

# МЕТОДЫ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА К СРЕДЕ

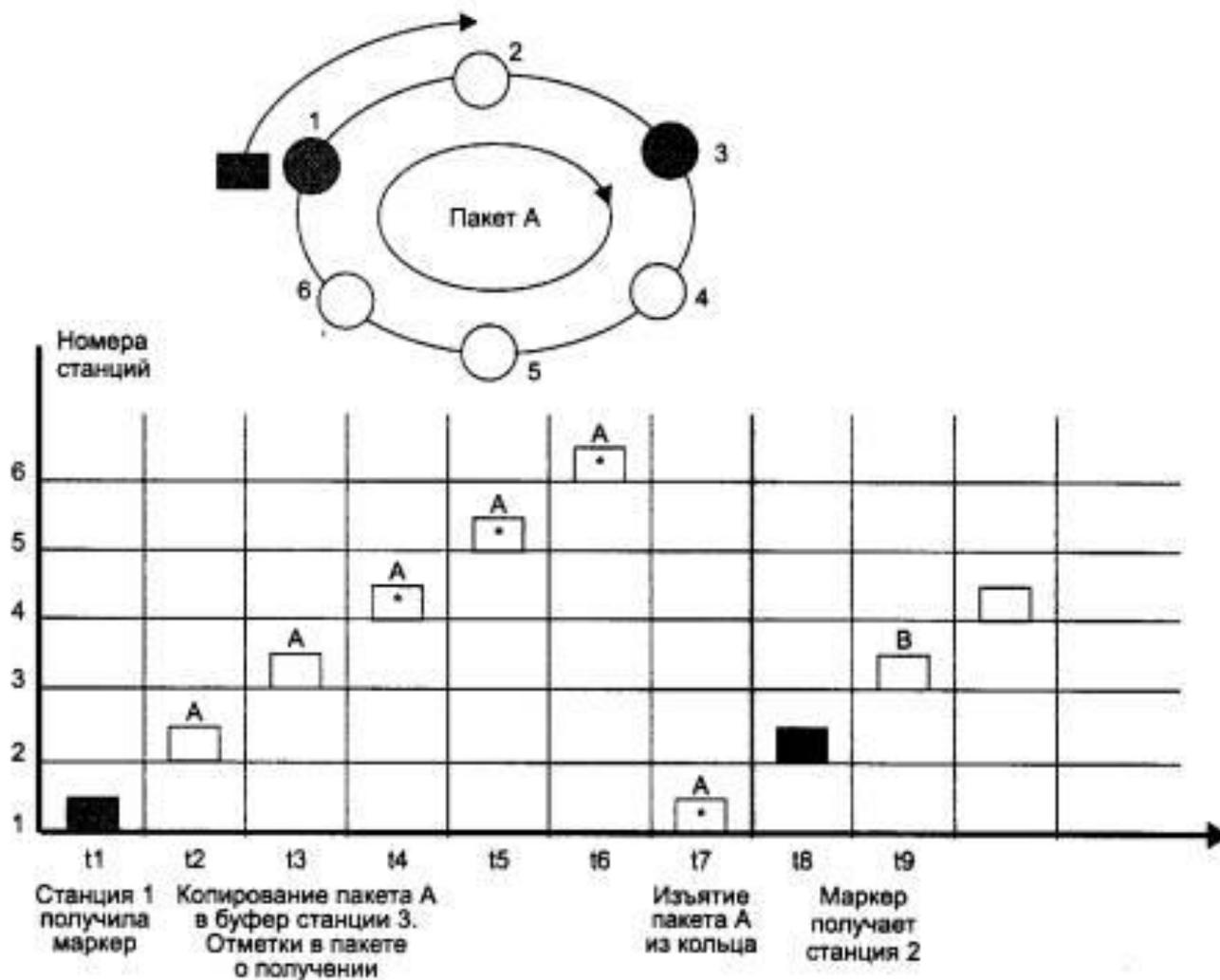
---

# 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.

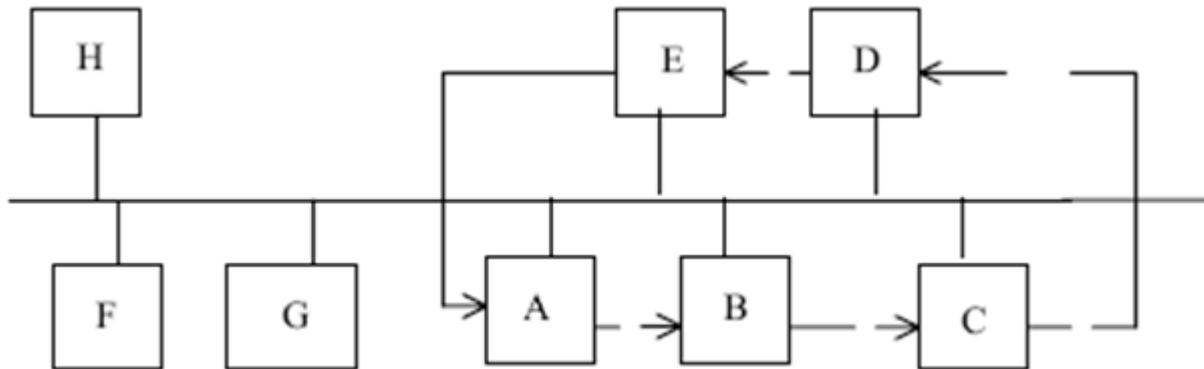
# Маркерный доступ



# 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 АЛОНА (Pure АЛОНА)

Станции

A



B



C



D



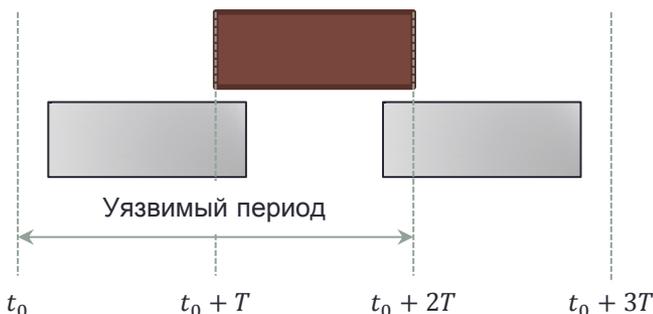
Время

# 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

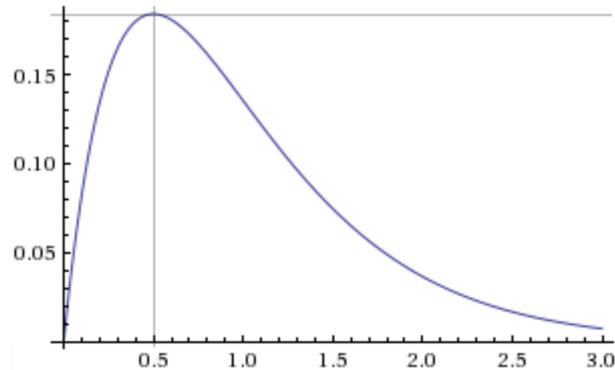
$$P_0 = e^{-2G}.$$

Производительность канала

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

# Анализ алгоритма Pure ALOHA

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



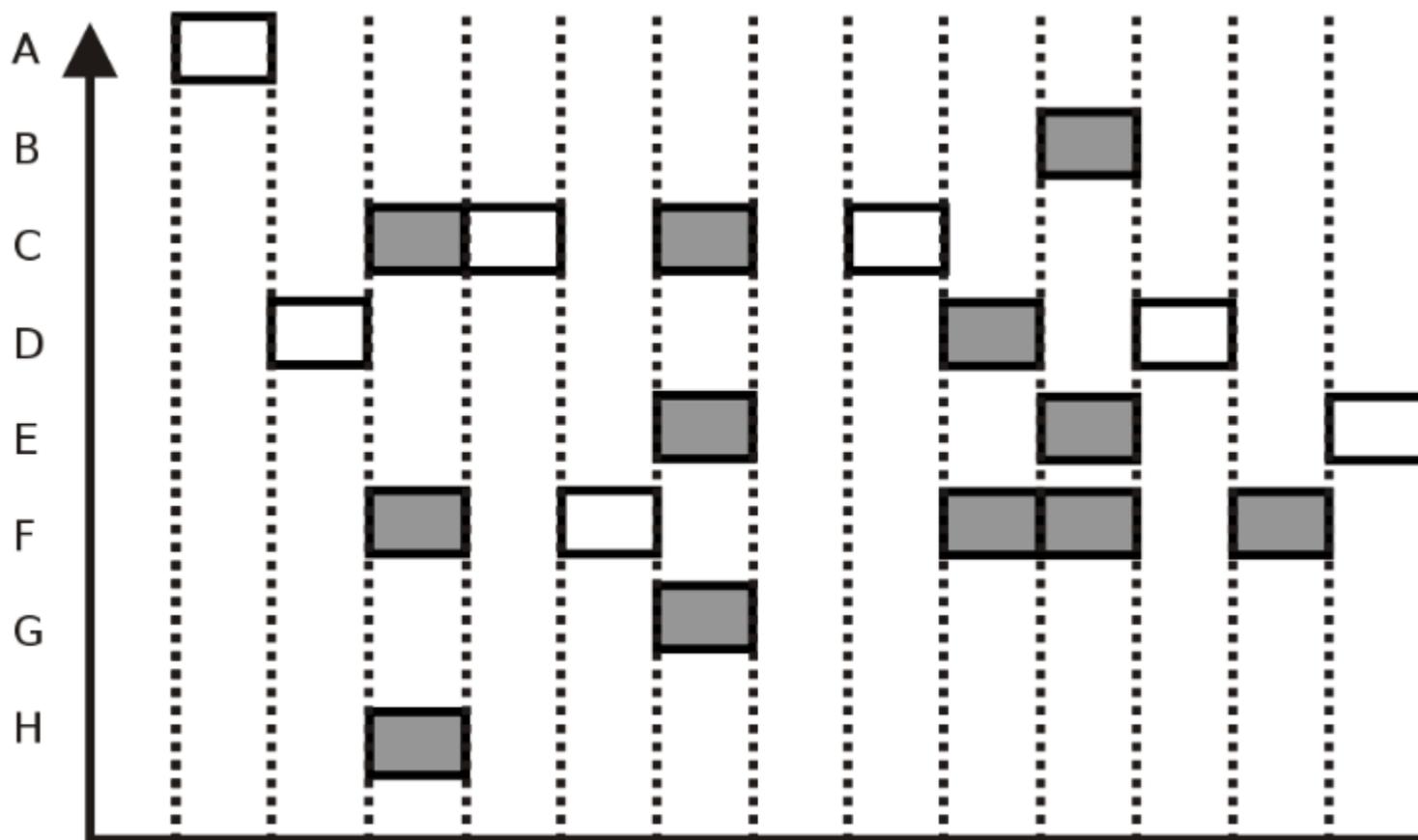
Максимальная производительность достигает значения  $S = 1/2e \approx 0,184$  при  $G = 0,5$ .

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

# Дискретная (Slotted) ALOHA

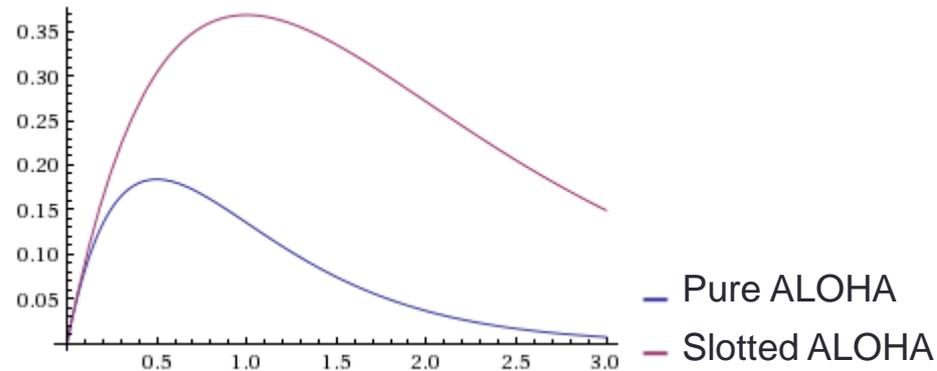
- Алгоритм Slotted ALOHA опубликован в 1972 году Робертсом.
- Время разделяется на дискретные интервалы, по продолжительности равные длине одного кадра.
- Для синхронизации станций можно использовать передачу сигнала синхронизации.
- Станция может начинать передачу только в начале интервала.
- Таким 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

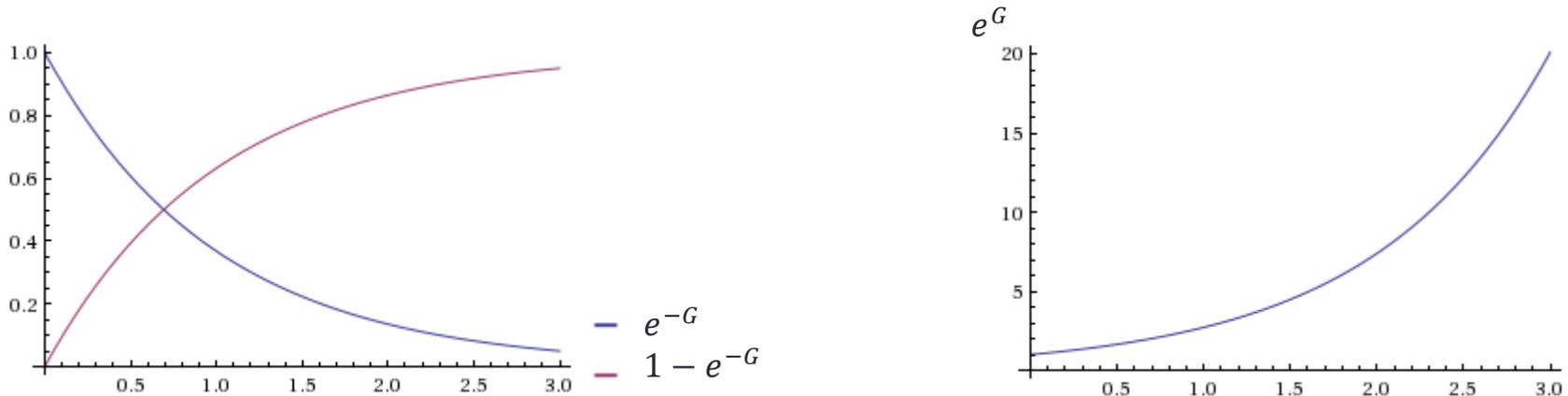
$$1 - e^{-G}$$

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.

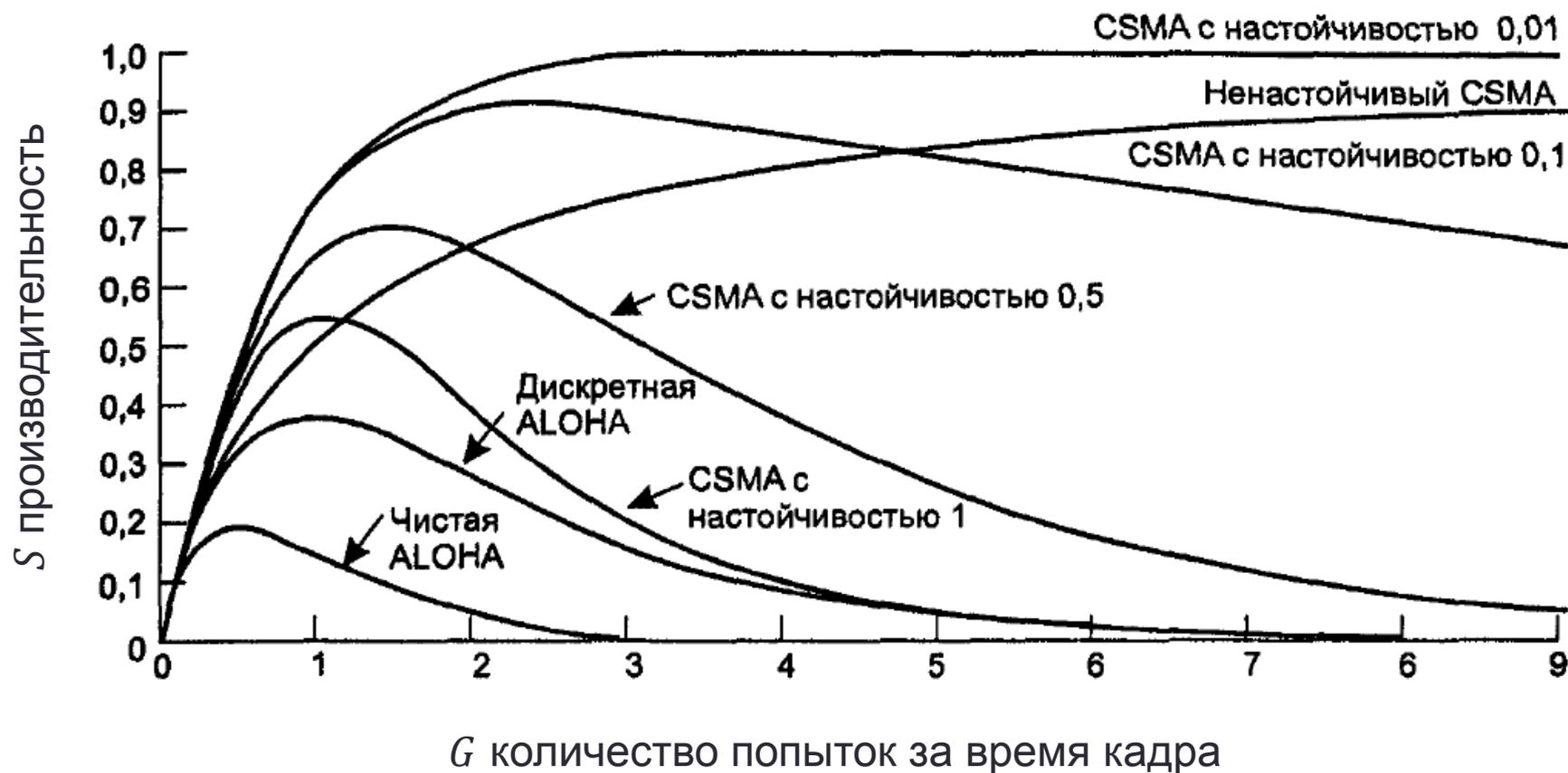
# Ненастойчивый протокол CSMA

- Когда у станции появятся 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 прийти 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 коллизия 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.



# 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 (0.1 мкс 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.

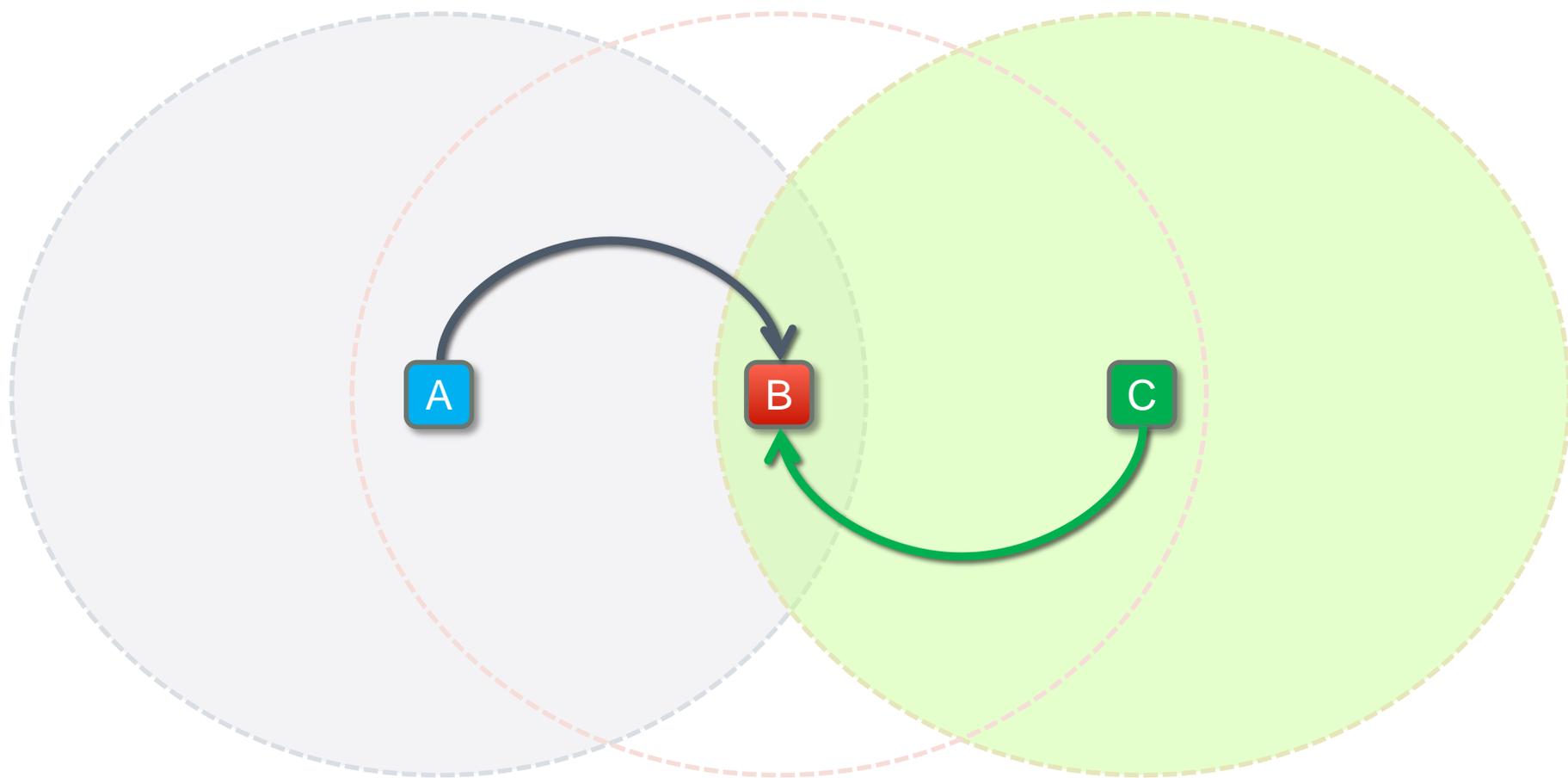
# Ограничения Ethernet

- 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

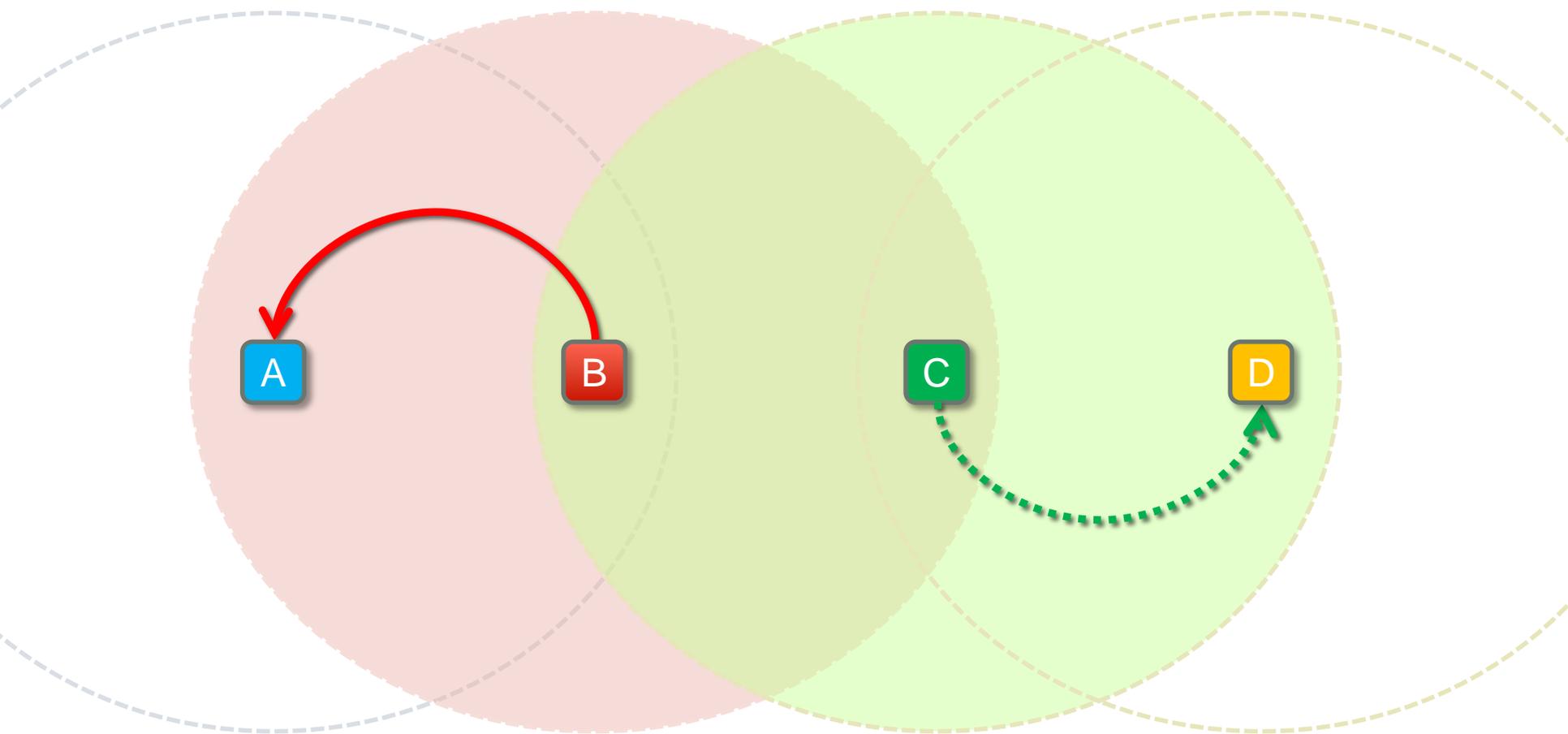
# ПРОТОКОЛЫ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

---

# Проблема скрытой станции Hidden Node Problem



# Проблема засвеченной станции Exposed Terminal Problem

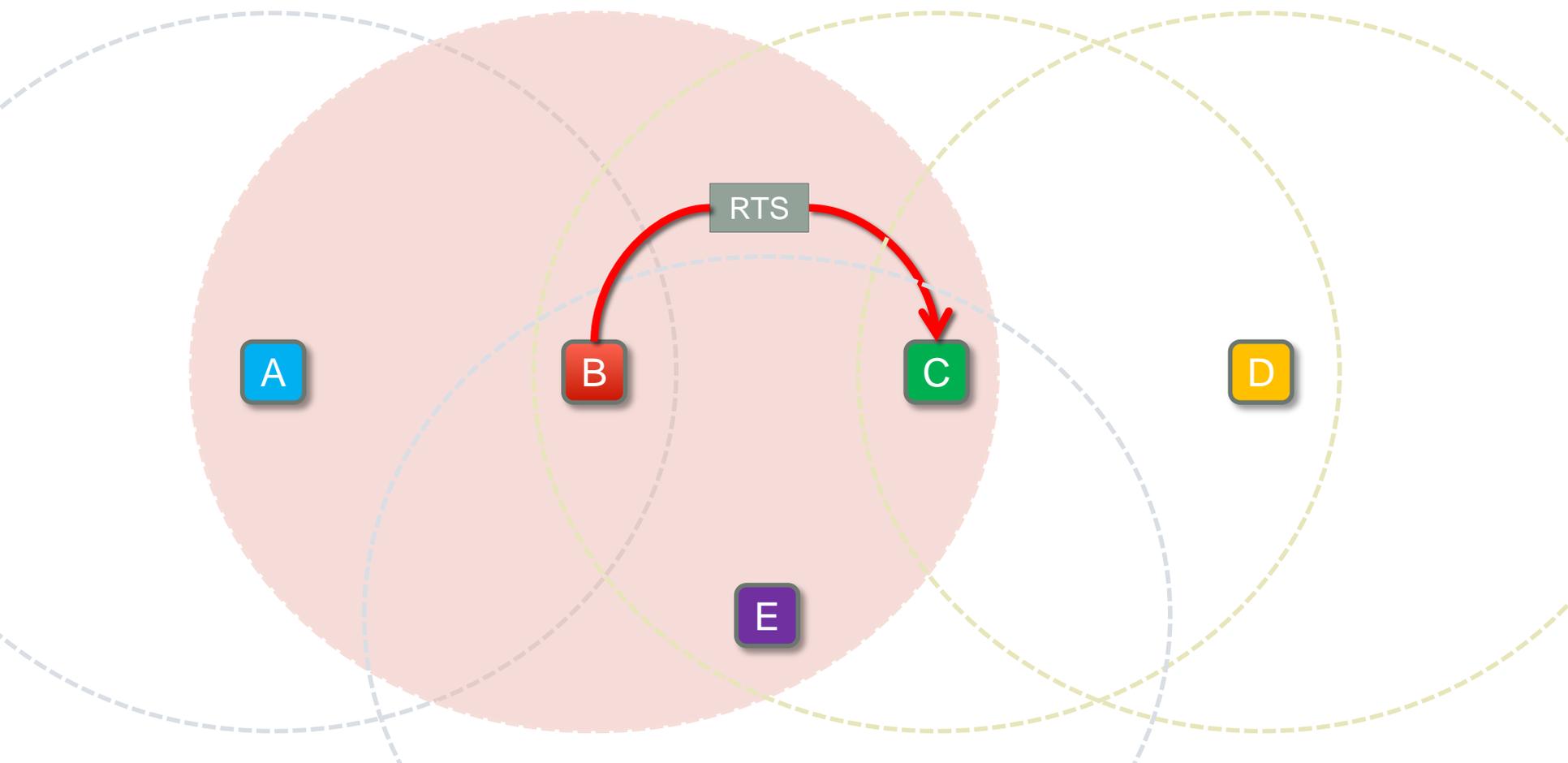


# Протокол МАСА

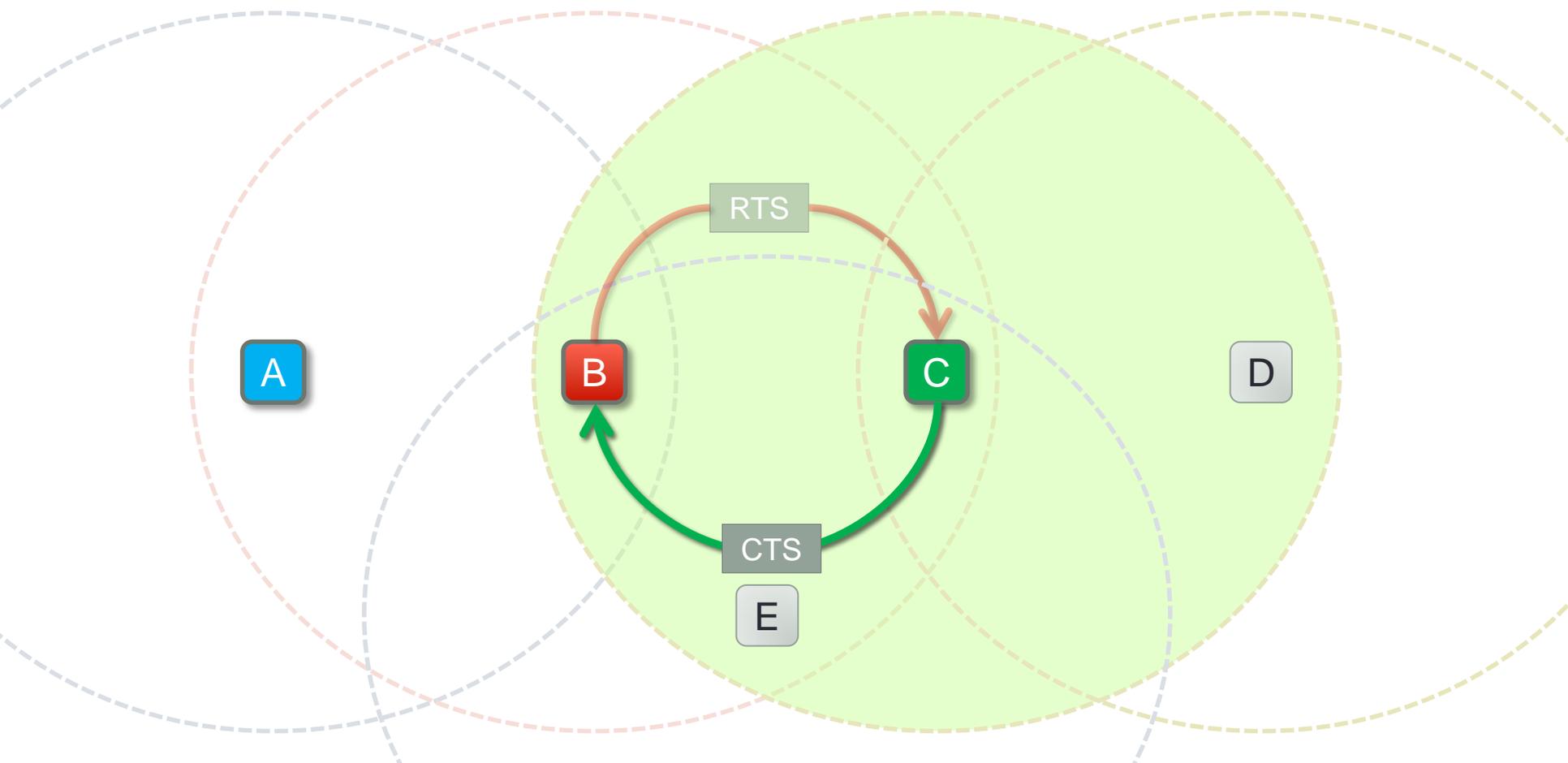
## Multiple Access With Collision Avoidance

- 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

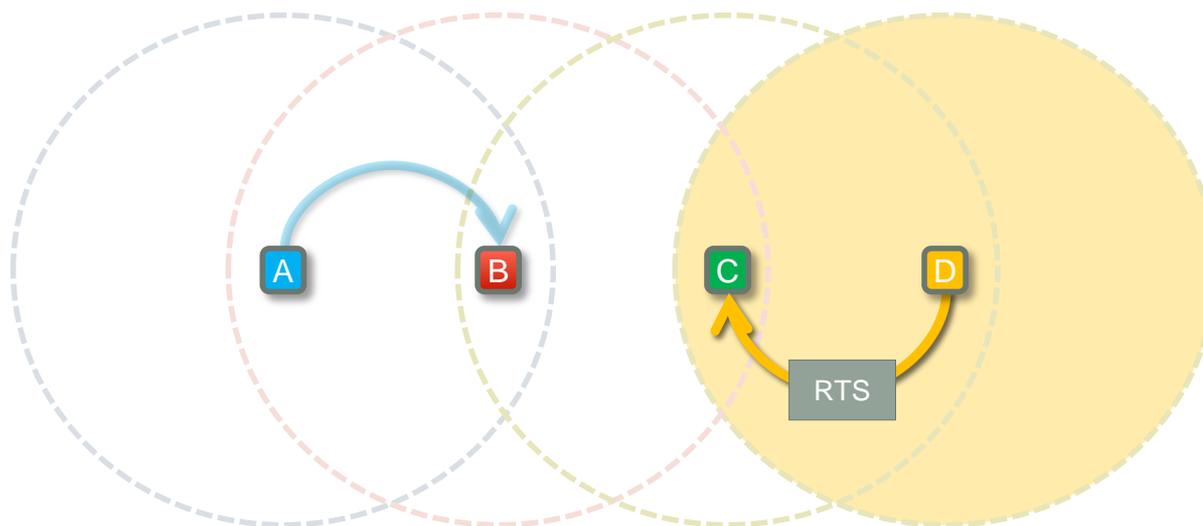


# Протокол MACAW

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

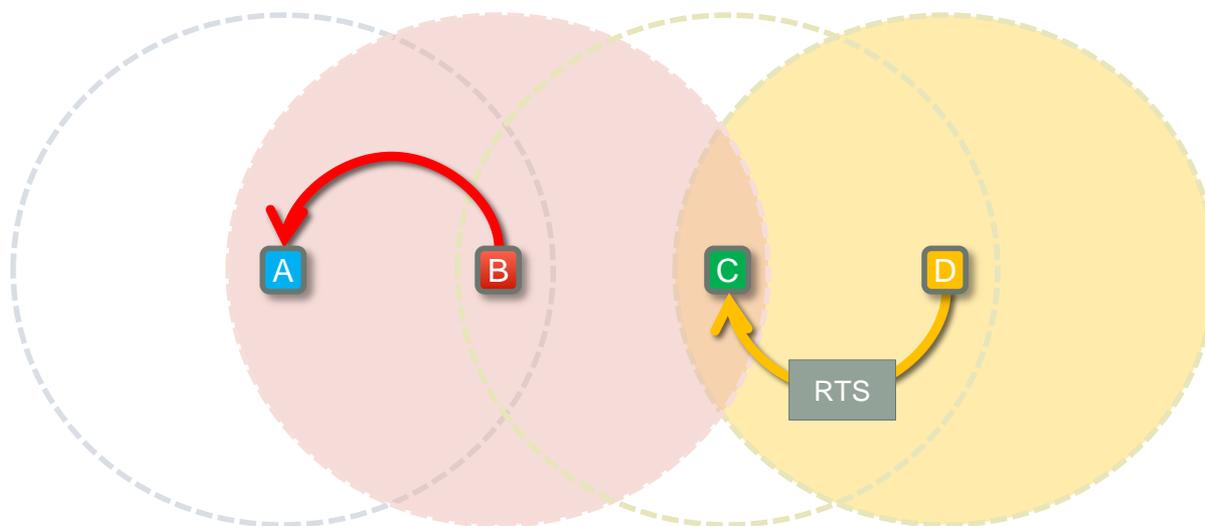
- D посылает RTS C, но C не может ответить, так как ожидает освобождения среды после передачи A-B.
- D думает, что произошла коллизия и повторяет RTS с большой задержкой, вероятность попасть в интервал когда C сможет ответить мала.

## 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.



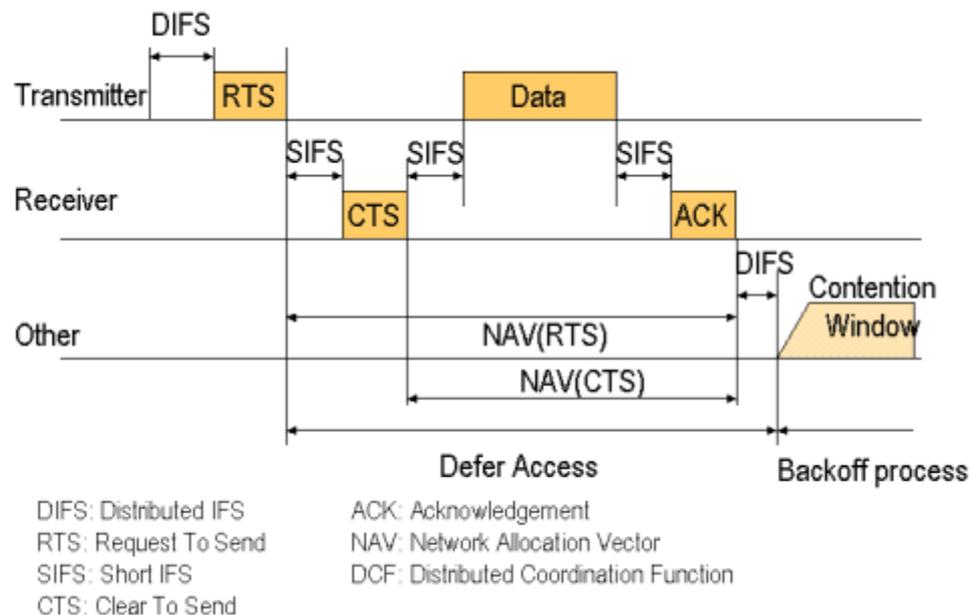
- Может некорректно работать с мультикастом.

# Протокол MACAW в IEEE 802.11

## Distributed coordination function

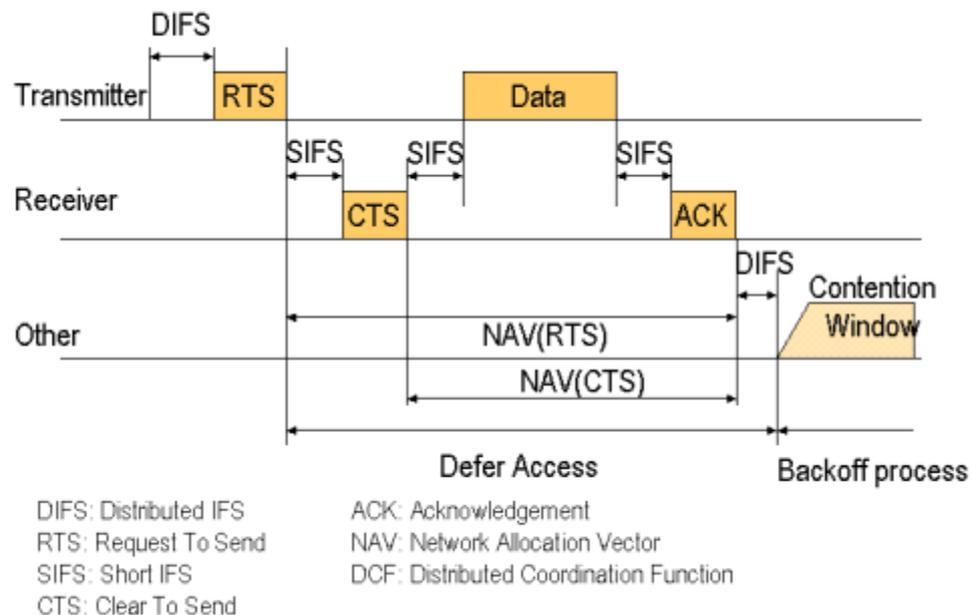
- Станция должна проверять, что среда свободна в течении интервала DIFS
- Чтобы исключить одновременный доступ станция должна ожидать дополнительный случайный интервал после DIFS (Random Backoff Timer)
- Используется виртуальный контроль несущей с обменом кадрами RTS/CTS
- Используется подтверждение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

# Протокол MACAW в IEEE 802.11



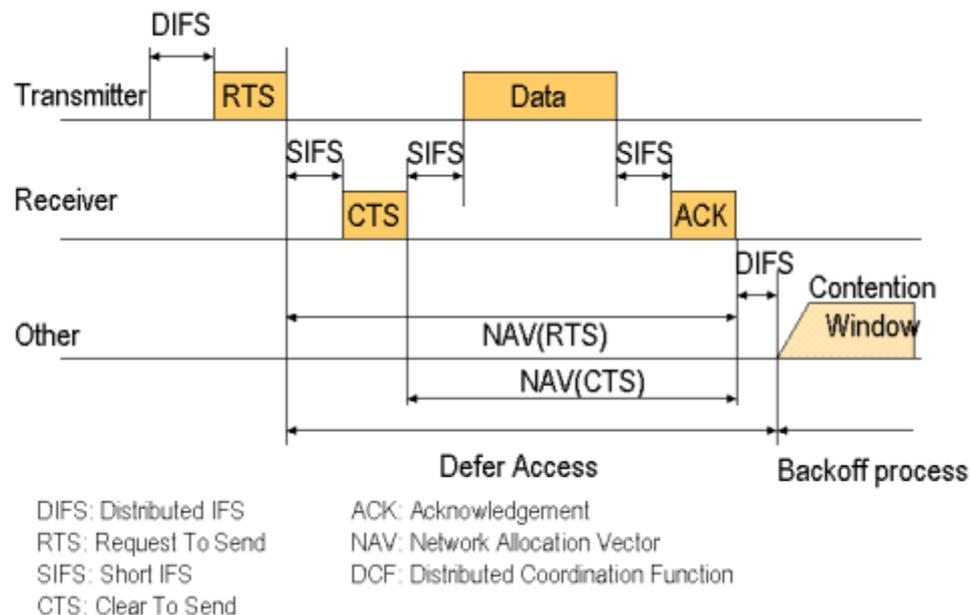
- EIFS — расширенный межкадровый интервал
- DIFS — временной интервал между началом прослушивания среды станцией и началом передачи данных.
- PIFS — межкадровый интервал Point Coordination Function
- SIFS — временной интервал между передачей данных и принятием их станцией-получателем.

# 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)
- AP 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