поэтому была увеличена минимальная длина пакета

ПРОТОКОЛЫ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Проблема скрытой станции Hidden Node Problem



Проблема засвеченной станции Exposed Terminal Problem

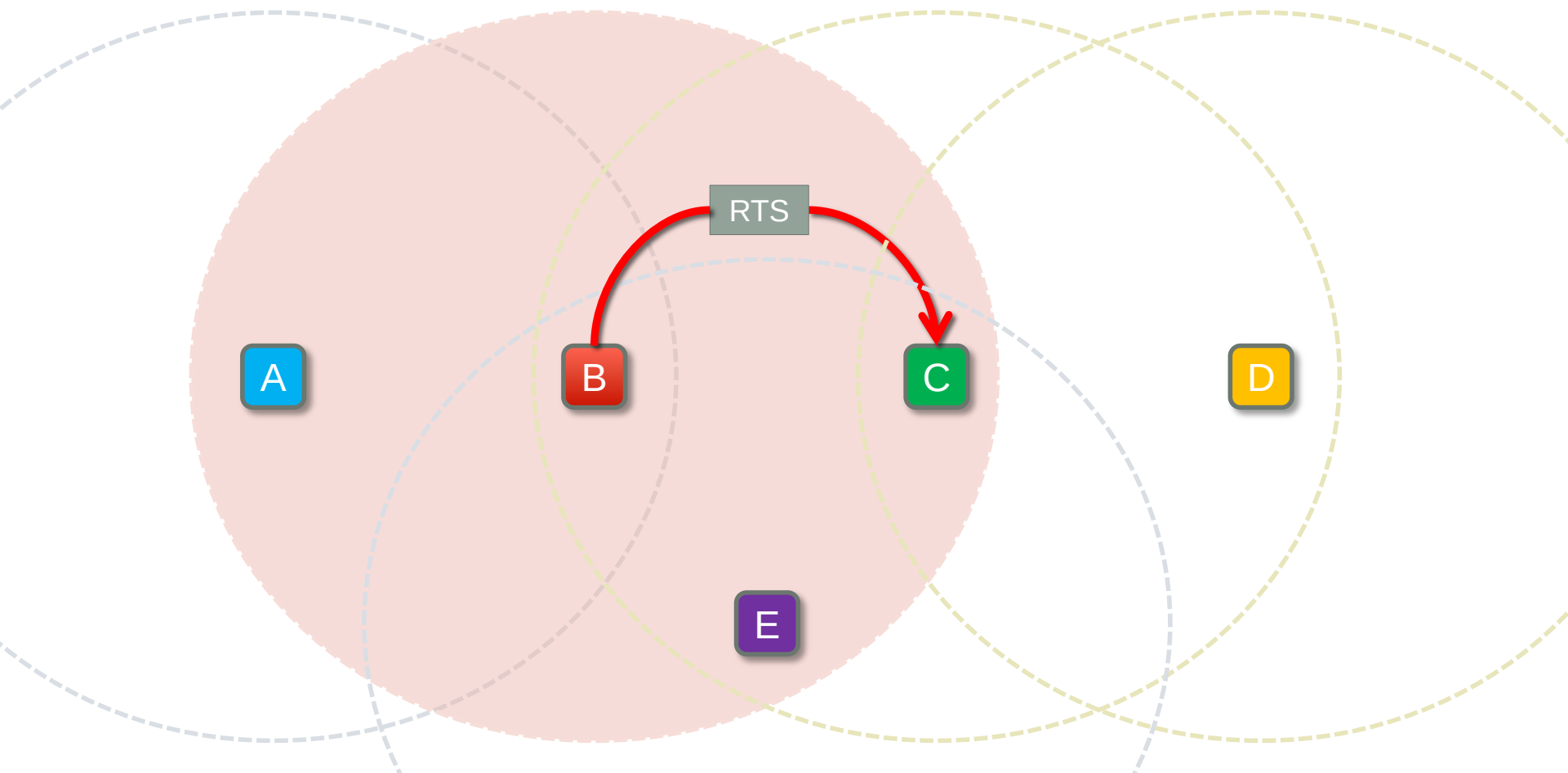


Протокол МАСА

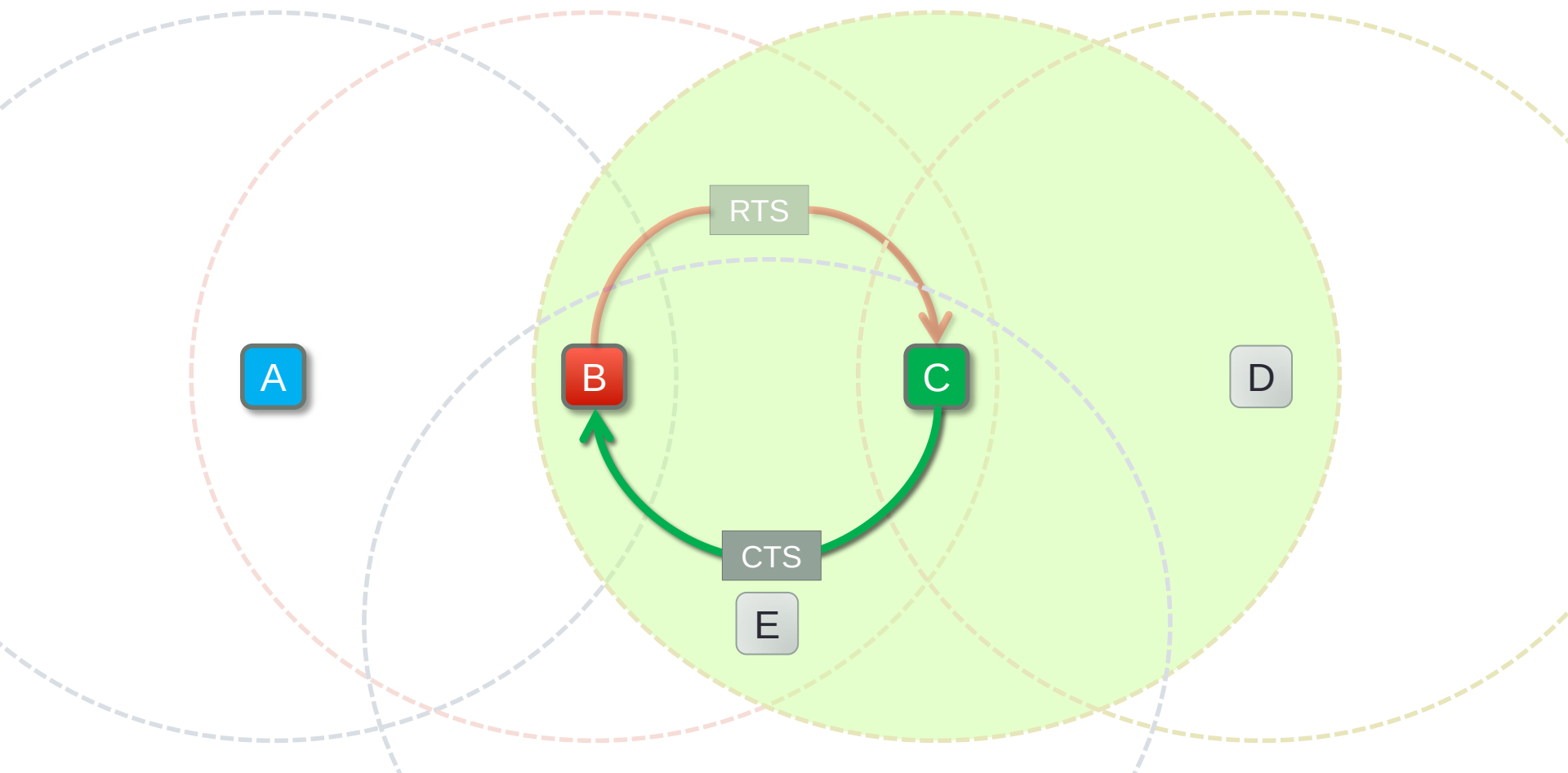
Multiple Access With Collision Avoidance

- Отправитель заставляет получателя отправить короткий кадр, так чтобы окружающие станции могли услышать эту передачу и воздержаться от действий на время, необходимое для приёма одного кадра (виртуальный контроль несущей).
 - Отправитель отправляет кадр RTS, длиной 30 байт, содержащий длину кадра данных.
 - Получатель отвечает кадром CTS, в который так же включается длина кадра данных.
 - В случае, если отправитель не получил CTS то он ожидает случайное время и повторяет попытку.
 - Станции, которые слышат чужой CTS воздерживаются от передачи

Протокол МАСА



Протокол МАСА

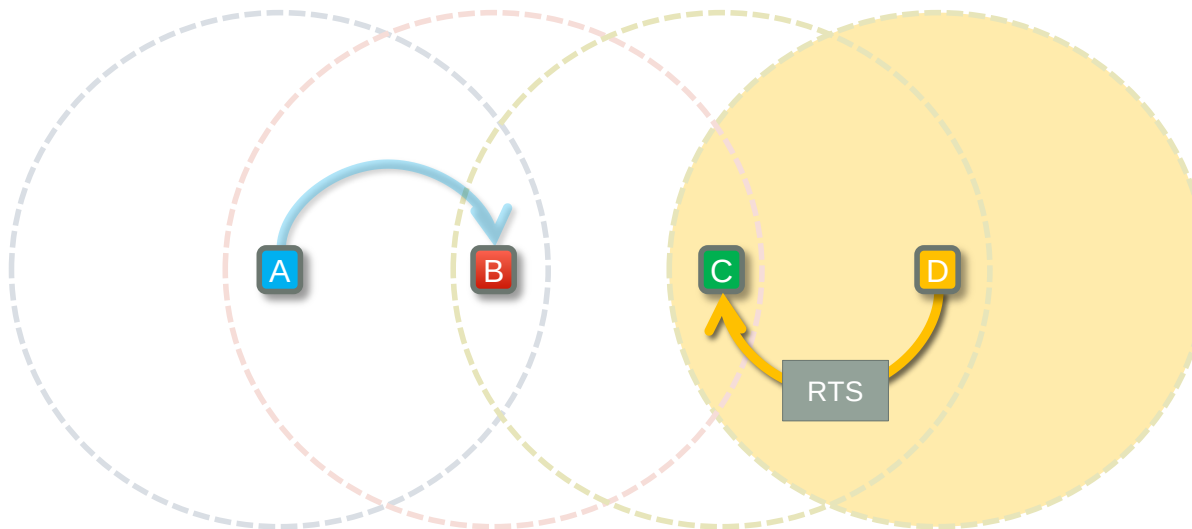


Протокол MACAW

MACA для беспроводных сетей / MACA for Wireless

- Разработан в 1994 под руководством Бхаргавана
- Потеря кадров замечается только транспортным уровнем.
 - Введён пакет ACK которым станция подтверждает успешный приём кадра.
- Введен элемент CSMA
 - Станция прослушивает эфир и воздерживается от передачи RTS если кто-то уже передавал RTS тому же получателю.
- Задержку после коллизии связали не с отдельной станцией, а с парой станций «источник» - «приёмник».

RRTS



Проблема

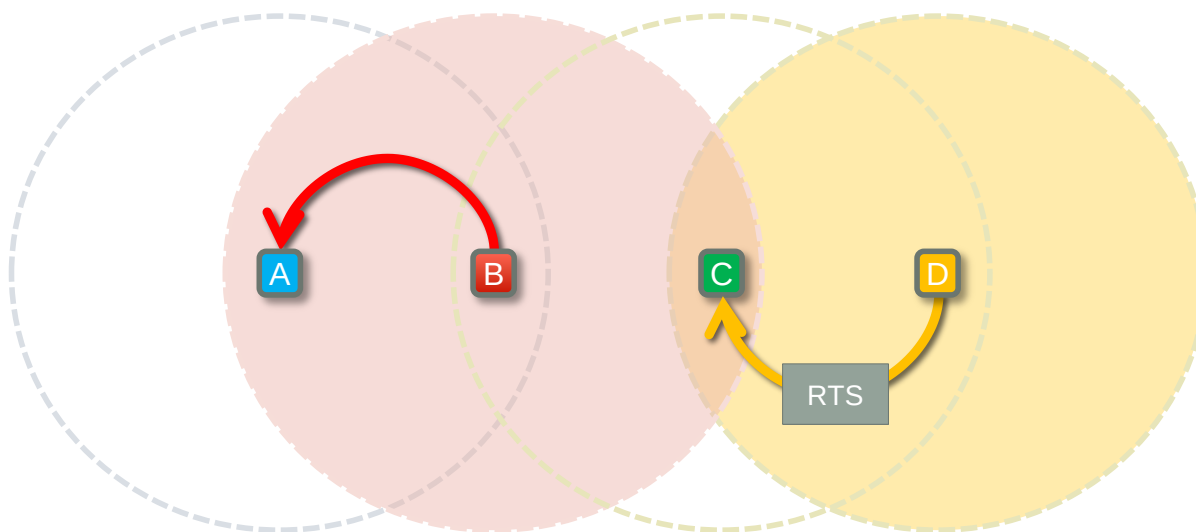
- D посылает RTS C, но C не может ответить, так как ожидает освобождения среды после передачи A-B.
- D думает, что произошла коллизия и повторяет RTS с большой задержкой, вероятность попасть в интервал когда C сможет ответить мала.

Решение

- При освобождении среды C посылает D кадр RRTS (Request for Request to Send)
- D получив RRTS немедленно посылает RTS
- Остальные станции, которые слышат RRTS ожидают 2 интервала, что достаточно для начала обмена между C и D

Проблемы MACAW

- Не решает полностью проблему скрытой станции.



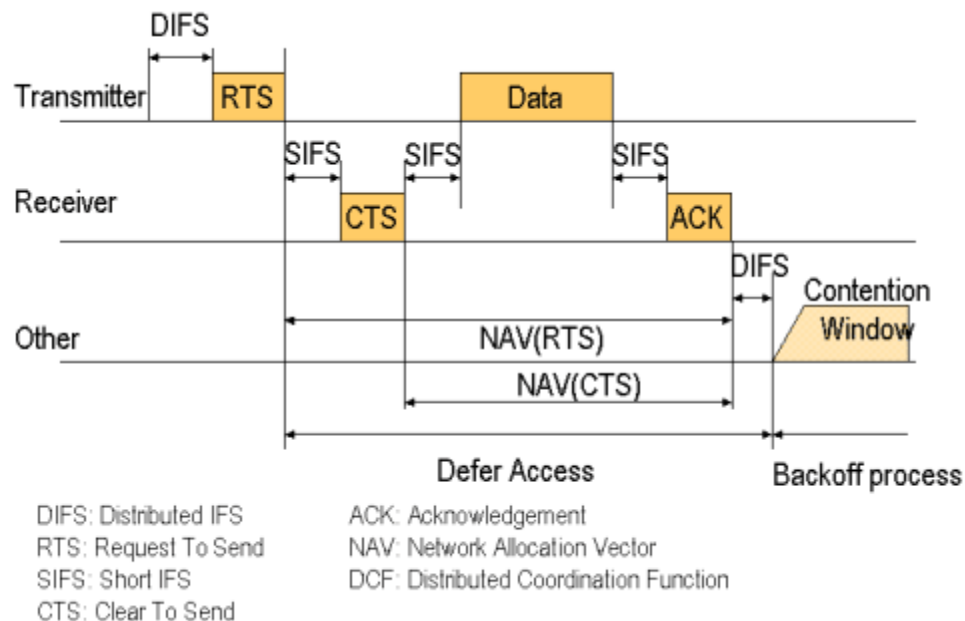
- Может некорректно работать с мультикастом.

Протокол MACAW в IEEE 802.11

Distributed coordination function

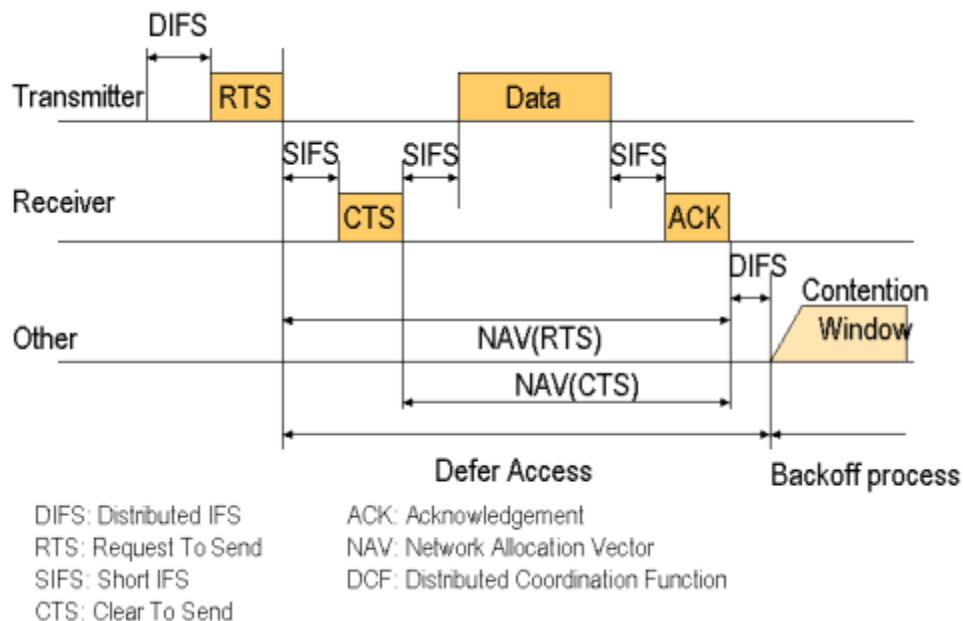
- Станция должна проверять, что среда свободна в течении интервала DIFS
- Чтобы исключить одновременный доступ станция должна ожидать дополнительный случайный интервал после DIFS (Random Backoff Timer)
- Используется виртуальный контроль несущей с обменом кадрами RTS/CTS
- Используется подтверждение приёма кадрами ACK

Протокол MACAW в IEEE 802.11



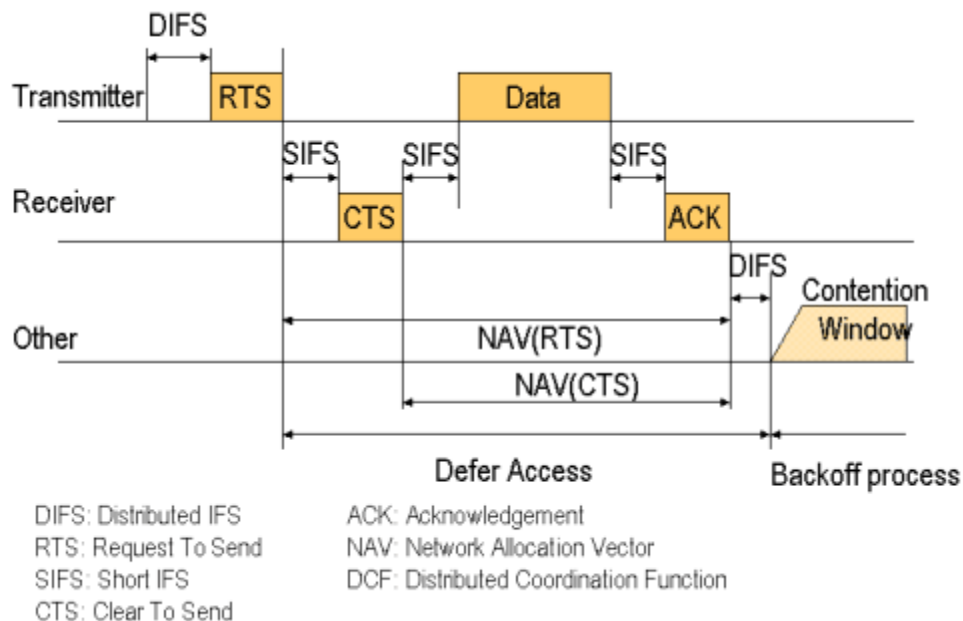
- EIFS — расширенный межкадровый интервал
- DIFS — временной интервал между началом прослушивания среды станцией и началом передачи данных.
- PIFS — межкадровый интервал Point Coordination Function
- SIFS — временной интервал между передачей данных и принятием их станцией-получателем.

Протокол MACAW в IEEE 802.11



- NAV – вектор распределения сети
 - Таймер, значение которого обновляется данными передаваемых кадров.
 - Кадры содержат поле продолжительности, которое указывает на какое время станция захватывает среду.
 - Вектор распределения сети обновляется только в том случае, если новое значение больше старого.

Протокол MACAW в IEEE 802.11



- **Random Backoff Timer – таймер отсрочки**

- Количество канальных интервалов, в течении которых станция должна воздерживаться от передачи после освобождения среды (Contention Window).
- Размер окна конкуренции (Contention Window) увеличивается при большом числе коллизий.
- Таймер уменьшается на 1 если в начале временного слота среда свободна.
- Если таймер достиг значения 0 начинается передача.
- Если среда занята значение таймера замораживается. Во время следующего окна конкуренции станция начинает работать с замороженного значения таймера.

Протокол MACAW в IEEE 802.11

Point Coordination Function

- Используется для управления сетью при наличии точки доступа /Access Point (редко реализуется)
- АР посылает сигнальные фреймы каждые 0.1 сек
- Временной интервал между сигнальными фреймами разделяется на два периода:
 - Contention Free Period (CFP)
 - Координатор отправляет кадр CF-Poll каждой станции, разрешая ей начать передачу
 - Если у станции нет данных для передачи она передаёт пустой кадр
 - Contention Period (CP)
 - Используется DCF

Расширения IEEE 802.11e

- Enhanced DCF (EDCF)
 - Задержка кадра зависит от приоритета, более приоритетные пакеты ожидают меньше и имеют больше шансов быть отправленными
- Hybrid Coordination Function (HCF)
 - Сеть контролирует Hybrid Coordinator (обычно AP)
 - Выделяются два периода, CFP и CP
 - Во время CP используется EDCF
 - Во время CFP доступ контролируется HC
 - Определяются классы трафика/Traffic Classes (TC)
 - Станции передают HC информацию о длине очереди для каждого TC
 - HC может предоставлять доступ станциям в любом порядке
 - Станциям даётся Transmit Opportunity (TXOP): станция может послать несколько пакетов в свой период