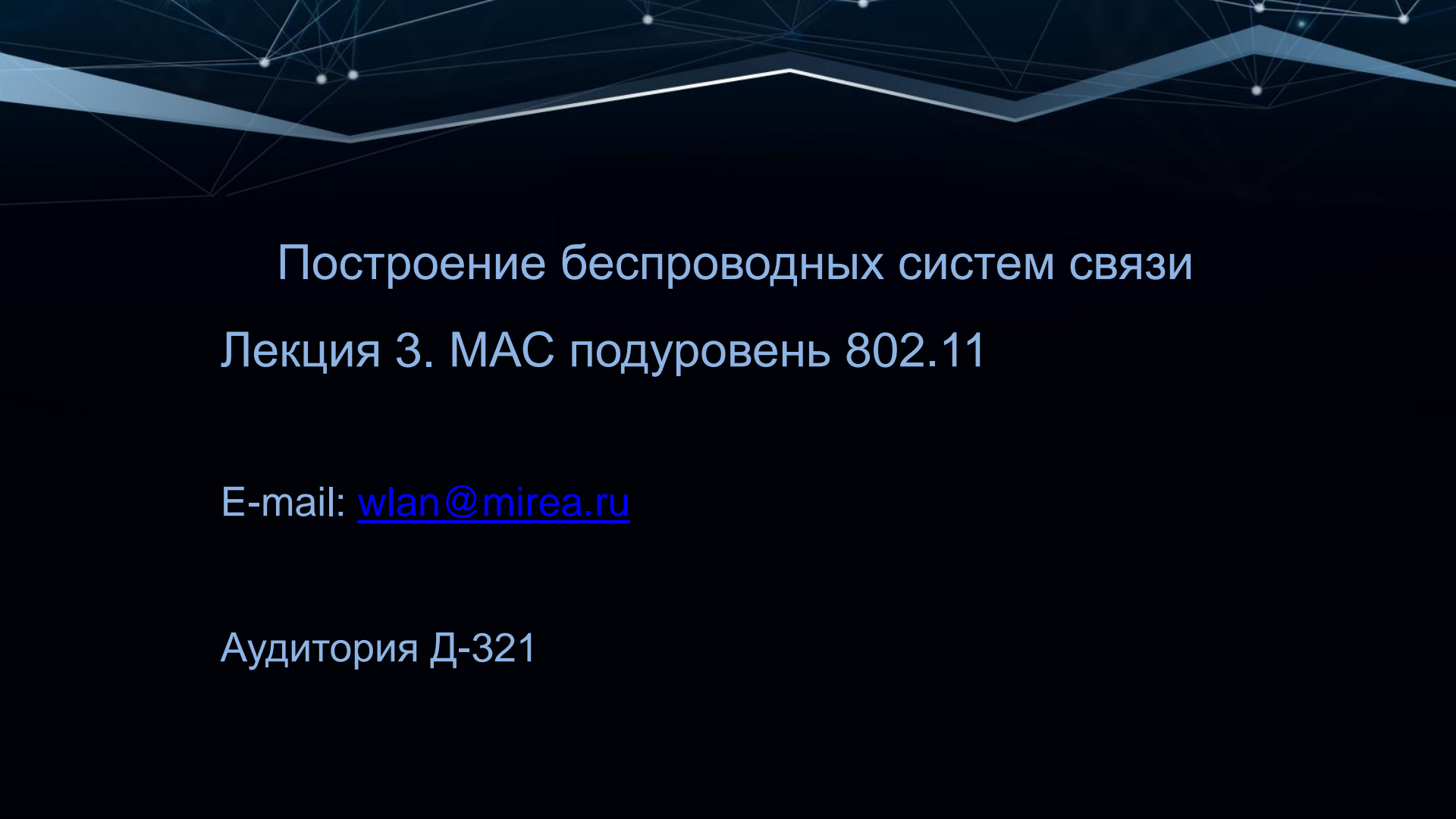




МИРЭА – Российский технологический университет
Институт радиотехнических и телекоммуникационных систем
Кафедра телекоммуникаций



Построение беспроводных систем связи

Лекция 3. MAC подуровень 802.11

E-mail: wlan@mirea.ru

Аудитория Д-321

MAC подуровень 802.11

Сервисы MAC 802.11

Метод CSMA / CA

MAC и PHY подуровень



MAC подуровень 802.11

Сервисы MAC 802.11

MAC сервисы

MAC подуровень в IEEE 802.11 обеспечивает сервисы

Asynchronous Data Service (Traffic Service)

Передача фреймов между точками присутствия сервиса

Security services

Сервисы аутентификации и WEP (Wired Equivalent Privacy) механизм

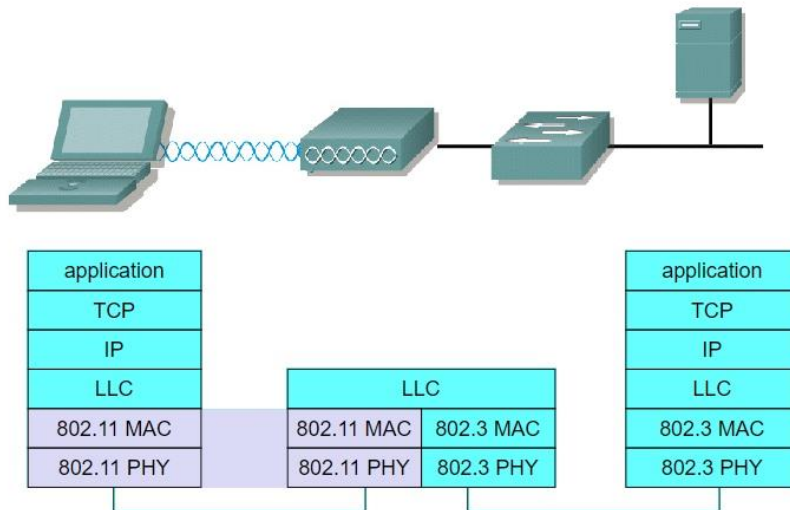
MSDU Ordering

Изменение порядка передачи broadcast и multicast фреймов

Asynchronous Data Service

Сервис позволяет точками присутствия сервиса LLC производить обмен MSDU (MAC Service Data Unit)

Для поддержки этого сервиса MAC-подуровень использует лежащий ниже PHY-подуровень, который обеспечивает доставку MSDU в точки присутствия MAC и LLC сервиса



Сервис доставки MSDU в беспроводной среде осуществляется на connectionless основе. Не существует гарантий, что данный конкретный MSDU будет доставлен успешно. Все станции (STA) поддерживают Asynchronous Data Service

Security Services

Сервисы обеспечивают в 802.11 аутентификацию и WEP (Wired Equivalent Privacy) механизм

WEP в 802.11 – шифрование MSDU

WEP рассматривается как сервис LLC, внедренный в MAC подуровень

Security services, обеспечивающиеся WEP в сетях 802.11

Конфиденциальность (Confidentiality)

Целостность данных (Data integrity)

Контроль доступа (Access Control)

MSDU Ordering

Сервисы обеспечиваемые MAC-подуровнем 802.11 в некоторых случаях требуют изменения порядка следования MSDU

Используется в ситуациях, когда требуется увеличить вероятность доставки MSDU (клиент работает в режиме Power Management Mode и др.)

Основной эффект – изменяется порядок следования broadcast а и unicast а

Приоритетность unicast а повышается

Структура MSDU

MSDU = MAC фрейм

Каждый MSDU содержит три компонента:

MAC Header (заголовок) – 30 Bytes

Содержит поля frame control, duration, address и sequence control

Frame body (тело фрейма) от 0 – 2312 Bytes

Для фреймов Data содержит полезную нагрузку (данные для upper-layer протоколов)

Для фреймов Control и Management – специфические данные

FCS (Frame Control Sum) – 4 Bytes (32 bit) CRC
Cyclic redundancy check

Типы MSDU

Три основных типа MSDU

Data Frames

Передача данных (payload, полезной нагрузки)

Control Frames

Контроль доступа к среде (RTS – Request To Send, CTS – Clear To Send, ACK - Acknowledgement)

Management Frames

Передаются также, как и Data Frames, однако производится обмен management information (пример – beacon)

Архитектура MAC подуровня в 802.11

Для передачи данных станция STA должна получить доступ к среде
В 802.11 используется два метода доступа к среде

Основной метод IEEE 802.11 MAC

CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), также называемый DCF (Distributed Coordination Function)

Метод CSMA/CA или же DCF поддерживается всеми STA 802.11, и может использоваться как в сети «Ad Hoc», так и в BSS - ESS

Contention
Based
Access

Дополнительный метод IEEE 802.11 MAC

PCF (Point Coordination Function) – «расширение» DCF

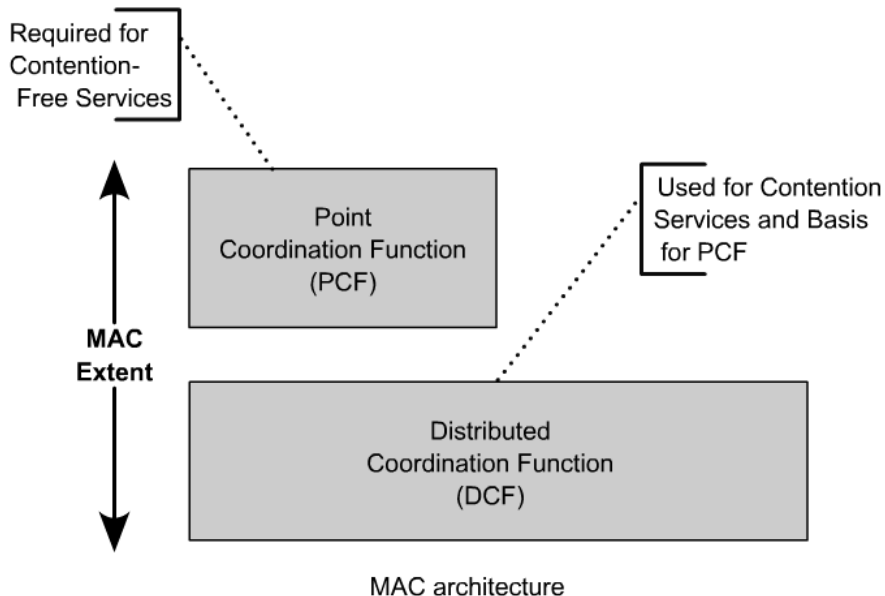
Метод PCF дает возможность не ассоциированного (contention-free) доступа в сетях BSS и ESS

Contention
Free
Access

Совместное применение DCF и PCF

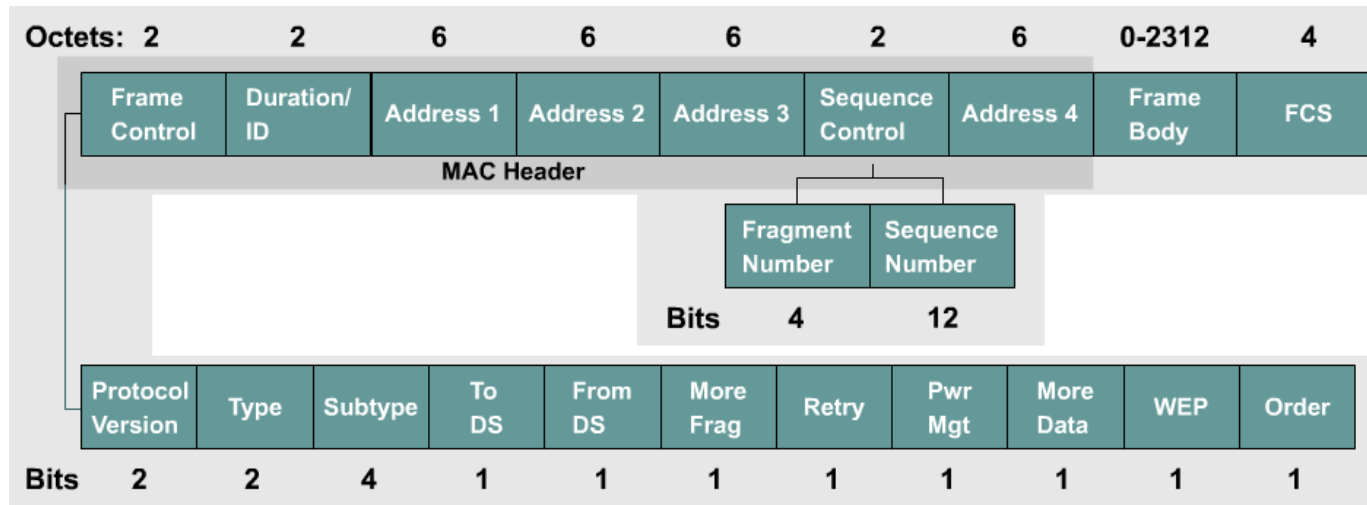
DCF и PCF могут совместно использоваться в одной BSS

При их совместном использовании период CF- доступа сменяется на период Contention-Based доступа



Фреймы, передаваемые при помощи PCF, имеют меньший IFS (Interframe Space), чем при использовании DCF. Это дает STA, использующей PCF приоритет над STA, использующей DCF-mode

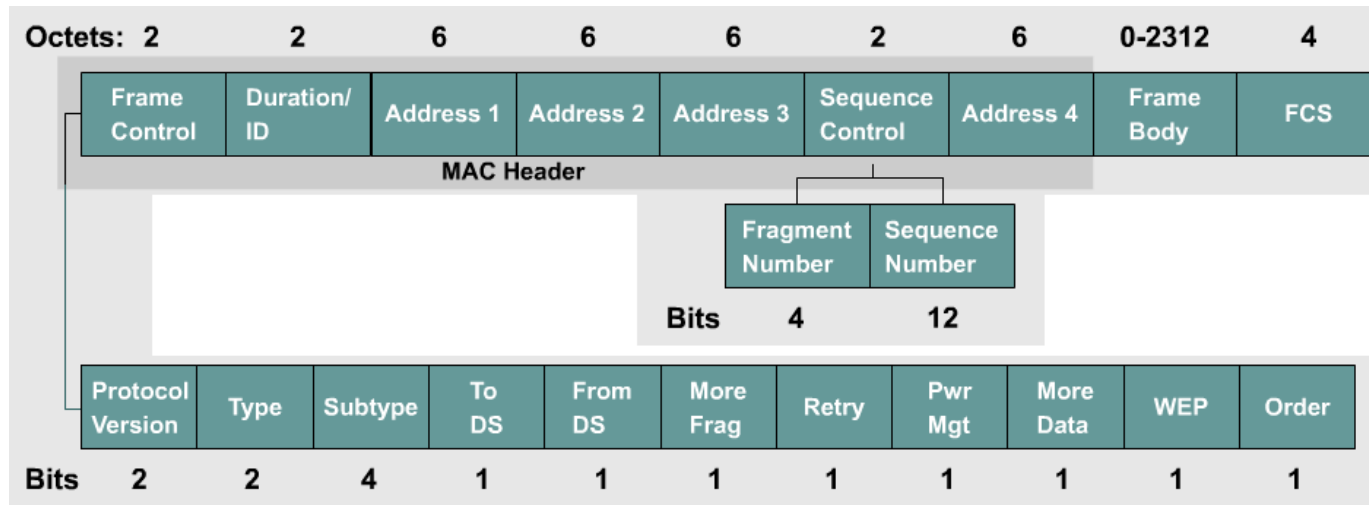
Формат MSDU



Frame Control (2 bytes, 16 bits)

- Protocol version (2 bit). Идентифицирует версию протокола 802.11
- Type (2 bit). Идентифицирует тип фрейма (Control, Management, Data)
- SubType (4 bit).
- Для фреймов Control (PS, RTS, CTS, ACK, CF end, CF end + CF ACK)
- Для фреймов Management (Association Request, Association Response, Probe request, Probe response, Beacon, Re-association response)
- Для фреймов Data (Data, CF-Poll (no Data), Data + CF ACK)

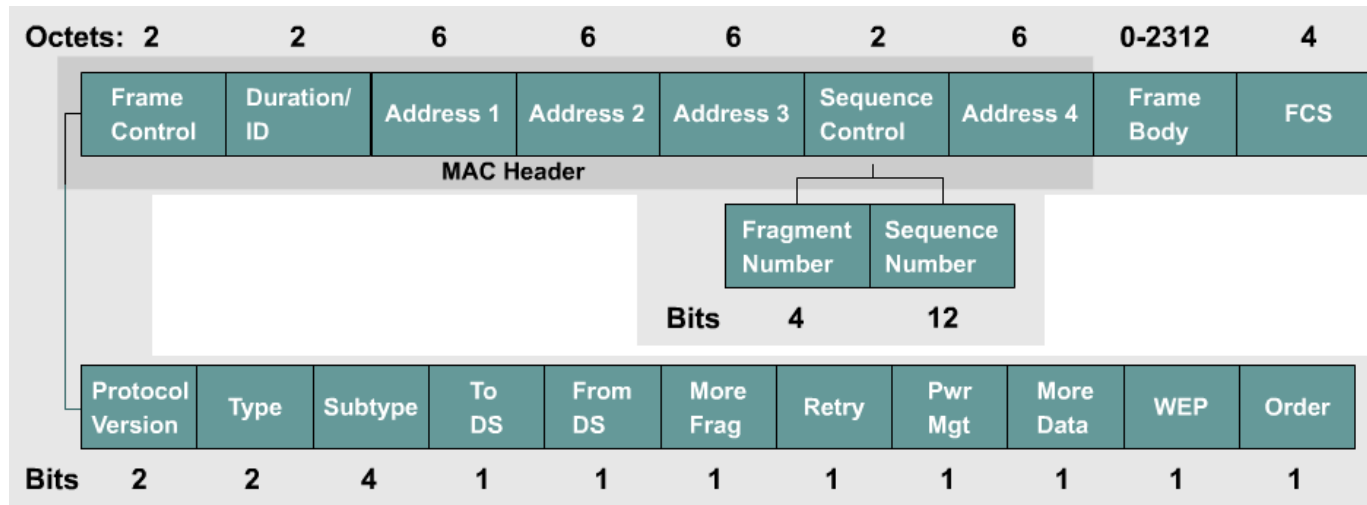
Формат MSDU



Frame Control (2 bytes, 16 bits)

- To DS (1 bit). Если поле – «1» то фрейм пробрасывается от AP в DS (distribution system)
- From DS (1 bit). Если поле – «1» то фрейм пришел из DS к AP
- More Fragments (1 bit). Говорит принимающему устройству о том, идут ли другие фрагменты за фреймом или нет
- Retry (1 bit). Если поле – «1» то фрейм является ретрансмиссией предыдущего
- More Data (1 bit). Сообщает станции, что от AP за этим фреймом идет другой (другие)

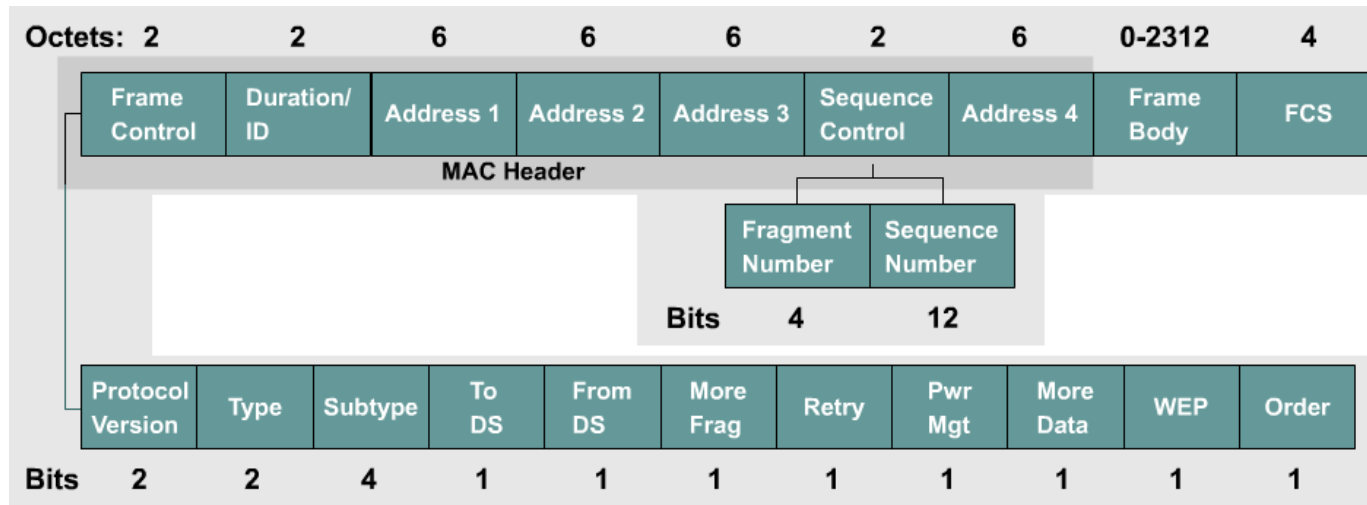
Формат MSDU



Frame Control (2 bytes, 16 bits)

- Power Management (1 bit). Если поле – «1» (power-save mode) то это говорит о том, что станция не будет принимать фреймы от AP, пока не получит request для смены режима на active. Если поле – «0» (active) – станция принимает фреймы
- WEP (1 bit). Если поле – «1», означает то, что фрейм зашифрован с помощью WEP алгоритма
- Order (1 bit). Если поле – «1», означает то, что фрейм передается с использованием strictly ordered service class (иными словами - настроен QoS)

Формат MSDU

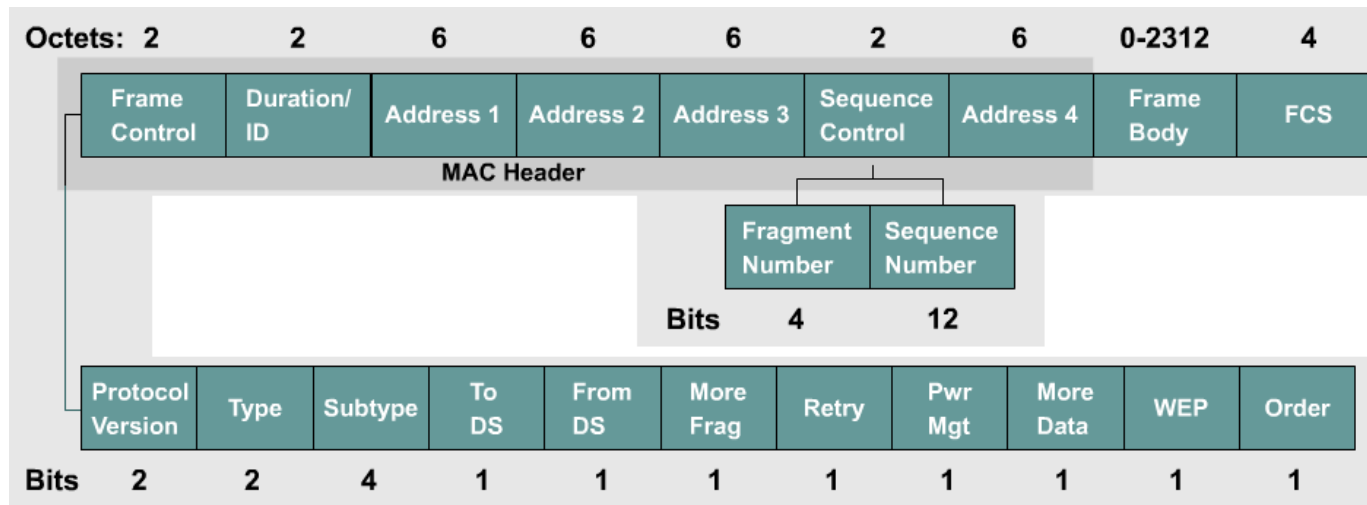


Duration / ID (2 byte, 16 bit)

- В Control Frames, в подтипе PS-Poll (Power Save – Poll) поле содержит AID (Association Identity of the station) – фактически «номер порта» на беспроводном коммутаторе. Значение AID от 0 до 2007
- Во всех других типах фреймов поле содержит величину продолжительности времени передачи фрейма (предопределена для каждого типа фреймов). Для фреймов, передаваемых в contention-free период (CFP), «Duration» = 32768

Если поле Duration < 32768, величина используется для обновления NAV

Формат MSDU

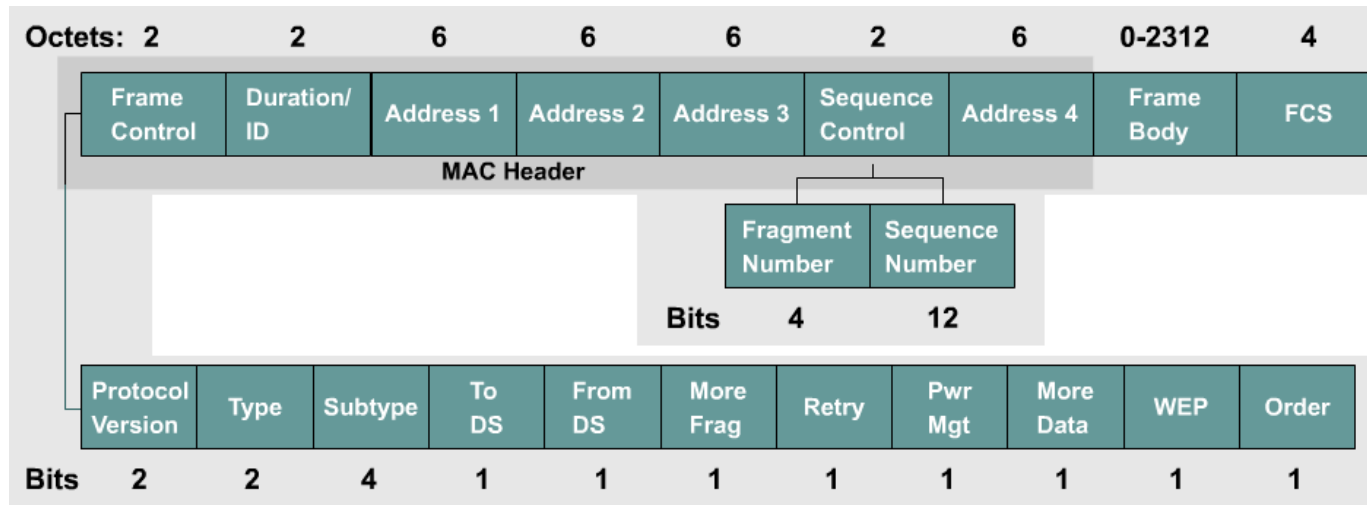


Address 1 – Address 4 (6 bytes, 48 bit каждое)

Четыре адресных поля в MAC frame format используются для индикации BSSID, source address, destination address и receiving/transmitting station address (BSSID, DA, SA, RA/TA)

Некоторые фреймы могут не содержать какого-либо из этих полей

Формат MSDU



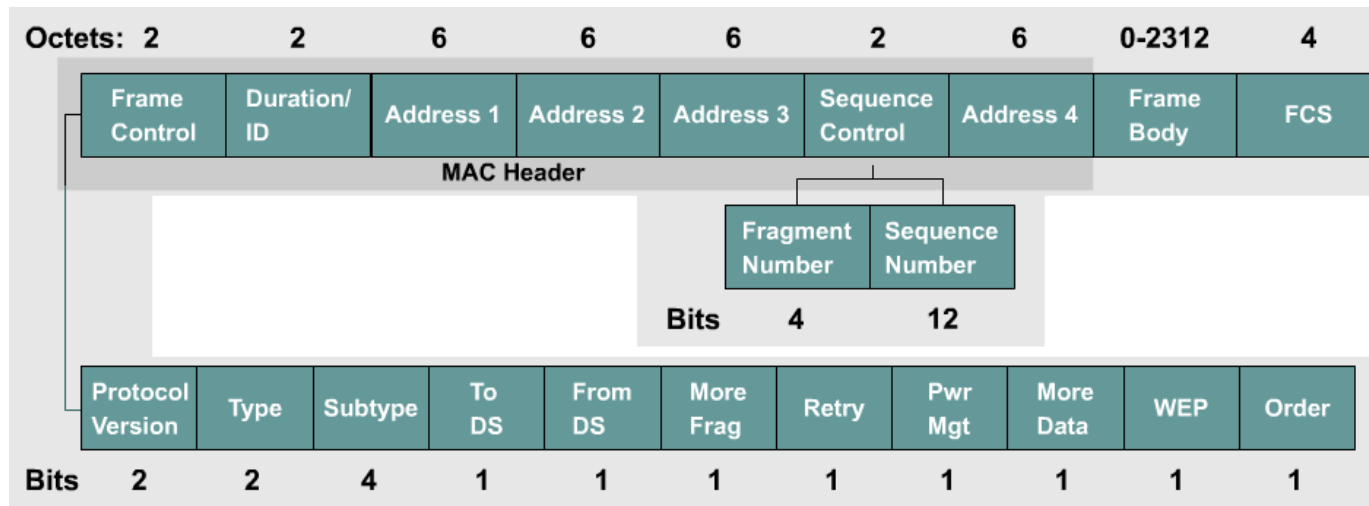
Sequence Control (6 bytes, 48 bit каждое)

- Fragment number (4 bit)
- Sequence number (12 bit)

Fragment number field – идентификация №№ фрагментов MSDU. Первое поле = «0», далее увеличивается на 1 после каждого **удачно переданного** фрагмента

Sequence number field – лежит в пределах 0 – 4096, также увеличивается на 1 после каждой удачной передачи фрейма

Формат MSDU



Frame Body (0 – 2312 bytes)

- Данные
- Специфическая информация

FCS (4 bytes)

- 32 bit Циклический избыточный код (CRC, Control Redundancy Check)



MAC подуровень 802.11

Метод CSMA / CA

Компоненты CSMA / CA

Основной метод

Контроль несущей Carrier-Sense

Распределенная функция координации DCF

Фреймы подтверждения

Резервирование среды при помощи механизма RTS/CTS

Дополнительные компоненты

Точечная функция координации PCF

Фрагментация фреймов

Carrier-sense механизм

Физический и виртуальный carrier-sense mechanism используется для определения состояния среды

Функции carrier
sense регистрируют
сигнал

Эфир занят (medium busy)

Сигнала нет

Эфир свободен (medium idle)

- Физический carrier-sense mechanism – алгоритмы выделения сигнала на PHY-подуровне, различается в зависимости от стандарта (802.11 a/b/g..)
- Виртуальный carrier-sense mechanism – алгоритм NAV (Network Allocation Vector)

Физический Carrier-sense механизм

Физический carrier-sense mechanism производится постоянно на всех радио-интерфейсах. Станция STA прослушивает эфир и детектирует радиосигналы, занимающие канал с целями :

Предназначены ли радиосигналы, занимающие канал для приема станцией ?

Свободен ли радиоканал для передачи ? (необходимое условие начала передачи)

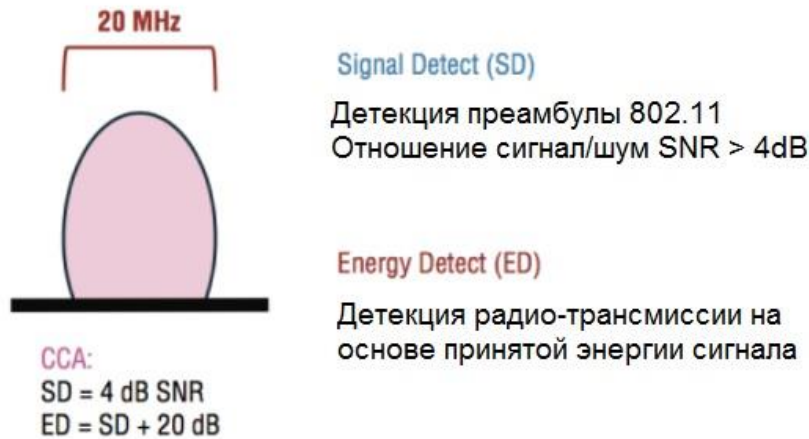
Для достижения этих целей, радио-интерфейсы 802.11 используют процедуру Clear Channel Assessment (CCA)

Процедура Clear Channel Assessment выполняется всякий раз перед передачей/приемом PPDU (Physical Protocol Data Unit)

(PPDU = фрейм MSDU + преамбула)

Физический Carrier-sense механизм

ССА прослушивает эфир, детектируя передачи по радиоканалу на PHY уровне 802.11, используя два отдельных ССА детектора при прослушивании радиоэфира.



Преамбула –
компонент
физического уровня

Синхронизация
между приемником и
передатчиком 802.11

Signal detect (SD) детектор используется для идентификации передачи преамбулы от других станций STA.

Energy detect (ED) детектор используется для идентификации non-802.11 радиопередач, которые могут занять канал (диапазоны 2,4 и 5 GHz не лицензируются)

NAV – Network Allocation Vector

NAV (Вектор распределения) – таймер обратного отсчета, который обновляется всеми станциями при получении любого фрейма. Для обновления используется информация из поля «Duration»



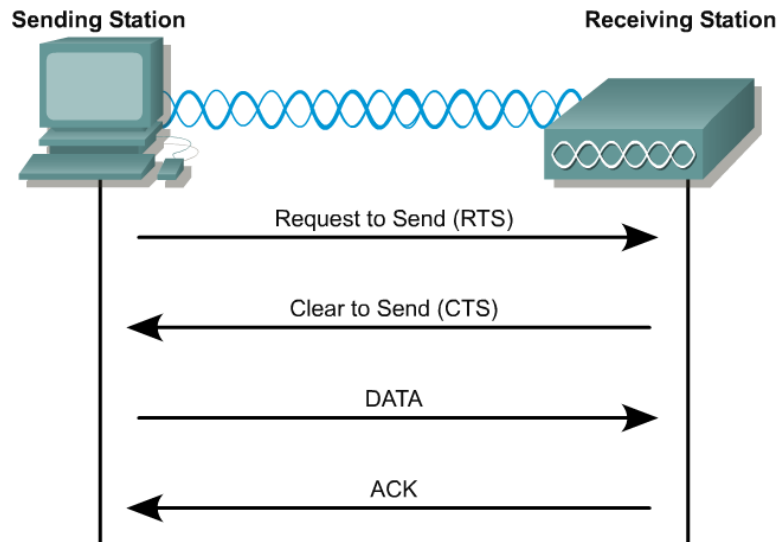
NAV – механизм MAC подуровня

Станция STA может начать процесс передачи фрейма (любого) когда ее значение NAV становится NAV = 0. Если NAV не равно «0», для станции это означает среда занята (medium busy). **Исключение – фрейм подтверждения ACK (acknowledgement)**

NAV не обновляет значение в меньшую сторону. Если после фрейма с Duration = 20ms получен фрейм с Duration = 5ms, NAV не обновит значение, если оно на момент получения второго фрейма больше чем 5 ms

MAC-level Acknowledgements

В **некоторых** случаях при приеме фреймов требуется отправка фрейма подтверждения (ACK – acknowledgement)



Фрейм ACK
отправляется, если
FCS принятого
фрейма корректна

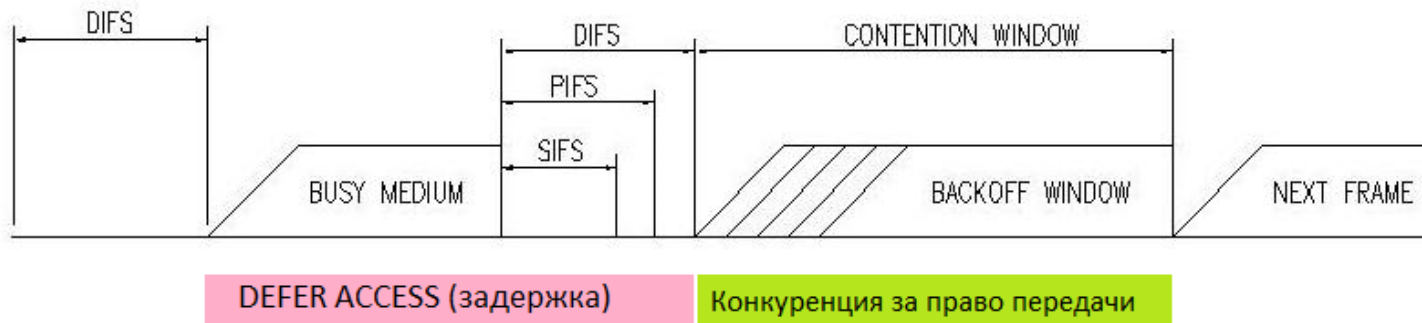
Отсутствие ожидаемого ACK фрейма свидетельствует о необходимости ре-трансмиссии фрейма.

Такая ситуация может быть в двух случаях: получен фрейм с данными с плохой FCS, либо фрейм ACK не дошел до получателя

Interframe Space (IFS)

IFS – интервал между last bit предыдущего фрейма и first bit преамбулы, следующего за ним фрейма

Существуют четыре типа IFS, различаемые по уровню приоритета доступа к среде



Различные IFS не зависят от bit rate STA (скорости передачи станции), а определяются типом физического уровня PHY 802.11 a,b,g

- SIFS – Short Interframe Space
- PIFS – PCF Interframe Space
- DIFS – DCF Interframe Space
- EIFS – Extended Interframe Space

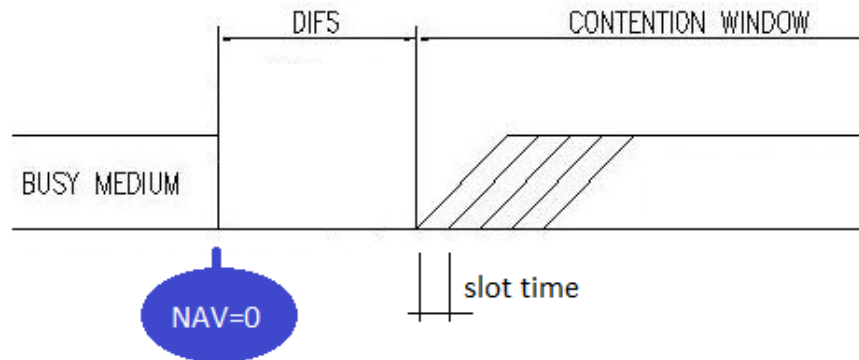
Даже при «немедленном» доступе, когда среда освобождается, проходит время DIFS ($> \text{DIFS}$)

Принципы CSMA / CA

- Прежде, чем станция STA начнет передавать, она сообщает длительность передачи фрейма – другие STA обрабатывают эту информацию (NAV)
- Станции STA не могут передавать, прежде чем истечет время передачи, отведенное для предыдущей трансмиссии
- Станции не знают, дошли ли фреймы до принимающей станции, пока не получен ACK фрейм
- Если передача начинается одновременно, станции, начавшие такую передачу не знают об этом, и узнают что фрейм не достиг получателя, только если они не получили ACK фрейм
- После освобождения среды станции выжидает некоторое случайное время ($N \times \text{slot time}$, но не более contention window), и снова пытаются передавать (при получении доступа к среде)

Начало передачи в CSMA / CA

Для основного метода – Distributed Coordination Function используется DIFS



Slot time – «квант времени» 802.11, определяется PHY

$$CW = M \times \text{slot time}$$

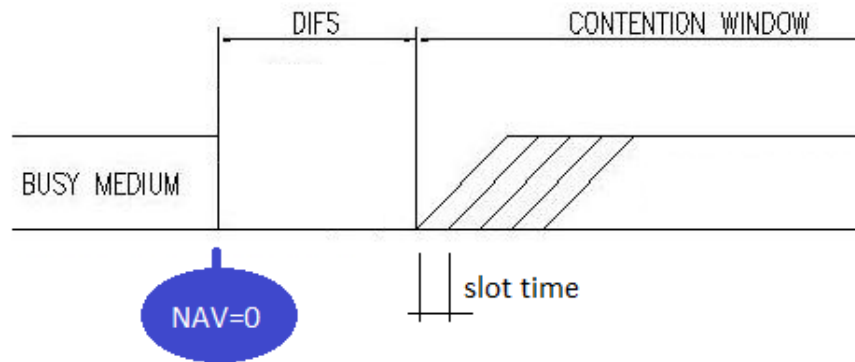
Когда NAV станет = 0, после выжидания периода DIFS станции могут начинать конкуренцию за право занять среду передачи.

Так как это произойдет для всех (или почти всех) станций в BSS одновременно, они выждут одинаковый DIFS + случайную задержку длительностью $N \times \text{slot time}$

Размер Contention Window (CW) по умолчанию устанавливается в зависимости от технологии 802.11 (a,b,g...) и является аппаратной настройкой беспроводной NIC. Исчисляется в slot time, например $CW = 255 \times \text{slot time}$. STA выбирает произвольное значение между 0 – 255 для задержки.

Когда STA начнет передачу, остальные STA обновят свой NAV и снова ждут $T_{NAV} + DIFS + N \times \text{slot time}$

Contention Window (CW)



$$CW = M \times \text{slot time}$$

$$CW = 2M \times \text{slot time}$$

CW_{\max} или количество
ре-трансмиссий
настраивается

После передачи фрейма станция ждет фрейм ACK (если передача велась Unicast ом)
Если передающая станция не получила фрейм подтверждения ACK, она считает, что в среде произошла коллизия и отправляет фрейм заново по тому же механизму получения доступа к среде

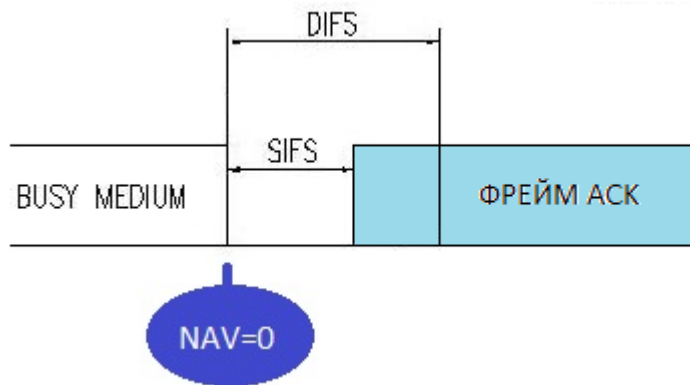
При ре-трансмиссии эта станция (для себя, на своей NIC) увеличивает размер CW вдвое (т.е. задержка будет браться не из диапазона 0 - 255, а из диапазона 0 – 512

При многократных ре-трансмиссиях CW не увеличивается до бесконечности, а достигает определенного размера CW_{\max} , после чего предпринимается попытка резервирования среды

Фрейм подтверждения АСК

Для того, чтобы не происходило множественных ре-трансмиссий из-за того, что фреймы подтверждения АСК не доходят, **фреймы подтверждения АСК исключают из конкурентной борьбы** за право передачи

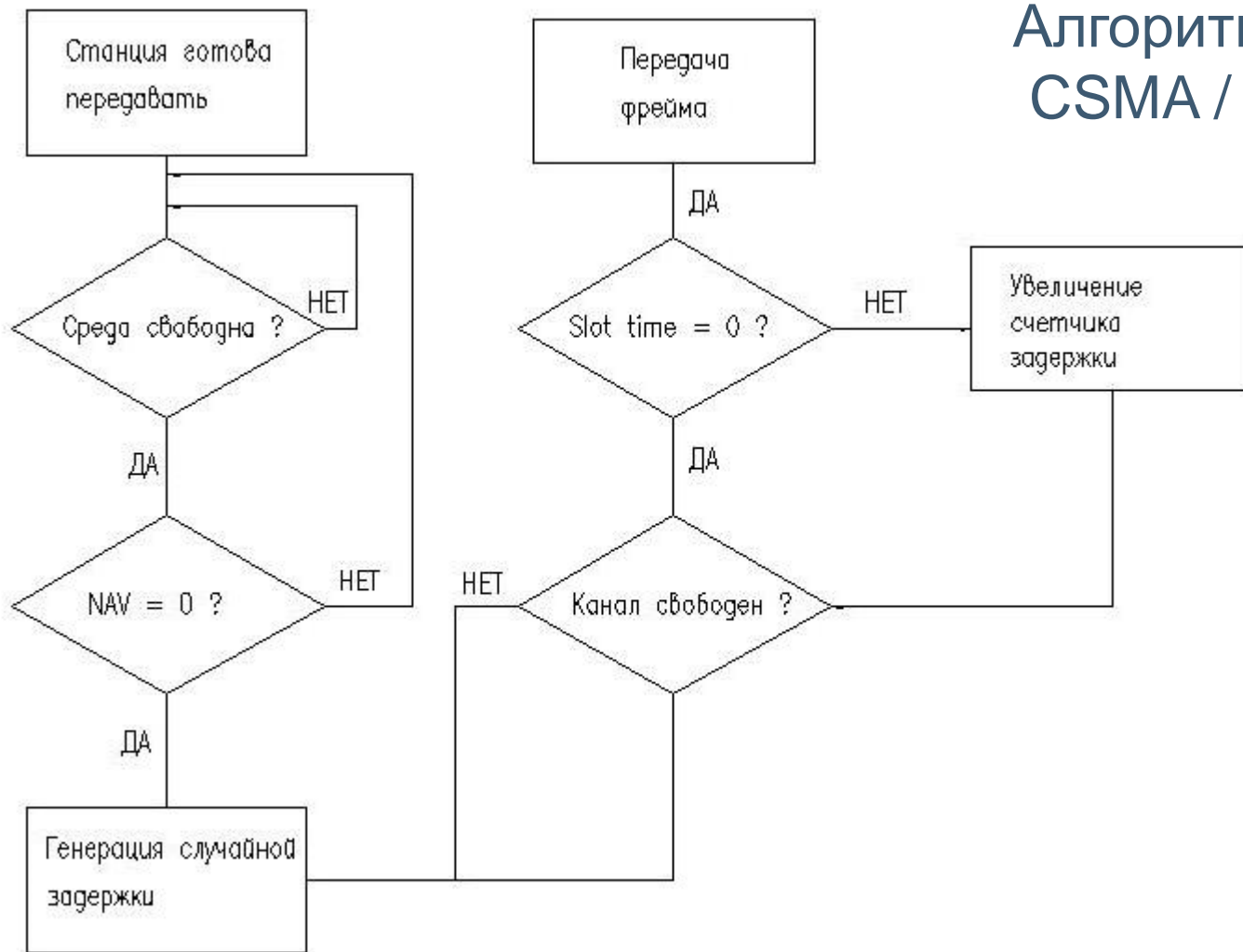
Происходит это за счет того, что для них используется Short IFS (а не DIFS)



Такой механизм позволяет фрейму подтверждения приходить сразу же (с высокой вероятностью) по окончании передачи фрейма данных.

Это связано с тем, что всем станциям необходимо выжидать DIFS, а фрейм АСК ждет только SIFS

Алгоритм CSMA / CA



Резервирование среды RTS / CTS

В случае, если станция STA не получает доступ к среде, она увеличивает окно CW и повторяет процесс конкуренции.

Если CW достигает максимума, станция предпринимает попытку резервирования среды

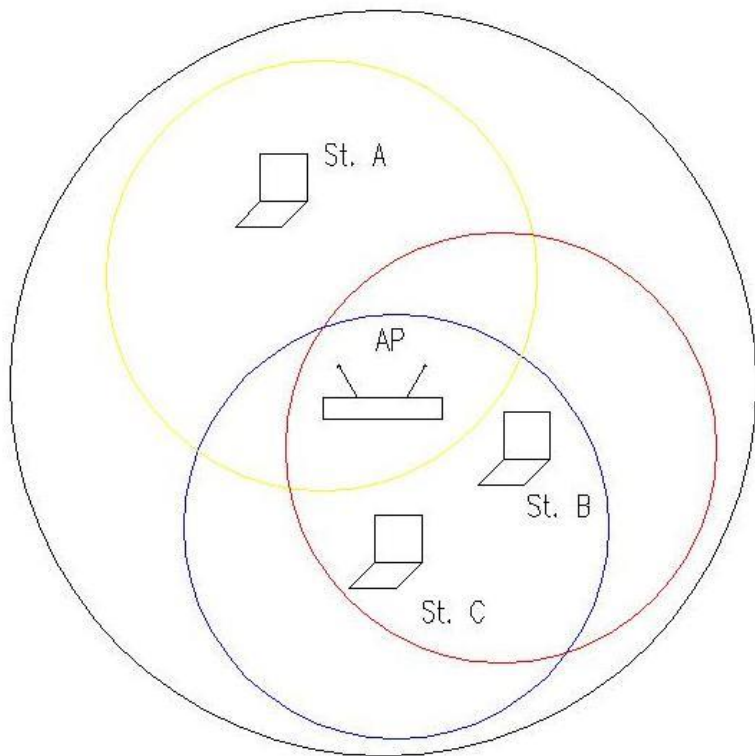
Резервирование среды – посылка управляющего фрейма RTS (Request To Send) для точки доступа AP в структурах BSS, ESS

Точка доступа отвечает фреймом CTS (Clear To Send)

Резервирование среды производится в случаях существования «скрытого узла» - станции, вызывающей коллизии (одна из вероятных причин).

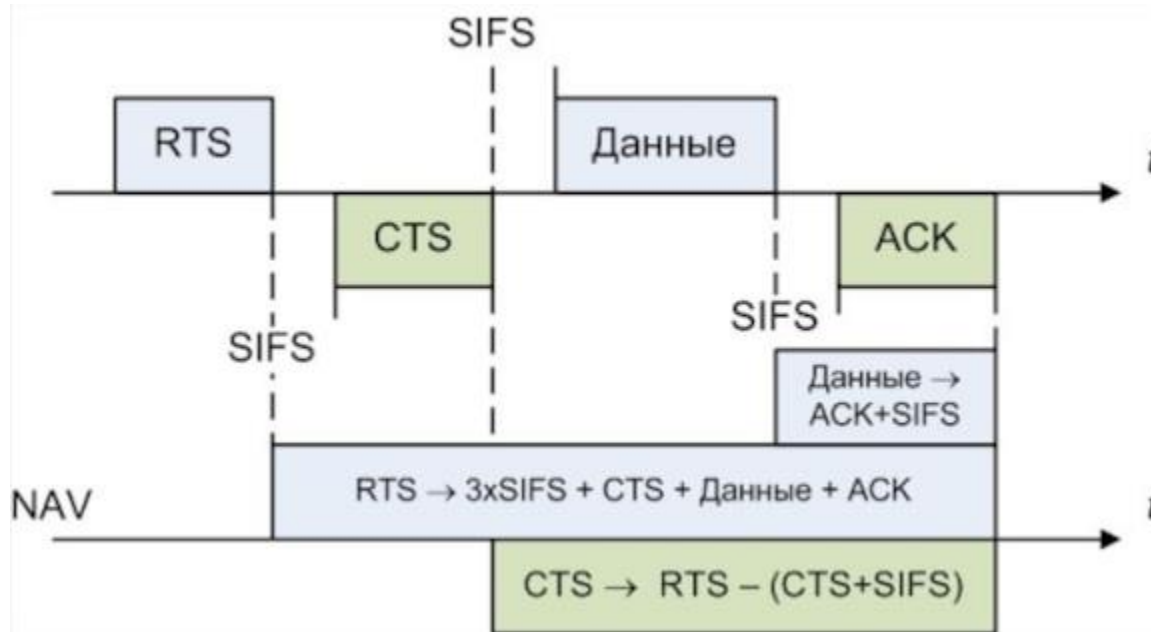
Это происходит потому, что не все станции «слышат» друг друга

Проблема «скрытого узла»



- Станция A обновляет NAV только по фреймам, получаемым с AP
- Следовательно, необходимо сделать NAV станции A таким, что другие станции (B,C) могли бы осуществить передачу без коллизий
- От станции желающей передать фреймы данных (например STA B) посылается фрейм RTS (Request To Send). Фрейм RTS содержит такое поле Duration, чтобы станция могла послать RTS, принять от AP фрейм CTS (Clear To Send), отправить фрейм Data и принять ACK

NAV при резервировании среды



- Фрейм CTS, посылаемый AP также посылается через интервал SIFS, после принятия RTS. **Значение NAV в данном случае игнорируется.**
- Фрейм CTS получают все станции и увеличивают свой NAV настолько, чтобы станция B могла без коллизий передать данные и получить ACK

Фрагментация фреймов

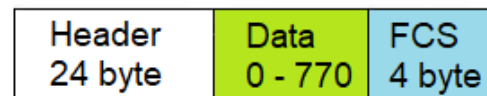
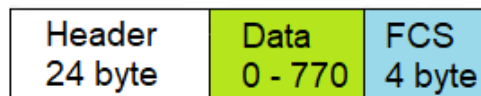
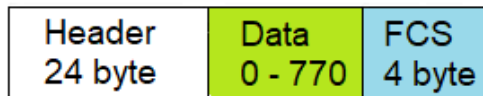
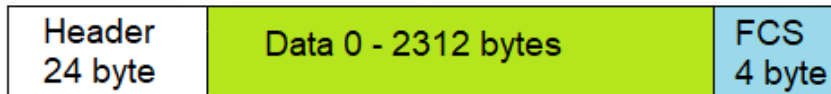
- Фрагментация фреймов выполняется на уровне MAC
- Назначение данной функции – повысить надежность передачи фрейма через среду
- Предполагается, что чем меньше размер фрейма, тем выше вероятность его передачи через зашумленную среду
- Получение каждого фрагмента фрейма подтверждается отдельно
- Ре-трансмиссия также производится фрагментами (если не получен ACK)
- Фрагменты фрейма передаются при помощи DCF, однако с использованием только одной итерации доступа к среде

Фрагментация увеличивает количество ACK фреймов и
вынуждает добавлять заголовки в каждый фрагмент

Как следствие, общая полоса для передачи данных уменьшается

Фрагментация фреймов

Фрагментация увеличивает количество АСК фреймов и вынуждает добавлять заголовки в каждый фрагмент. Тем самым полоса для передачи уменьшается



Размер фрагментов задается при конфигурировании AP на уровне RF Networks – Fragment Threshold (т.е. на MAC подуровне)



MAC подуровень 802.11

MAC и PHY подуровень

Физический уровень 802.11

Физический уровень стандарта 802.11 содержит три функциональные единицы

Physical Media-Depended System (PMD System)

Physical Layer Convergence Procedure (PLCP System)

Layer Management Function

Physical Media-Depended System (PMD System)

На физическом уровне происходит обмен PHY Protocol Data Units (PPDUs), которые содержат MSDU и дополнительный Header, который содержит информацию для приемника и передатчика 802.11

$$\text{PPDU} = \text{MSDU} + \text{PLCP Header}$$

PMD System определяет характеристики и методы передачи данных через среду между двумя и более STA, использующие одинаковые PHY system (одинаковые радио-интерфейсы)

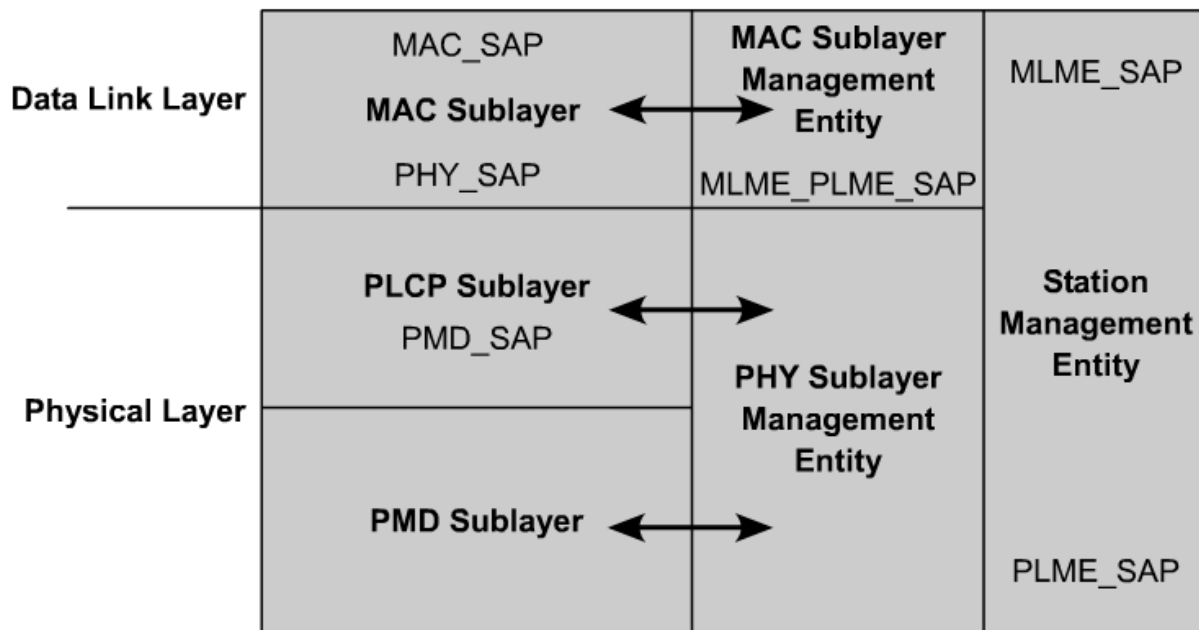
Связь между PMD и PLCP обеспечивается через PMD SAP (Service Access Point)

PMD передает в виде потока бит примитивы PPDU, которые были преобразованы подуровнем PLCP из MSDU путем добавления заголовка (преамбулы)

Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)

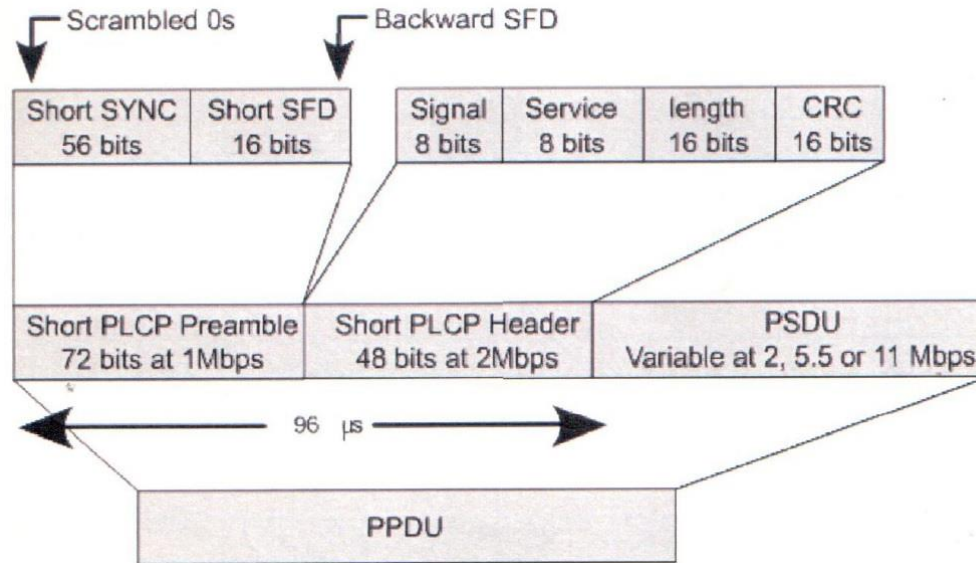
PLCP, PHY Convergence Procedure, адаптирует возможности PMD System для MAC-сервисов

PLCP определяет метод mapping а MSDU в формат примитивов физического уровня, которые подходят для передачи и приема станциями 802.11



PLCP PDU формат 802.11b DSSS

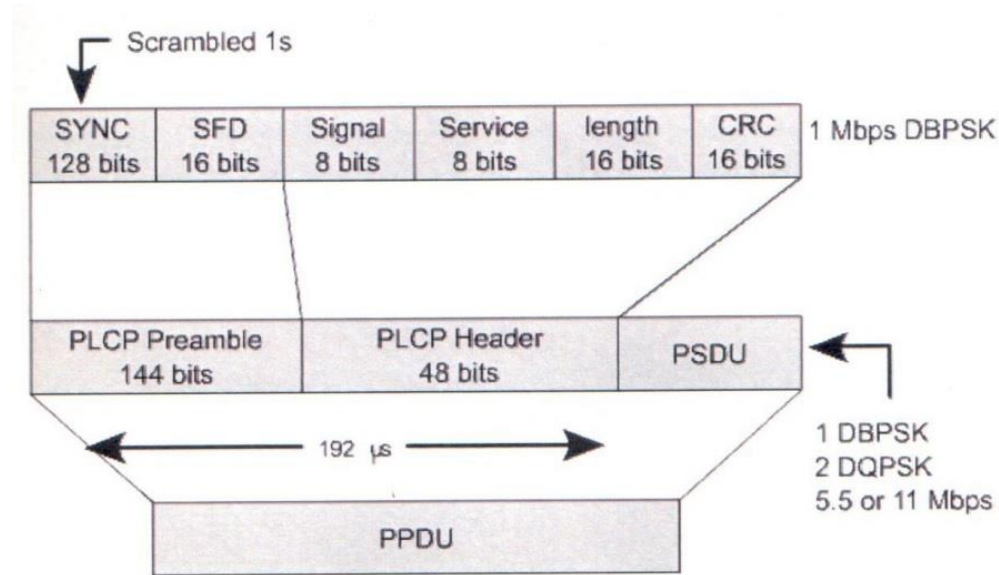
Короткая преамбула 72 bits



Используется в сетях 802.11b DSSS

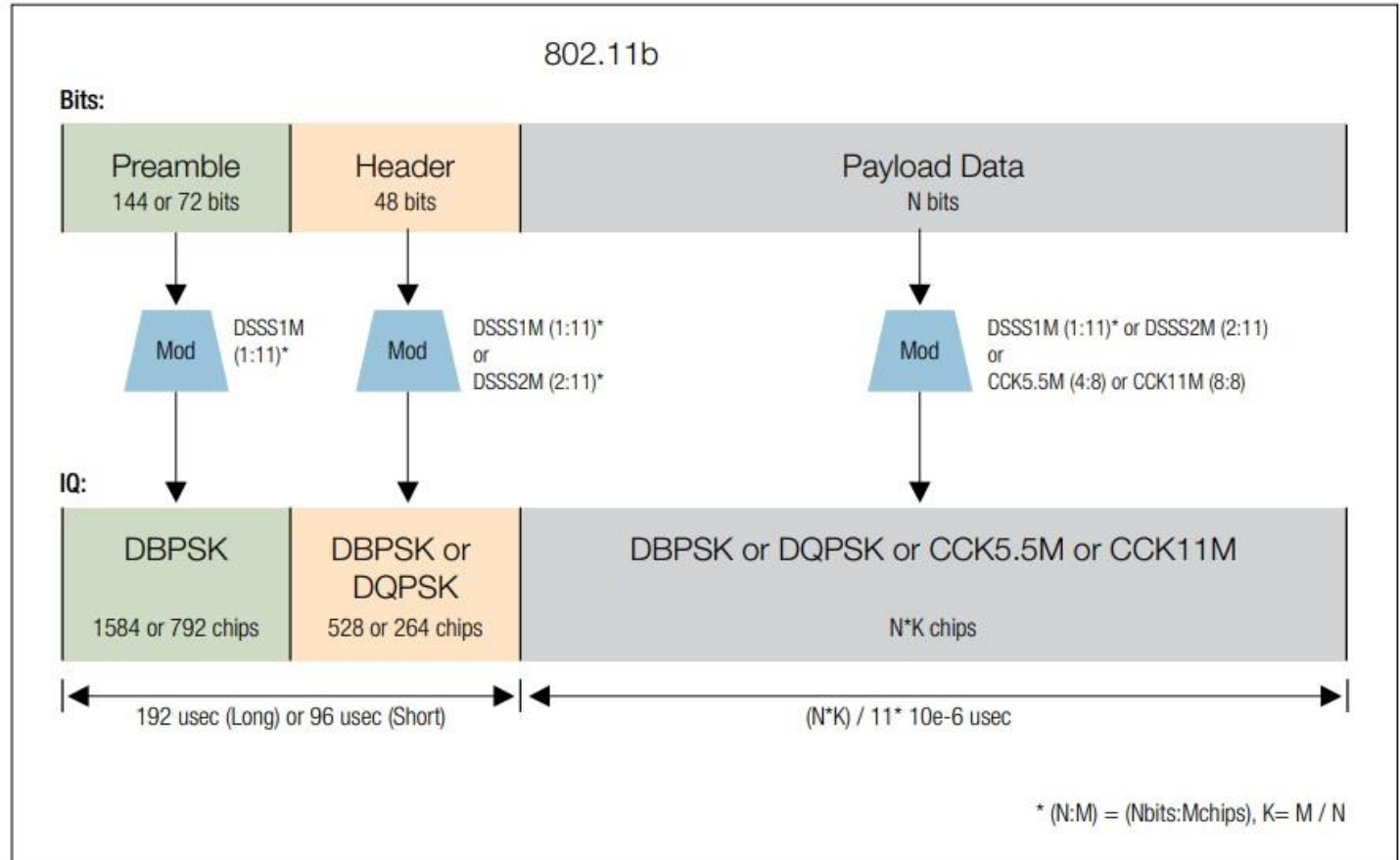
PLCP PPDU формат 802.11b HR/DSSS

Длинная преамбула 144 bits

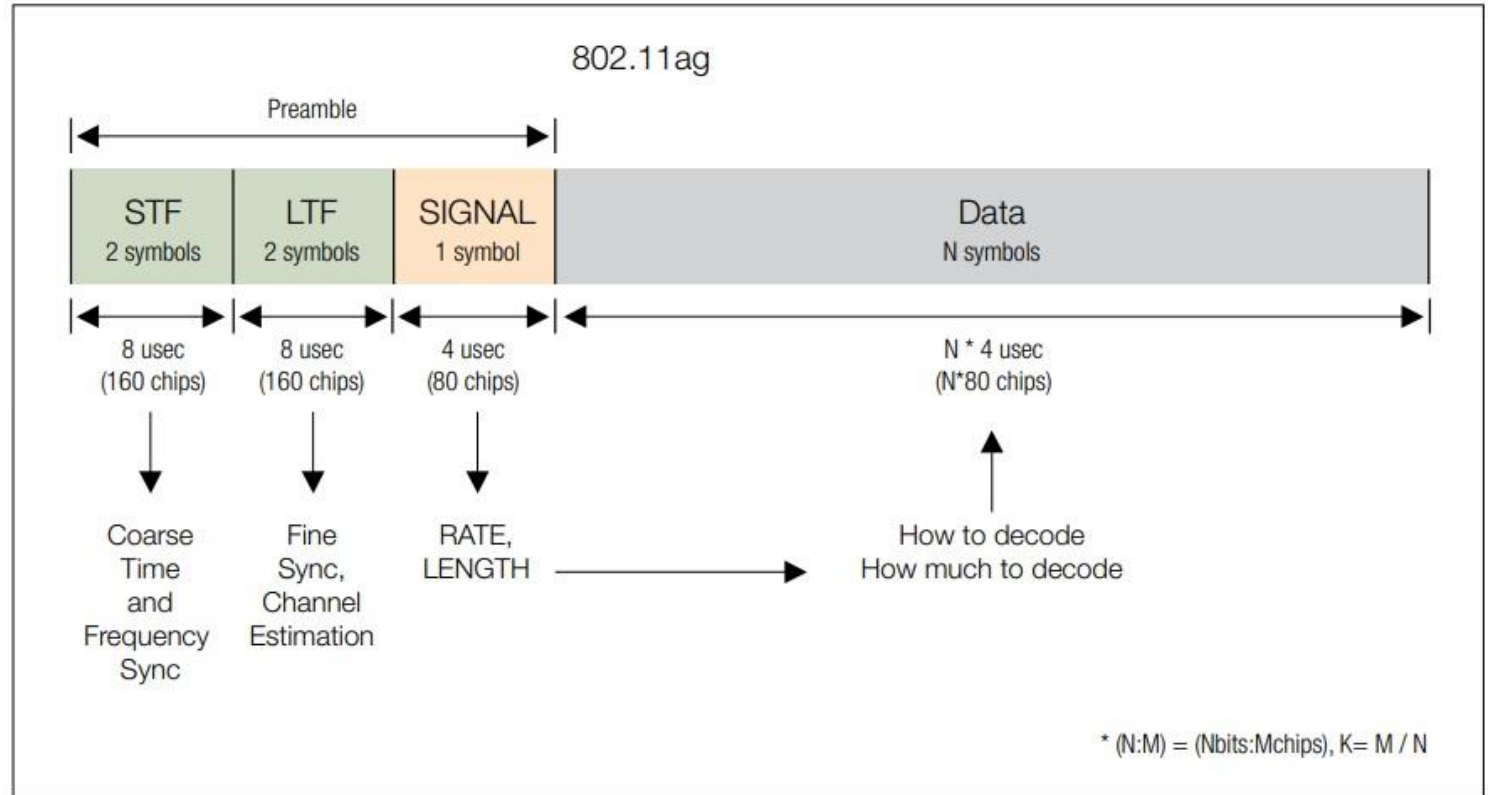


Используется в сетях 802.11b HR/DSSS

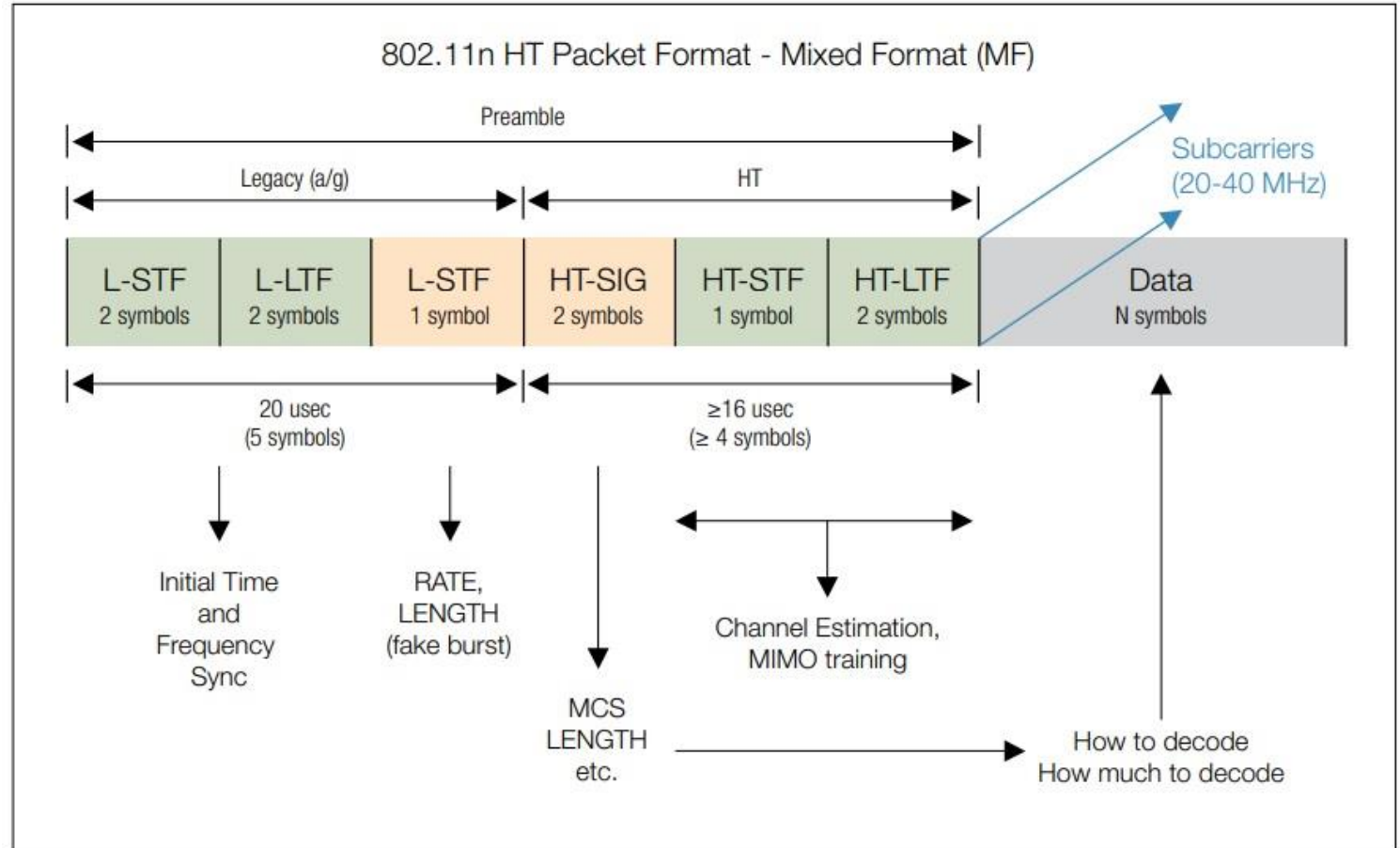
PPDU 802.11b DSSS



PPDU 802.11a/g OFDM



PPDU 802.11n OFDM



DIFS и Slot time 802.11

Standard	Slot time (μ s)	DIFS (μ s)
IEEE 802.11-1997 (FHSS)	50	128
IEEE 802.11-1997 (DSSS)	20	50
IEEE 802.11b	20	50
IEEE 802.11a	9	34
IEEE 802.11g	9 or 20	28 or 50
IEEE 802.11n (2.4 GHz)	9 or 20	28 or 50
IEEE 802.11n (5 GHz)	9	34
IEEE 802.11ac (5 GHz)	9	34



Благодарю за внимание!

Кафедра телекоммуникаций
Кампус на проспекте Вернадского 78
Аудитории: Д-321, Б-216-б
Телефон: +7 (495) 987-47-17
E-mail: wlan@mirea.ru