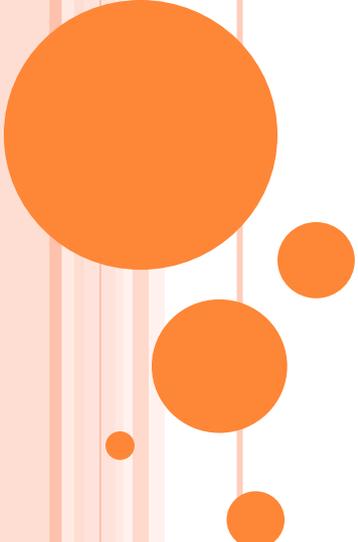


Александр Масальских

rusalmas@gmail.com



КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

Лекция №8

Беспроводные технологии передачи данных

БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ

- 90-е годы XIX века – первые эксперименты по передаче телеграфных сообщений с помощью радиосигналов.
- 20-е годы XX века – применение радио для передачи голоса.
- Мобильная беспроводная связь и фиксированная беспроводная связь.
- Середина 90-х годов XX века – появление технологий мобильных компьютерных сетей.
- Каждый узел оснащён антенной, которая соединена с приёмником и передатчиком.
- Антенны имеют разную диаграмму направленности.

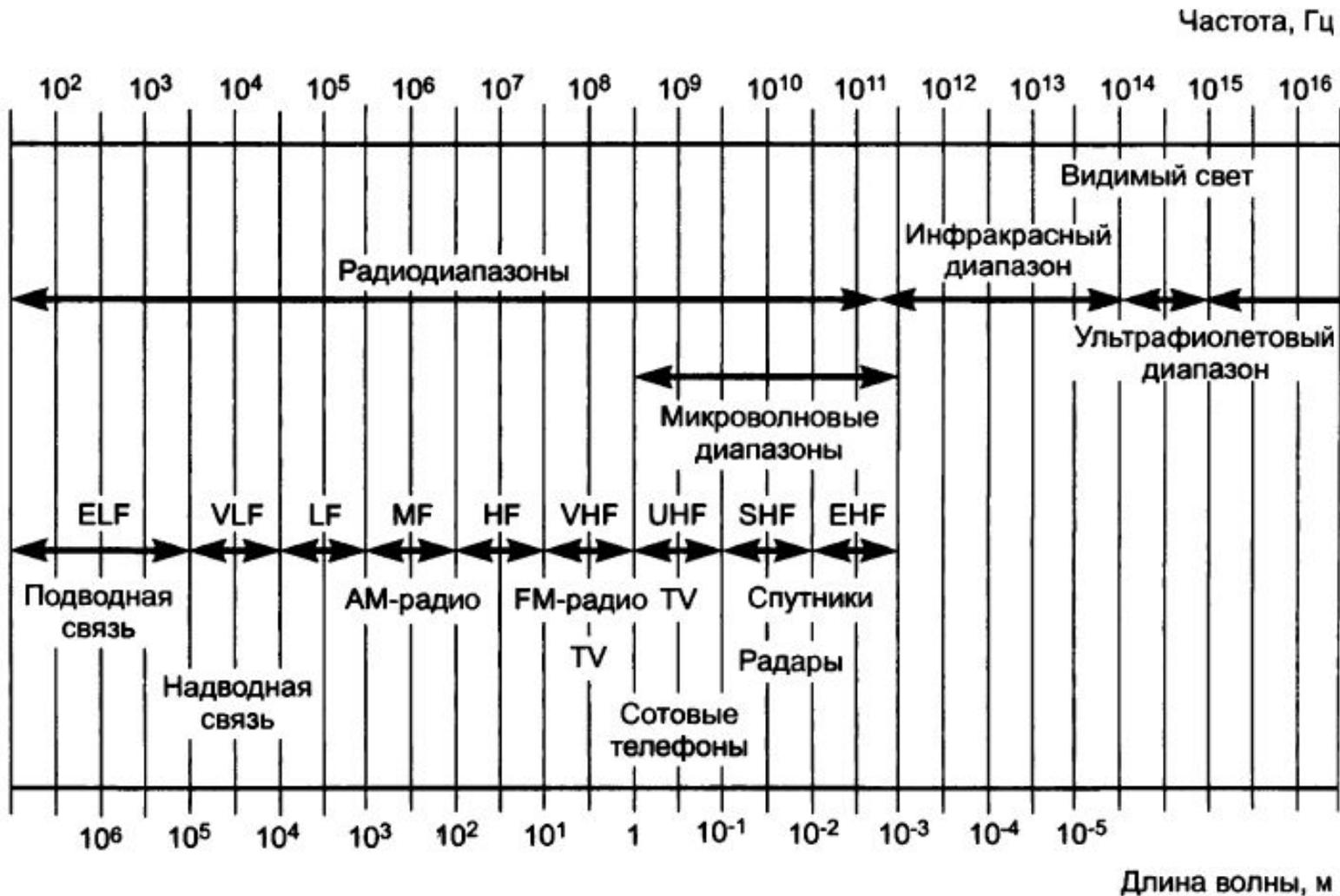


БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ

- Антенны делятся на направленные (Уда-Яги) и ненаправленные (например, изотропные)
- Электромагнитные волны, излучаемые идеальным излучателем распространяются во всём пространстве.
- Таким образом, пространство может считаться разделяемой средой.
- Беспроводная среда является ненаправленной.



ДИАПАЗОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА



ДИАПАЗОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА

- 0 – 300 ГГц радиодиапазон (в терминах ИТУ)
- 200 кГц – 300 МГц ширококвещательное радио
- Микроволновые системы
- Системы инфракрасных волн
- Системы видимого света



INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION (ITU) BAND DESIGNATIONS

BAND NUMBER	FREQUENCY RANGE	DESIGNATIONS
2	30 Hz - 300 Hz	ELF (Extremely Low Frequencies)
3	0.3 kHz - 3 kHz	VF (Voice Frequencies)
4	3 kHz - 30 kHz	VLF (Very Low Frequencies)
5	30 kHz - 300 kHz	LF (Low Frequencies)
6	0.3 MHz - 3 MHz	MF (Medium Frequencies)
7	3 MHz - 30 MHz	HF (High Frequencies)
8	30 MHz - 300 MHz	VHF (Very High Frequencies)
9	300 MHz - 3 GHz	UHF (Ultrahigh Frequencies)
10	3 GHz - 30 GHz	SHF (Superhigh Frequencies)
11	30 GHz - 300 GHz	EHF (Extremely High Frequencies)
12	0.3 THz - 3 THz	Infrared Light
13	3 THz - 30 THz	Infrared Light
14	30 THz - 300 THz	Infrared Light
15	0.3 PHz - 3 PHz	Visible Light
16	3 PHz - 30 PHz	Ultraviolet Light
17	30 PHz - 300 PHz	X Rays
18	0.3 EHz - 3 EHz	Gamma Rays
19	3 EHz - 30 EHz	Cosmic Rays

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭМ ВОЛН

- Чем выше несущая частота, тем выше возможная скорость передачи данных
- Чем выше частота, тем хуже сигнал проникает через препятствия. Для очень высоких частот и инфракрасного и видимого диапазона возможность передачи ограничивается зоной прямой видимости (Line Of Sight, LOS)
- Чем выше частота, тем быстрее убывает энергия сигнала от источника (в свободном пространстве пропорционально произведению квадрата расстояния на квадрат частоты)



РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭМ ВОЛН

- Низкие частоты (до 2 МГц) распространяются вдоль поверхности земли. Большая дальность.
- От 2 до 30 МГц отражаются от ионосферы (могут распространяться на ещё большую дальность).
- Свыше 30 МГц – сигналы прямой видимости. Свыше 40 ГГц – энергия сильно поглощается водой.
- Современные технологии требуют высокой скорости, следовательно высокие частоты.
- Требуется учитывать переотражения в микроволновом диапазоне



РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭМ ВОЛН

- Дифракция – явление, которое проявляет себя как отклонение от законов геометрической оптики при распространении волн. Она представляет собой универсальное волновое явление и характеризуется одними и теми же законами при наблюдении волновых полей разной природы.
- если размер неоднородностей среды много меньше длины волны, то в таком случае дифракция проявляет себя в виде эффекта рассеяния волн.



РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭМ ВОЛН

- Эффект многолучевого распространения сигнала (отраженный сигнал может прийти в обратной фазе и подавить основной).
- Эффект межсимвольной интерференции.
- Многолучевое замирание (multipath fading) или интерференционное замирание. В городах многолучевое замирание приводит к ослаблению сигнала, пропорционально не квадрату расстояния, а кубу или четвертой степени.



СОЕДИНЕНИЯ ТОЧКА-ТОЧКА

- Радиорелейные линии связи (РРЛ) – один из видов радиосвязи, образованной цепочкой приёмо-передающих (ретрансляционных) радиостанций. Наземная радиорелейная связь осуществляется обычно на деци- и сантиметровых волнах (от сотен мегагерц до десятков гигагерц).
- По назначению радиорелейные системы связи делятся на три категории, каждой из которых на территории России выделены свои диапазоны частот:
 1. местные линии связи от 0,39 ГГц до 40,5 ГГц
 2. внутризонавые линии от 1,85 ГГц до 15,35 ГГц
 3. магистральные линии от 3,4 ГГц до 11,7 ГГц



Соединения точка-точка



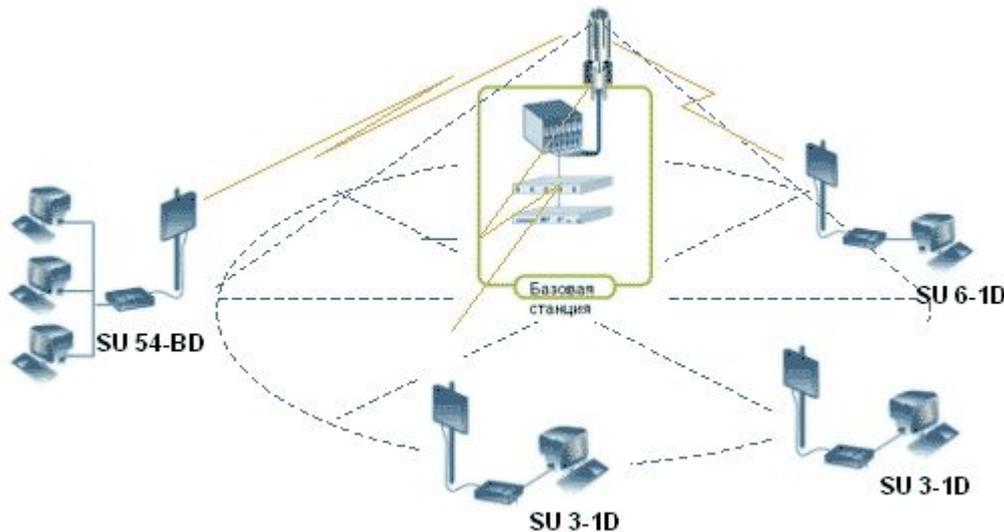
СОЕДИНЕНИЯ ТОЧКА-ТОЧКА

- Соединения точка-точка двух станций посредством инфракрасного диапазона (ИК-порт) или посредством микроволнового диапазона.
- Соединения посредством атмосферных лазеров.

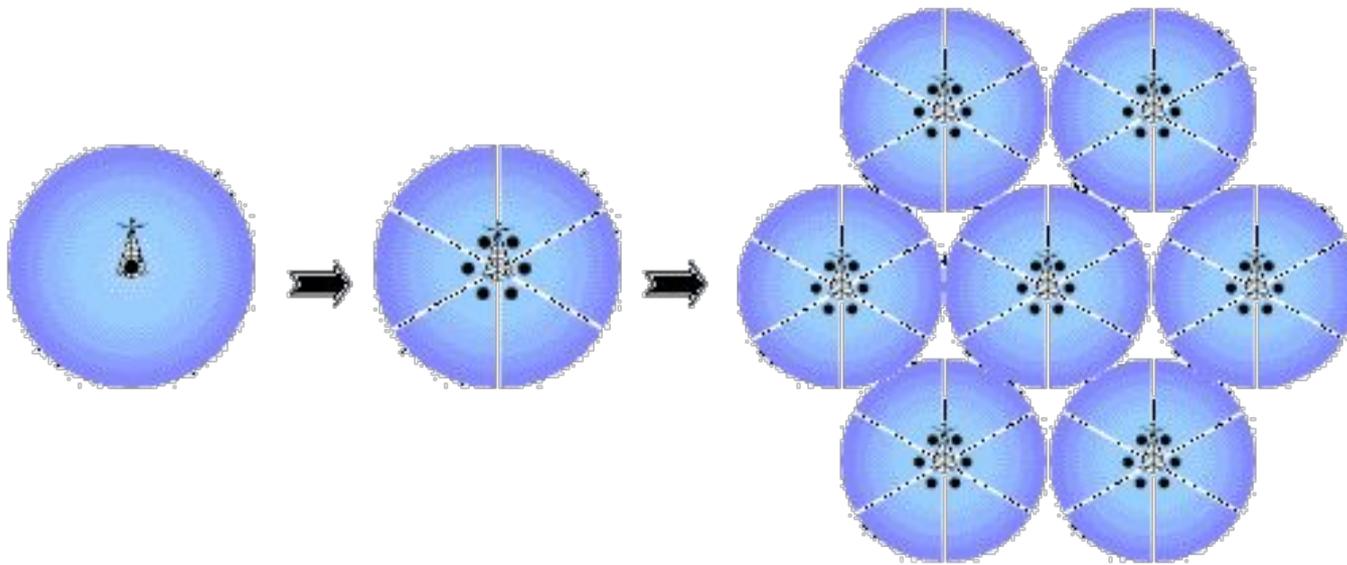


Соединения POINT-TO-MULTIPOINT

- Один источник и несколько приемников. Источник называют базовой станцией (Base Station, BS).
- Такая схема используется как для мобильного, так и фиксированного доступа.
- Разбиение пространства на сектора или соты.



Соединения POINT-TO-MULTIPOINT



СОЕДИНЕНИЯ MULTIPOINT-TO-MULTIPOINT

- Сразу все станции в беспроводной сети являются и приёмниками и передатчиками.
- Единая базовая станция отсутствует.
- Требуется распределённый алгоритм доступа к разделяемой среде.
- Первая сеть, построенная по такой архитектуре — АЛОНА
- Микроволновой и инфракрасный диапазоны



СПУТНИКИ СВЯЗИ

- 1957 год – первый искусственный спутник земли (СССР)
- 1962 год – первый телекоммуникационный спутник (600 каналов связи, США)
- 1965 год – первый советский спутник связи Молния-1-01
- Орбиты:
 - Геостационарная (GEO) 35863 км
 - Средневысотная (MEO) 5000 – 15000 км
 - Маловысотная (LEO) 100 – 1000 км



СПУТНИКИ СВЯЗИ.

ГЕОСТАЦИОНАРНАЯ ОРБИТА

- Максимально число спутников – 180.
- Высокое время задержки – 230 - 280 мс.
- Большие потери
- Постоянное положение (легко направлять антенны наземных станций)
- Большая область постоянного покрытия
- Плохое покрытие широт, близких к полюсам
- Солнечная интерференция



СПУТНИКИ СВЯЗИ.

СРЕДНЕОРБИТАЛЬНЫЕ СПУТНИКИ

- Диаметр покрытия от 10000 до 15000 км
- Задержка 50 мс
- GPS (Global Positioning System): 31 спутник
- ГЛОНАСС: 31 спутник, 24 в работе



СПУТНИКИ СВЯЗИ.

НИЗКООРБИТАЛЬНЫЕ СПУТНИКИ

- Диаметр покрытия до 8000 км
- Задержка 20-25 мс
- Трение атмосферы – малый срок службы
- Iridium, Globalstar
- Период оборота всего 1.5-2 часа
- Время видимости наземной станцией – всего 20 минут



СПУТНИКИ СВЯЗИ. ДИАПАЗОНЫ

Диапазон	Частоты (согласно ITU-R V.431-6)	Применение
L	1.5 ГГц	Подвижная спутниковая связь
S	2.5 ГГц	Подвижная спутниковая связь
C	4 ГГц, 6 ГГц	Фиксированная спутниковая связь
X	Для спутниковой связи рекомендациями ITU-R частоты не определены. Для приложений радиолокации указан диапазон 8-12 ГГц.	Фиксированная спутниковая связь (для военных целей)
Ku	11 ГГц, 12 ГГц, 14 ГГц,	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
K	20 ГГц.	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
Ka	30 ГГц.	Фиксированная спутниковая связь, межспутниковая связь



ТЕХНОЛОГИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

- Технология расширенного спектра разработана специально для беспроводной передачи.
- Позволяет повысить помехоустойчивость кода для сигналов малой мощности.
- Применяются так же FSK и PSK
- Широкая полоса пропускания позволяет также применять модуляцию с несколькими несущими (когда общая полоса пропускания делится на несколько подканалов, каждый из которых имеет свою несущую частоту). Модуляция выполняется с помощью обычных PSK FSK. Ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM)

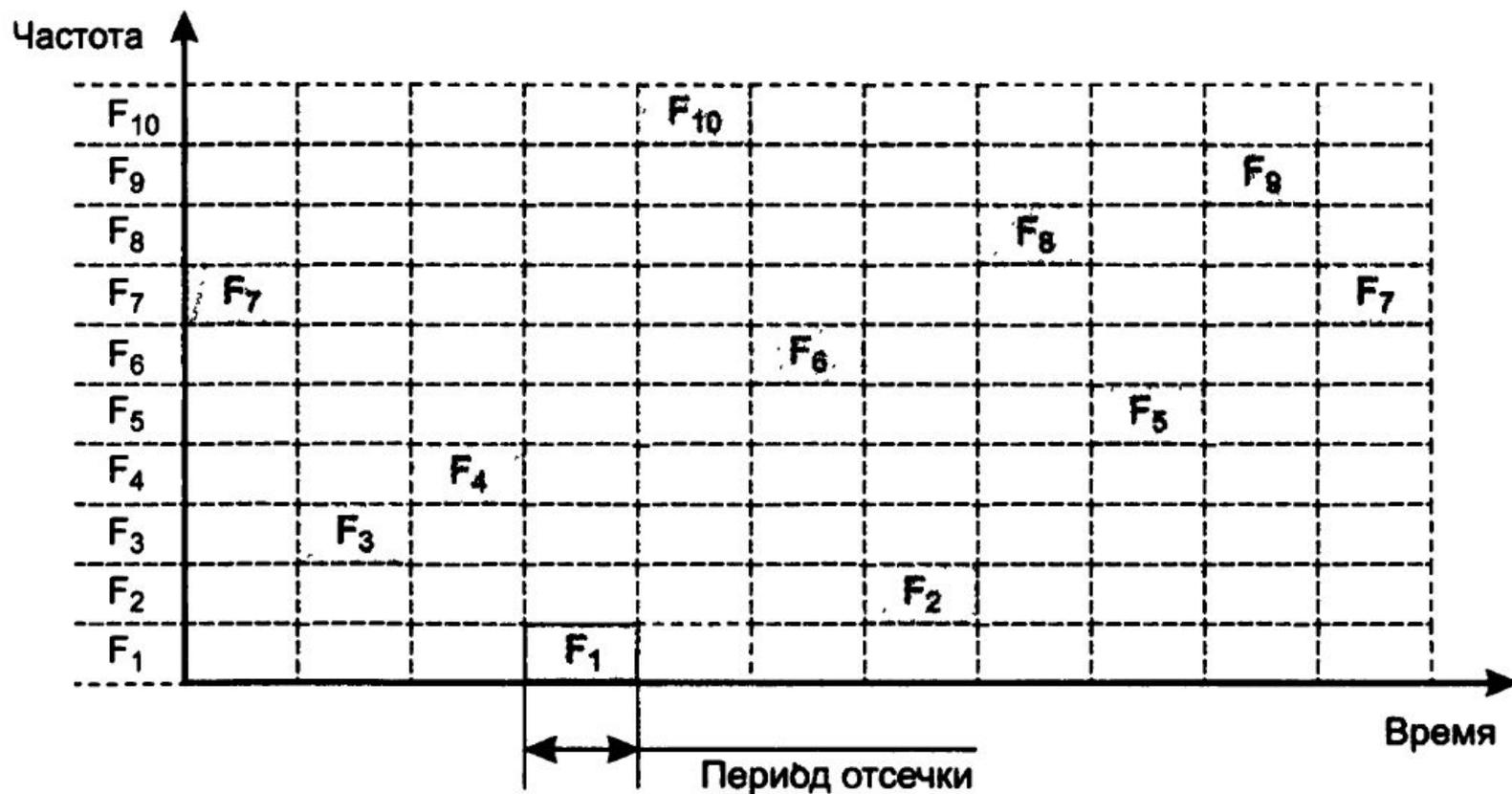


РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА СКАЧКООБРАЗНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТ

- Псевдослучайная последовательность зависит от начального числа
- Если частота смены подканалов ниже, чем скорость передачи данных, то режим называют медленным расширением спектра
- Если частота смены подканалов выше скорости передачи данных, режим называют быстрым расширением спектра.
- Метод быстрого расширения более устойчив к помехам, нет эффекта межсимвольной интерференции



РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА СКАЧКООБРАЗНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТ



Последовательность перестройки частот: $F_7-F_3-F_4-F_1-F_{10}-F_6-F_2-F_8-F_5-F_9$

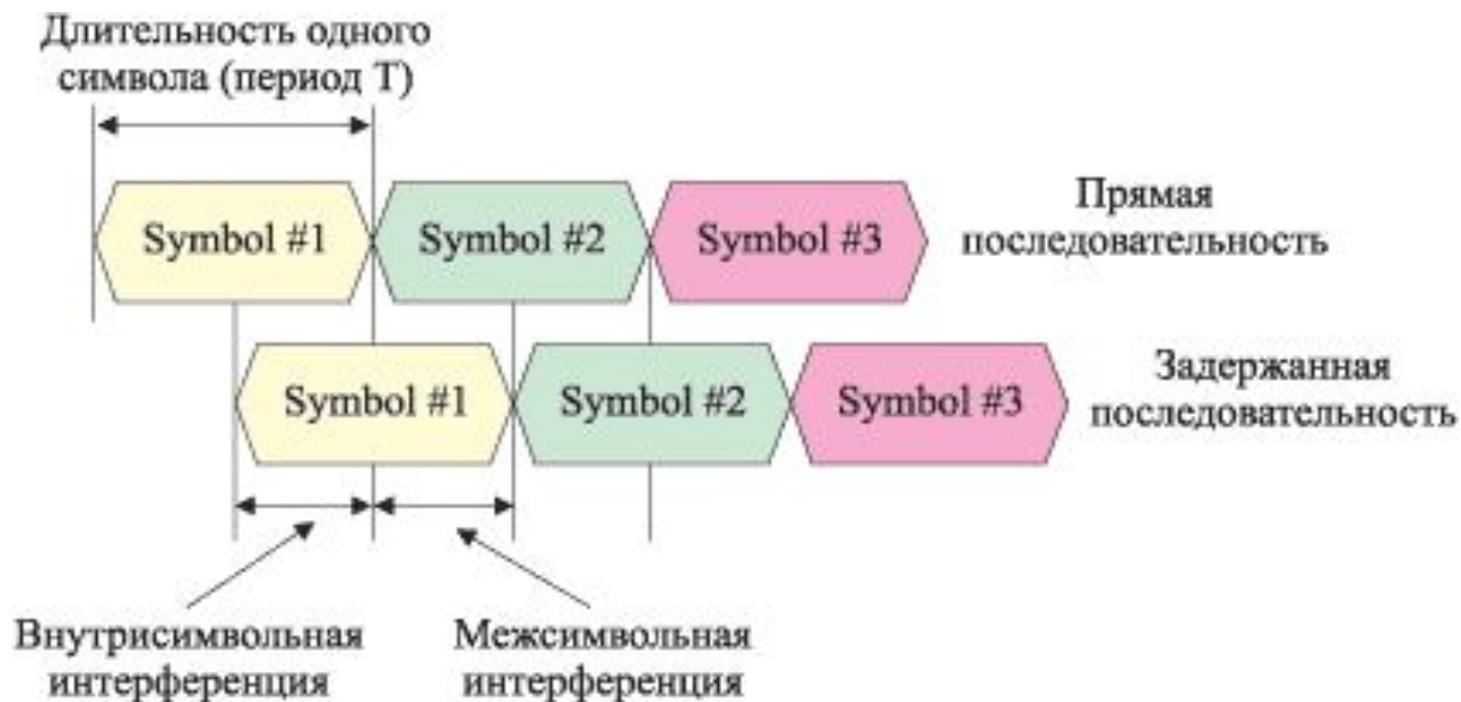


РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА СКАЧКООБРАЗНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТ

- Метод расширения спектра скачкообразной перестройкой частот (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)
- В течении определенного фиксированного интервала ведётся передача на неизменной несущей частоте
- На каждой несущей для передачи применяются стандартные методы манипуляции (FSK PSK)
- Несущая частота меняется в соответствии с номерами частотных подканалов, вырабатываемых алгоритмом псевдослучайных чисел.



РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА СКАЧКООБРАЗНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТ



РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА СКАЧКООБРАЗНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТ

- Метод медленного расширения спектра не обладает таким свойством, но прост в реализации и имеет меньшие накладные расходы.
- FHSS используется в 802.11 и Bluetooth
- При использовании FHSS можно использовать мультиплексирование по частоте, путём особого подбора псевдослучайных последовательностей.



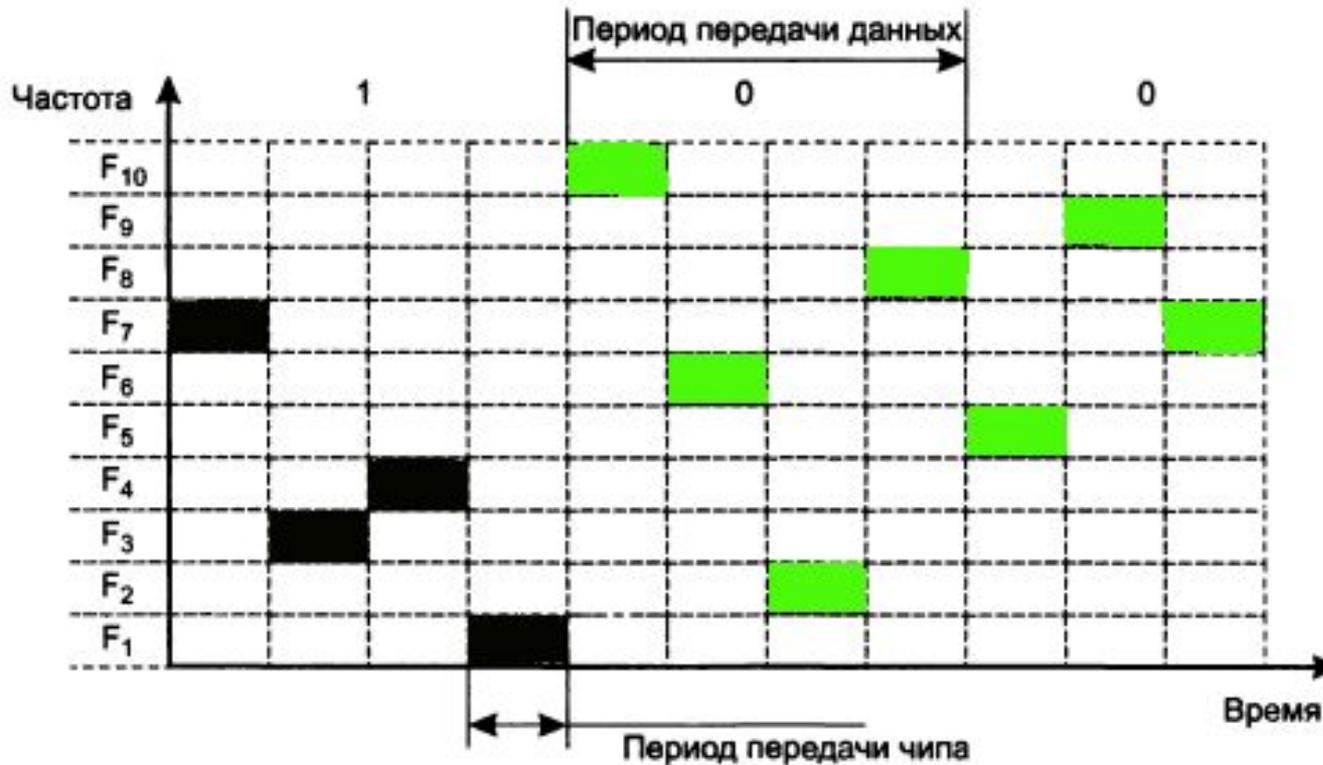
МЕДЛЕННОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА



- Сигнал двоичного нуля
- Сигнал двоичной единицы



БЫСТРОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА



- Сигнал двоичного нуля
- Сигнал двоичной единицы

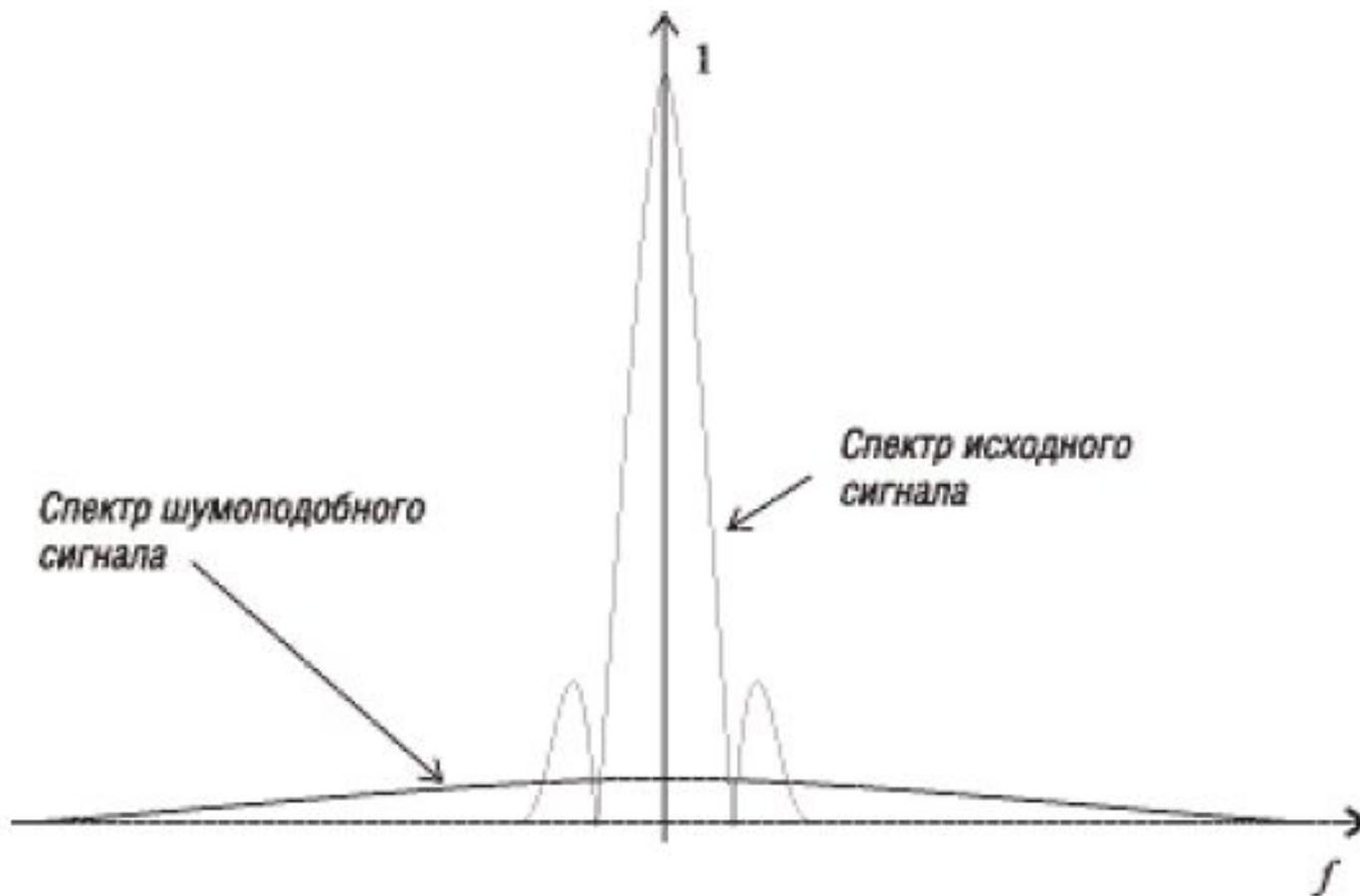


ПРЯМОЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА

- Метод прямого последовательного расширения спектра (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)
- Каждый бит информации заменяется N битами
- Цель DSSS – повышение помехоустойчивости



ПРЯМОЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА



ПРЯМОЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА

- Код, которым заменяется бит исходной информации называется расширяющей последовательностью
- Каждый бит такой последовательности называется чипом
- Скорость передачи расширяющей последовательности называют чиповой скоростью
- Количество битов в расширяющей последовательности называют коэффициентом расширения



АВТОКОРРЕЛЯЦИЯ

- Автокорреляция — статистическая взаимосвязь между случайными величинами из одного ряда, но взятых со сдвигом, например, для случайного процесса — со сдвигом по времени.
- Автокорреляционная функция (АКФ, АСФ).
- В обработке сигналов автокорреляционная функция (АКФ) определяется интегралом:

$$\Psi(\tau) = \int f(t) f(t - \tau) dt$$

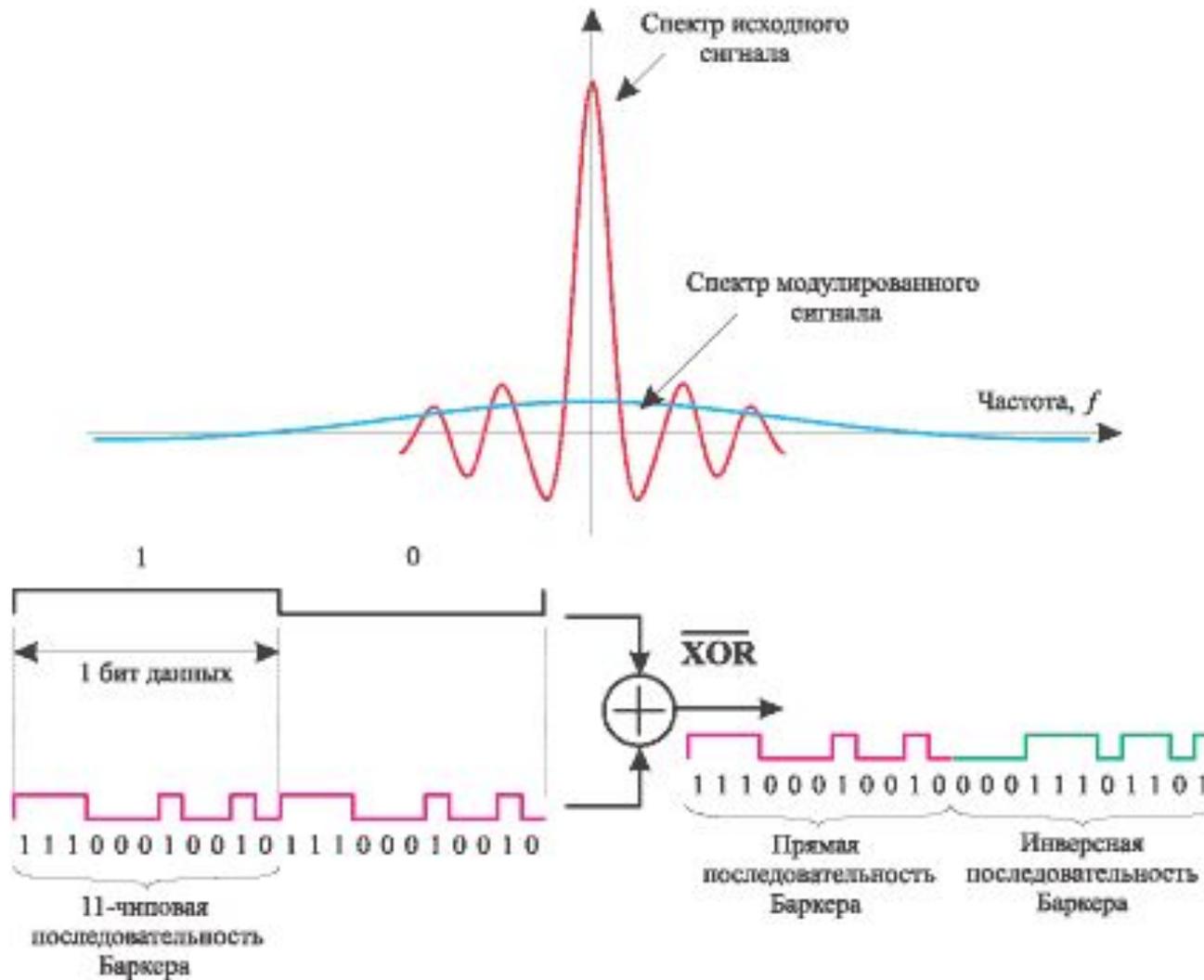


АВТОКОРРЕЛЯЦИЯ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ БАРКЕРА

- Можно подобрать псевдослучайную последовательность, для которой автокорреляционная функция будет иметь ярко выраженный пик только в 1 момент времени
- Одна из таких последовательностей – последовательность Баркера, состоящая из 11 чипов: 10110111000
- Коды Баркера обладают наилучшими среди известных псевдослучайных последовательностей свойствами шумоподобности, что и обусловило их широкое применение. Для передачи единичного и нулевого символов сообщения используются соответственно прямая и инверсная последовательности.



Последовательность Баркера



АВТОКОРРЕЛЯЦИЯ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ БАРКЕРА

Сдвиг	Последовательность											Результат корреляции
0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	
1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	-1
2	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	-1
3	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	-1
4	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	-1
5	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	-1
6	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	-1
7	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	-1
8	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	-1
9	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	-1
10	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	-1
11	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	11



АВТОКОРРЕЛЯЦИЯ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ БАРКЕРА

- Основной смысл использования кодов Баркера заключается в том, чтобы, имея возможность передавать сигнал практически на уровне помех, гарантировать высокую степень достоверности принимаемой информации.
- Как известно, радиоволны приобретают способность переносить информацию в том случае, если они определенным образом модулируются.
- При этом необходимо, чтобы модуляция синусоидального несущего сигнала соответствовала требуемой последовательности информационных бит.

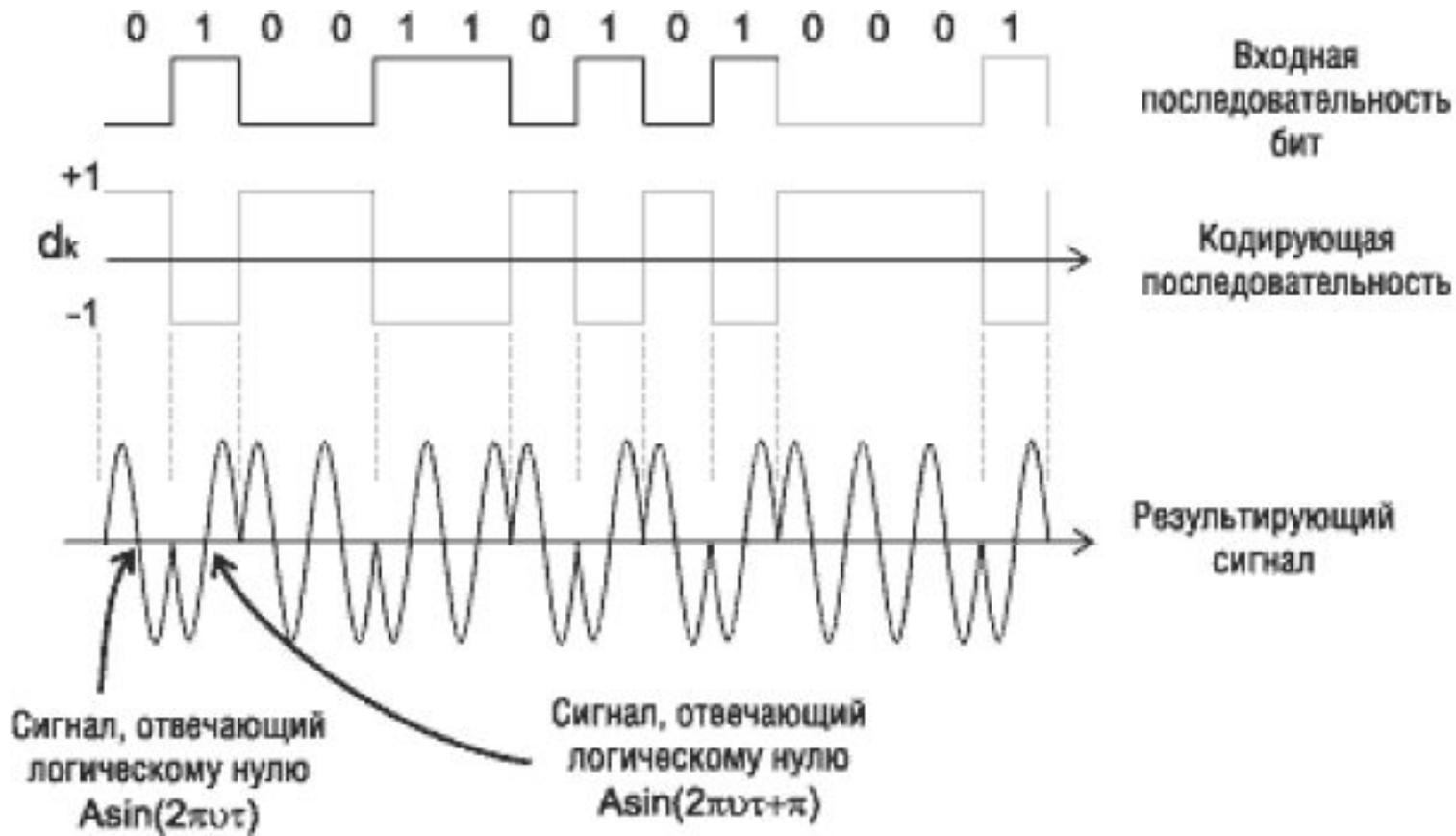


ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. BPSK DPSK

- Если изменение фазы может принимать всего два значения, то говорят о двоичной фазовой модуляции (Binary Phase Shift Key, BPSK).
- Реализация синхронной передачи достаточно сложна, поэтому более широкое распространение получила разновидность фазовой модуляции, называемая относительной фазовой модуляцией (Differential Phase Shift Keying, DPSK). При относительной фазовой модуляции кодирование информации происходит за счет сдвига фазы по отношению к предыдущему состоянию сигнала. Фактически приемник должен улавливать не абсолютное значение фазы принимаемого сигнала, а лишь изменение этой фазы. То есть информация кодируется изменением фазы.
- Естественно, такая модуляция уже не является синхронной и проще реализуется. Во всем остальном DPSK-модуляция не отличается от PSK-модуляции.



ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. BPSK



ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. DPSK

- Для технической реализации DPSK-модуляции входной поток информационных бит первоначально преобразуется, а затем подвергается обычной фазовой модуляции. Если необходимо, чтобы скачки по фазе происходили при появлении логического нуля, то преобразование исходной последовательности сводится к следующему: при появлении нуля происходит преобразование сигнала на инверсный, а при появлении единицы сигнал не меняется. Для примера рассмотрим преобразование 11-чиповой последовательности Баркера по описанному правилу



ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. DPSK

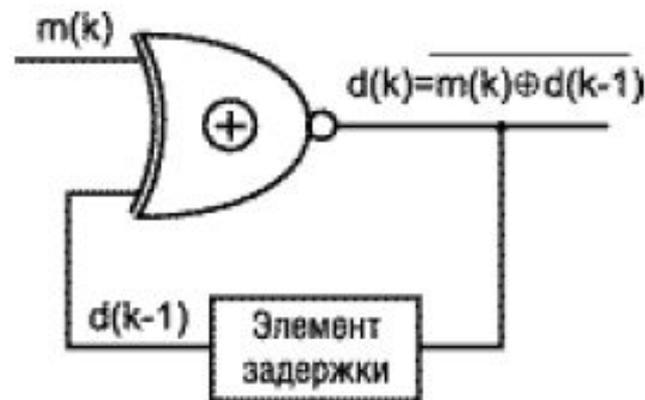
Исходная последовательность

1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0

Преобразованная последовательность

1 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1

- Данный алгоритм можно записать как логическую операцию неравнозначности над исходной последовательностью и преобразованной последовательностью, задержанной на один бит (смещенной по времени)

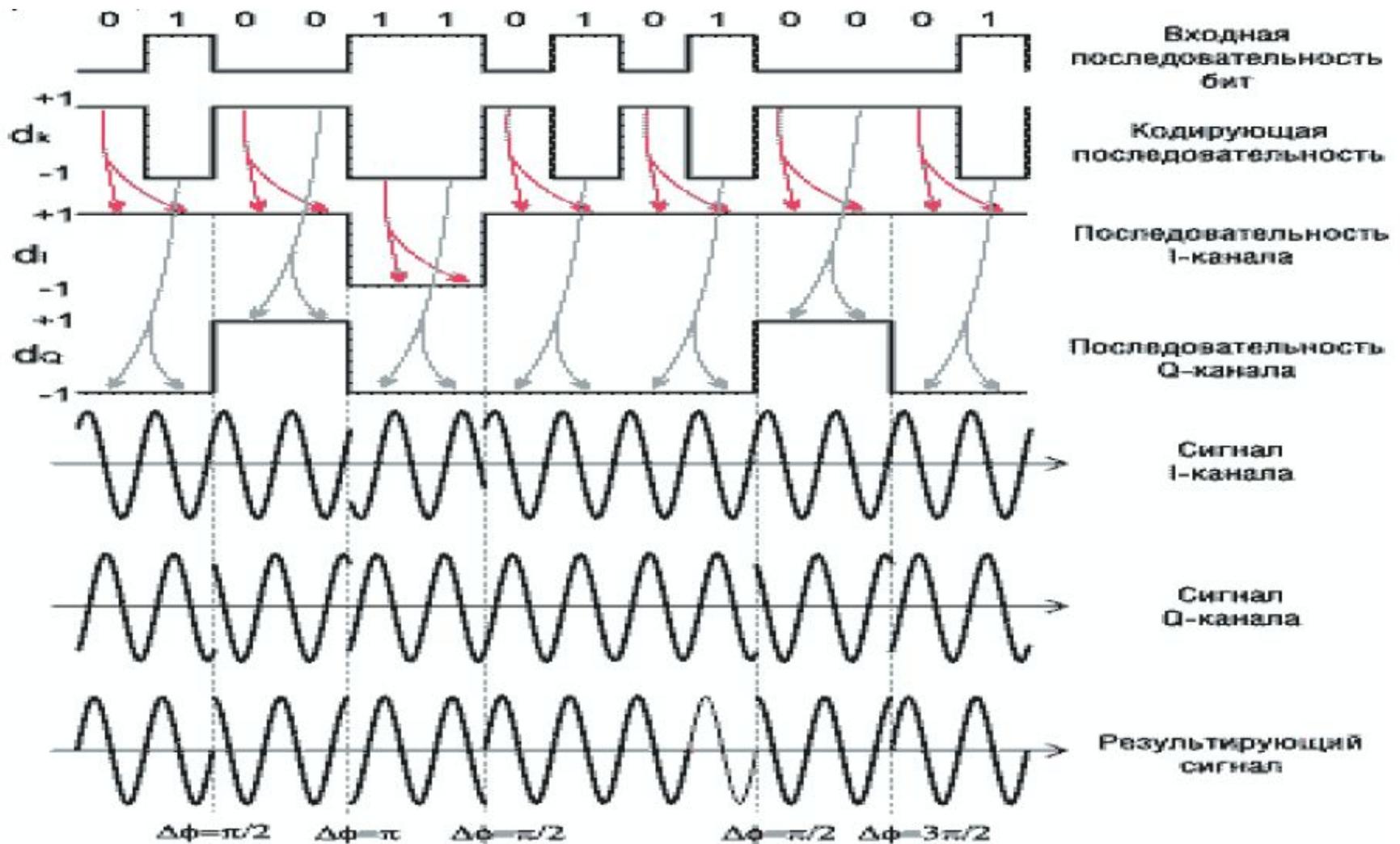


ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. QPSK

- Изменение фазы может иметь и более двух значений, например четыре (0, 90, 180 и 270°).
- В этом случае говорят о так называемой квадратурной фазовой модуляции (Quadrature Phase Shift Key, QPSK).



ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. QPSK



ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. QPSK

- При реализации квадратурной фазовой модуляции входной поток бит преобразуется в кодирующую последовательность $\{d_k\}$ так, что логическому нулю соответствует кодирующий бит $+1$, а логической единице — кодирующий бит -1 .
- После этого кодирующий поток разделяется на четные и нечетные биты. Четные биты поступают в I-канал, а нечетные — в Q-канал. Причем длительность каждого управляющего импульса d_i и d_q в два раза больше длительности исходного импульса d_k .



ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. QPSK

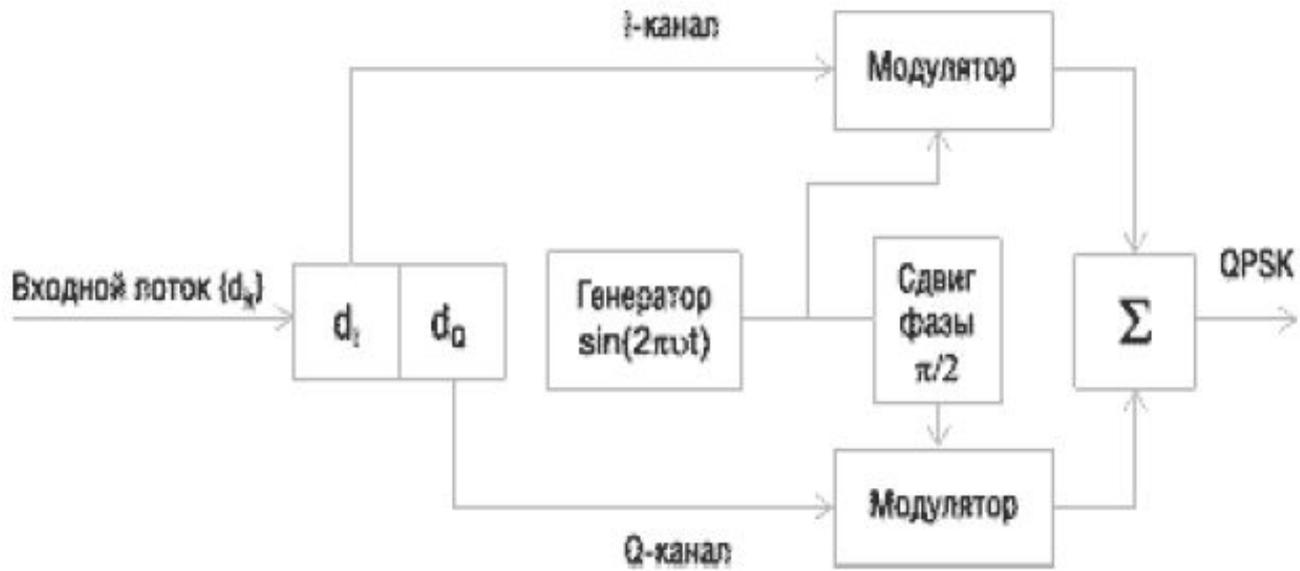
- Управляющие биты d_i модулируют по фазе сигнал

- а биты d_q модулируют ортогональный сигнал (смещенный по фазе на 90°), то есть

- После этого оба $\cos(2\pi ft + \pi / 4)$ аются и образуется модулированный сигнал



ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. QPSK



Фаза сигнала	d_i	d_q	Входной дибит
0°	+1	+1	00
90°	+1	-1	01
180°	-1	-1	11
270°	-1	+1	10



ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. OQPSK

- Один из недостатков связан с тем, что в случае квадратурной фазовой модуляции при одновременной смене символов в обоих каналах модулятора (с $+1, -1$ на $-1, +1$ или с $+1, +1$ на $-1, -1$) в сигнале QPSK происходит скачок фазы на 180° .
- Такие скачки фазы, имеющие место и при обыкновенной двухфазной модуляции, вызывают паразитную амплитудную модуляцию огибающей сигнала.
- В результате этого при прохождении сигнала через узкополосный фильтр возникают провалы огибающей до нуля. Такие изменения сигнала нежелательны, поскольку приводят к увеличению энергии боковых полос и помех в канале связи.



ФАЗОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ. OQPSK

- Для того чтобы избежать этого нежелательного явления, прибегают к так называемой квадратурной фазовой модуляции со сдвигом (Offset QPSK, OQPSK).
- При таком типе модуляции формирование сигнала в квадратурной схеме происходит так же, как и в модуляторе QPSK, за исключением того, что кодирующие биты в Q-канале имеют временную задержку на длительность одного элемента T .
- Изменение фазы при таком смещении кодирующих потоков определяется лишь одним элементом последовательности, а не двумя. В результате скачки фазы на 180° отсутствуют, поскольку каждый элемент последовательности, поступающий на вход модулятора синфазного или квадратурного канала, может вызвать изменение фазы на 0 , 90 или 270° (-90°).



КОДИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ КОДОВ, ССК

- В настоящей версии стандарта IEEE 802.11b используется несколько способов кодирования с использованием комплементарных кодов (Complementary Code Keying, ССК).
- Использование ССК-кодов позволяет кодировать 8 бит на один символ при скорости 11 Мбит/с и 4 бита на символ при скорости 5,5 Мбит/с. При этом сами кодовые последовательности являются 8-чиповыми и при скорости передачи 11 Мбит/с кодирование 8 бит на символ соответствует символьной скорости 1,385 мегасимволов в секунду ($11/8 = 1,385$).
- Аналогичная символьная скорость используется и при скорости передачи 5,5 Мбит/с, так как при такой скорости в одном символе кодируется только 4 бита.



КОДИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ КОДОВ, ССК

- Особый интерес представляют сами ССК-последовательности. Прежде всего определим, что следует называть ССК последовательностью.
- Для двух ССК-последовательностей равной длины сумма их автокорреляционных функций для любого циклического сдвига, отличного от нуля, всегда равна нулю.



КОДИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ КОДОВ, ССК

Сдвиг	Первая последовательность								$c(j)$	Вторая последовательность								$d(j)$	$c(j)+d(j)$
0	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	8	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	8	16
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	0	0
2	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0	0
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-4	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	4	0
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	0	0
5	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-4	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	4	0
6	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	0	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	0	0
7	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	0	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	0	0

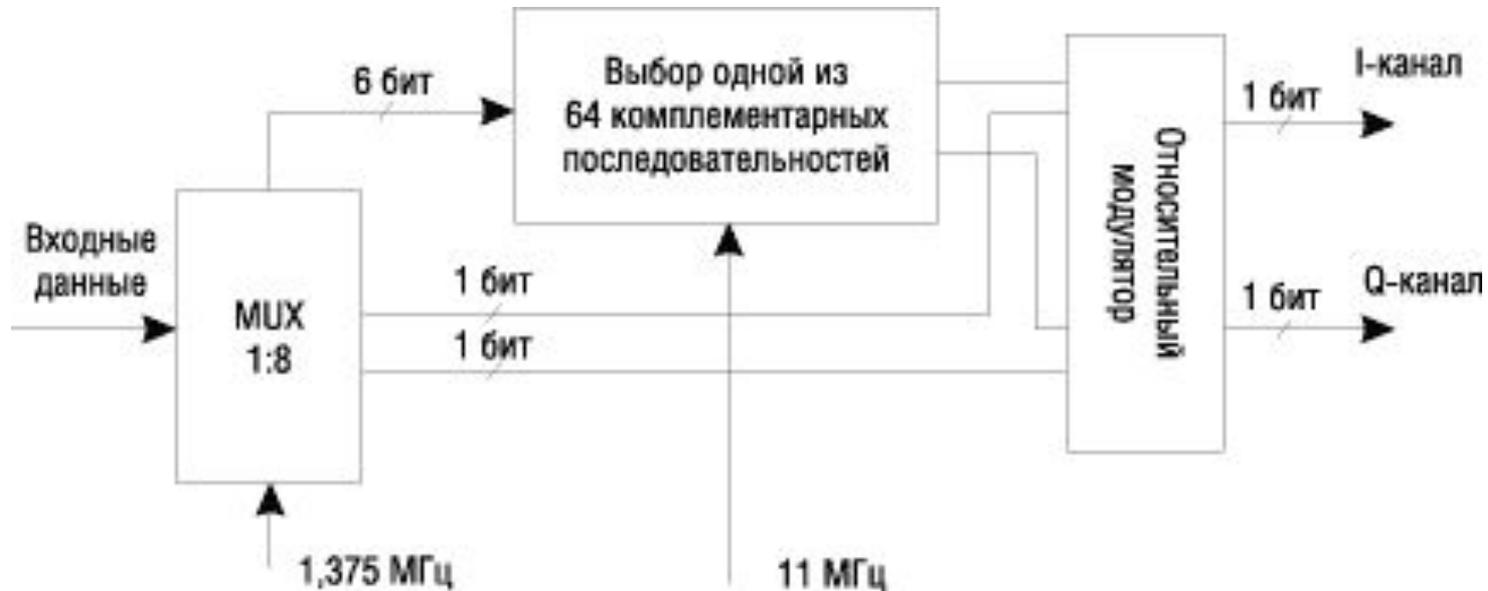


КОДИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ КОДОВ, ССК

- В стандарте IEEE 802.11b речь идет как раз о таких комплексных комплементарных последовательностях, содержащих элементы с четырьмя различными фазами, то есть о комплементарных последовательностях, определенных на множестве комплексных элементов $\{1, -1, j, -j\}$.
- Сами комплементарные последовательности, как и прежде, используются для уширения спектра сигнала (DSSS) и являются 8-чиповыми. Скорость передачи при этом составляет 11 Мчип/с, что дает скорость 1,375 мегасимволов в секунду. При этом ширина спектра сигнала, как и при использовании последовательностей Баркера, составляет 22 МГц, что позволяет использовать в частотном диапазоне от 2,4 до 2,4835 ГГц три неперекрывающиеся частотные полосы.



КОДИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ КОДОВ, ССК



МНОЖЕСТВЕННЫЙ ДОСТУП С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ

- Code Division Multiplexing Access, CDMA.
- Каждый узел сети, работающий по CDMA посылает данные, когда ему нужно, но используя при этом собственные значения расширяющей последовательности.
- Чтобы получить сигнал от определенной станции, демодулятор скалярно умножает суммарный вектор принятых сигналов на вектор значения расширяющей последовательности нужной станции.



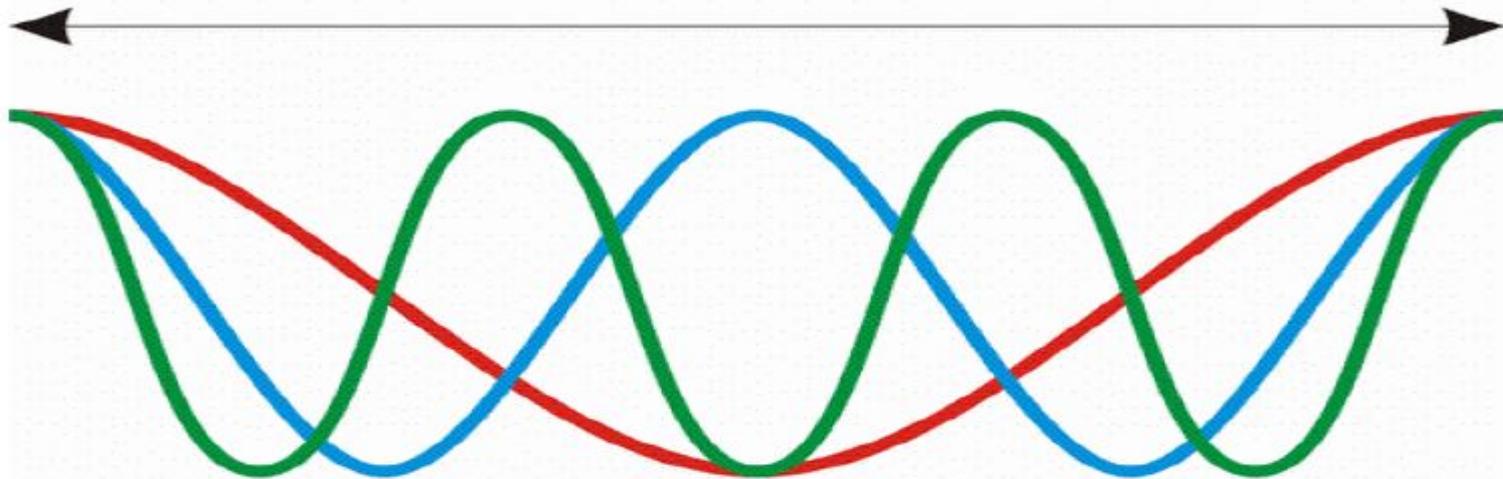
OFDM

- Метод мультиплексирования с разделением на ортогональные несущие.
- Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM
- Для его реализации в передающих устройствах используется обратное быстрое преобразование Фурье (IFFT), переводящее предварительно мультиплексированный на N -каналов сигнал из временного представления в частотное.



OFDM

Длительность одного символа



$$\int_0^T \sin 2\pi f_l t \sin 2\pi f_k t dt = 0, k \neq l$$

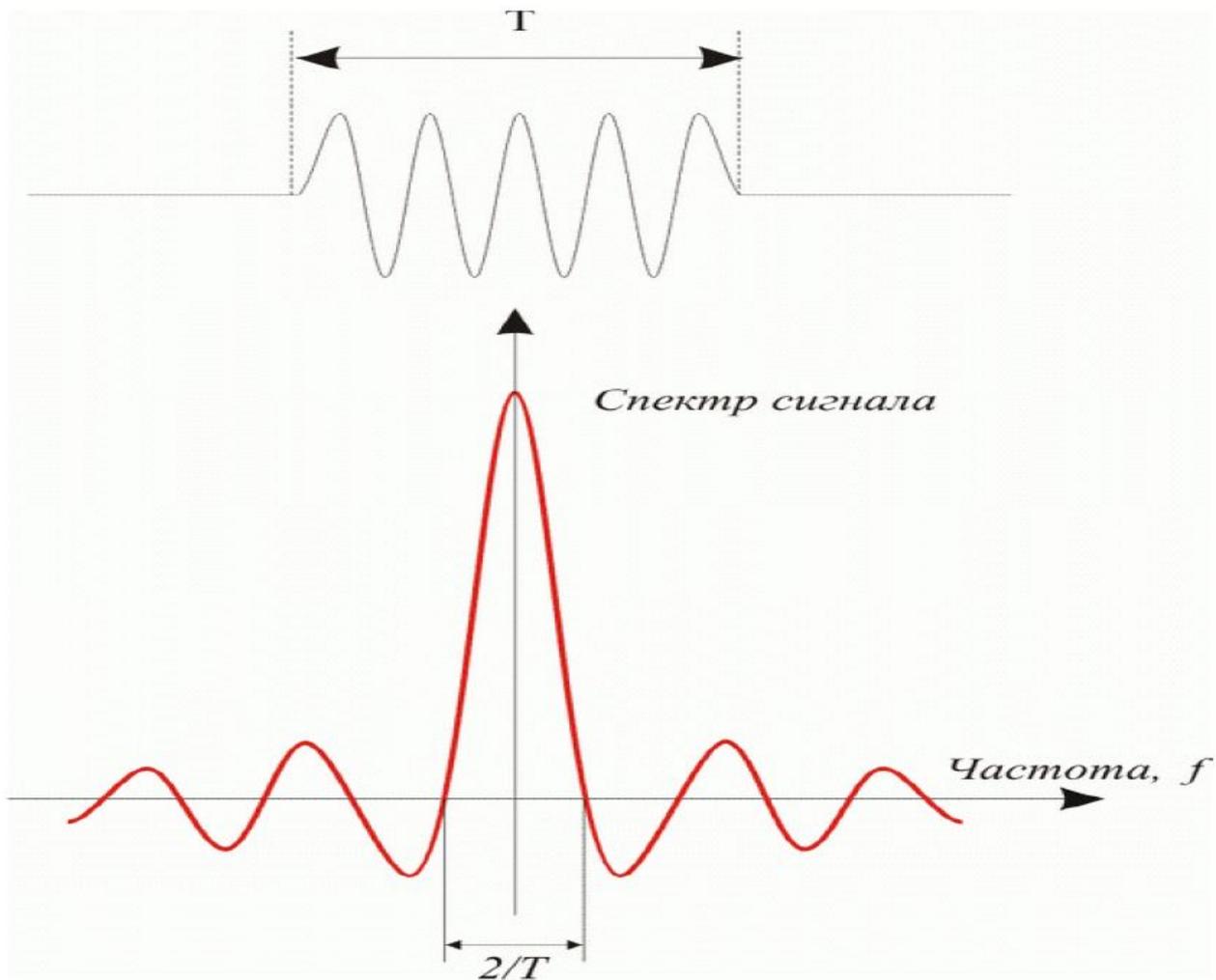


OFDM

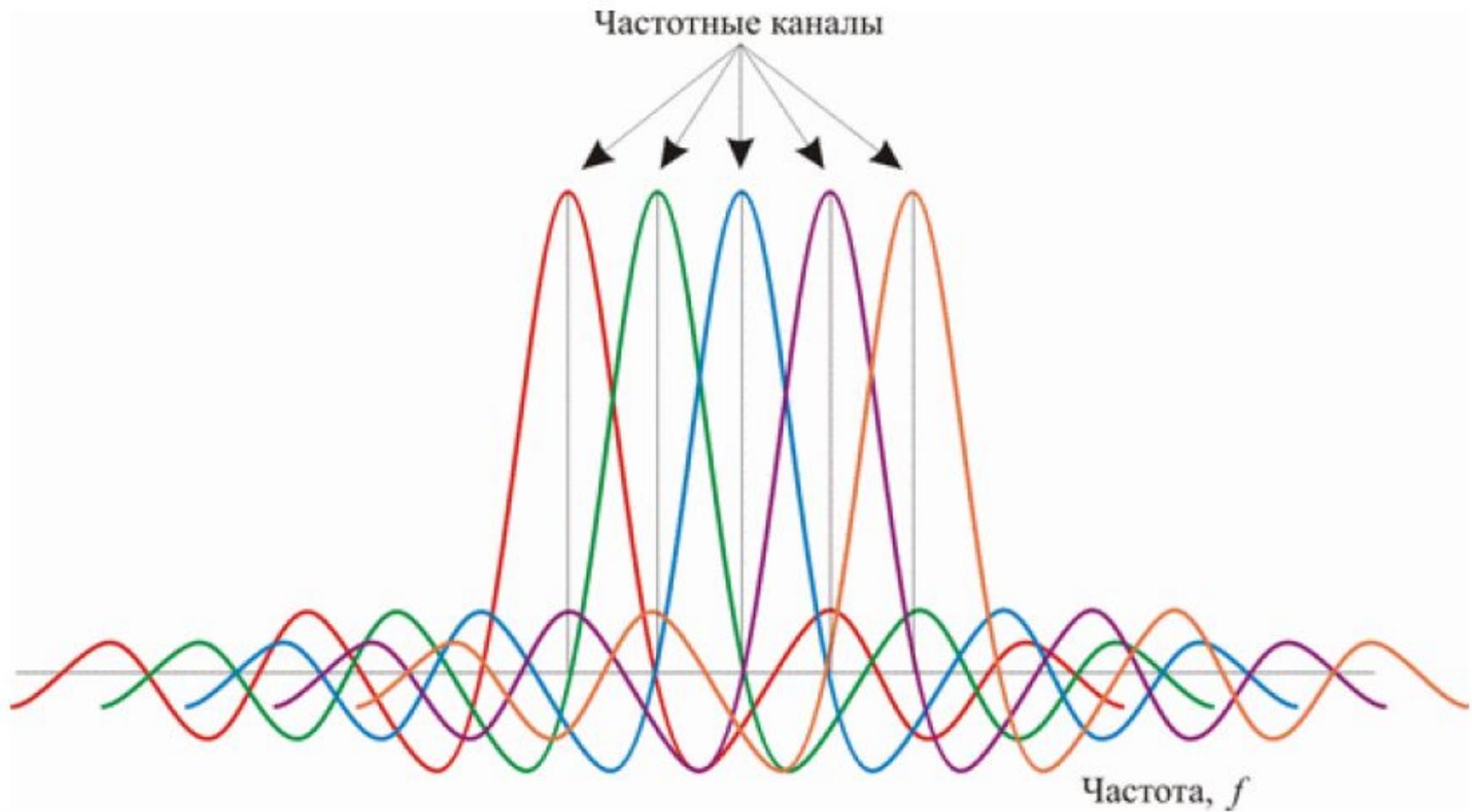
- При частотном разделении каналов необходимо, чтобы ширина отдельного канала была, с одной стороны, достаточно узкой для минимизации искажения сигнала в пределах отдельного канала, а с другой - достаточно широкой для обеспечения требуемой скорости передачи. Кроме того, для экономного использования всей полосы канала, разделяемого на подканалы, желательно как можно более плотно расположить частотные подканалы, но при этом избежать межканальной интерференции, чтобы обеспечить полную независимость каналов друг от друга.
- Частотные каналы, удовлетворяющие перечисленным требованиям, называются ортогональными. Несущие сигналы всех частотных подканалов (а точнее, функции, описывающие эти сигналы) ортогональны друг другу.
- Ортогональность несущих сигналов можно обеспечить в том случае, если за время
- длительности одного символа несущий сигнал будет совершать целое число колебаний.



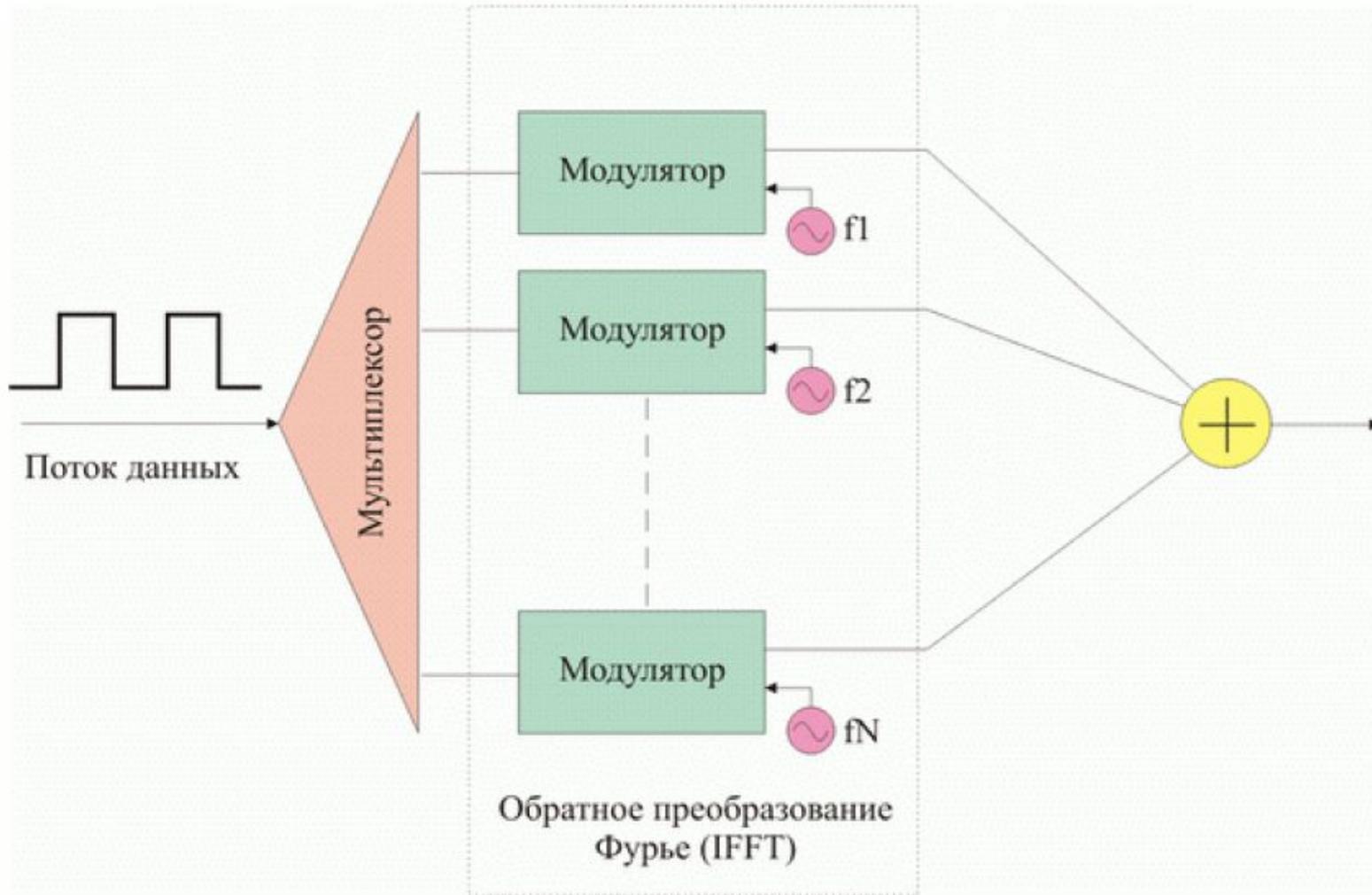
Символ длительностью T и ЕГО СПЕКТР



OFDM



OFDM



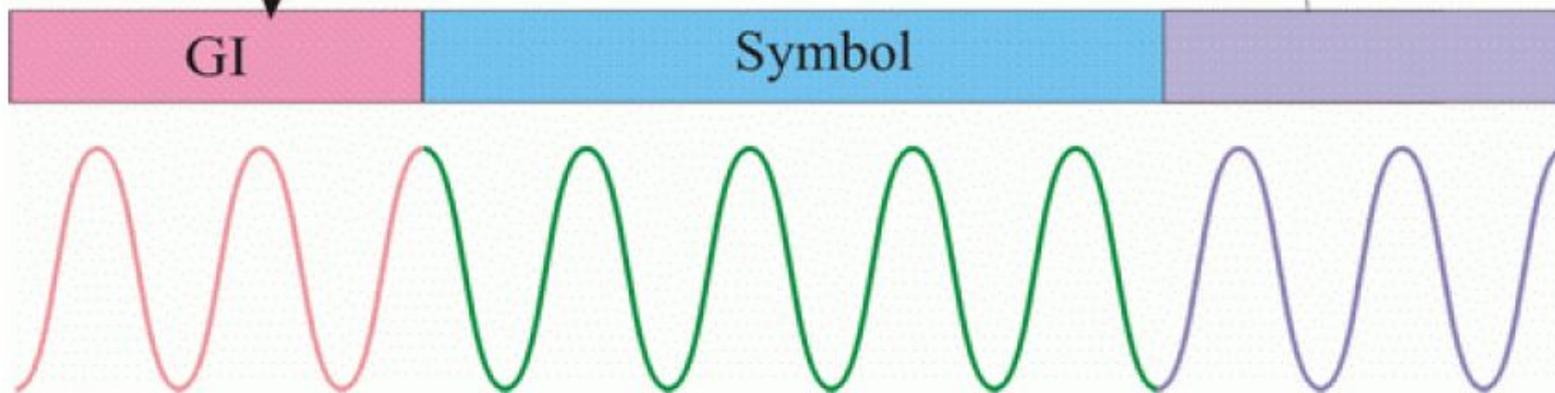
OFDM

- одним из ключевых преимуществ метода OFDM является сочетание высокой скорости передачи с эффективным противостоянием многолучевому распространению. Если говорить точнее, то сама по себе технология OFDM не устраняет многолучевого распространения, но создаёт предпосылки для устранения эффекта межсимвольной интерференции.
- Дело в том, что неотъемлемой частью технологии OFDM является понятие охранного интервала (Guard Interval, GI) - это циклическое повторение окончания символа, пристраиваемое в начале символа. Охранный интервал является избыточной информацией и в этом смысле снижает полезную (информационную) скорость передачи. Эта избыточная информация добавляется к передаваемому символу в передатчике и отбрасывается при приёме символа в приёмнике, но именно она служит защитой от возникновения межсимвольной интерференции.

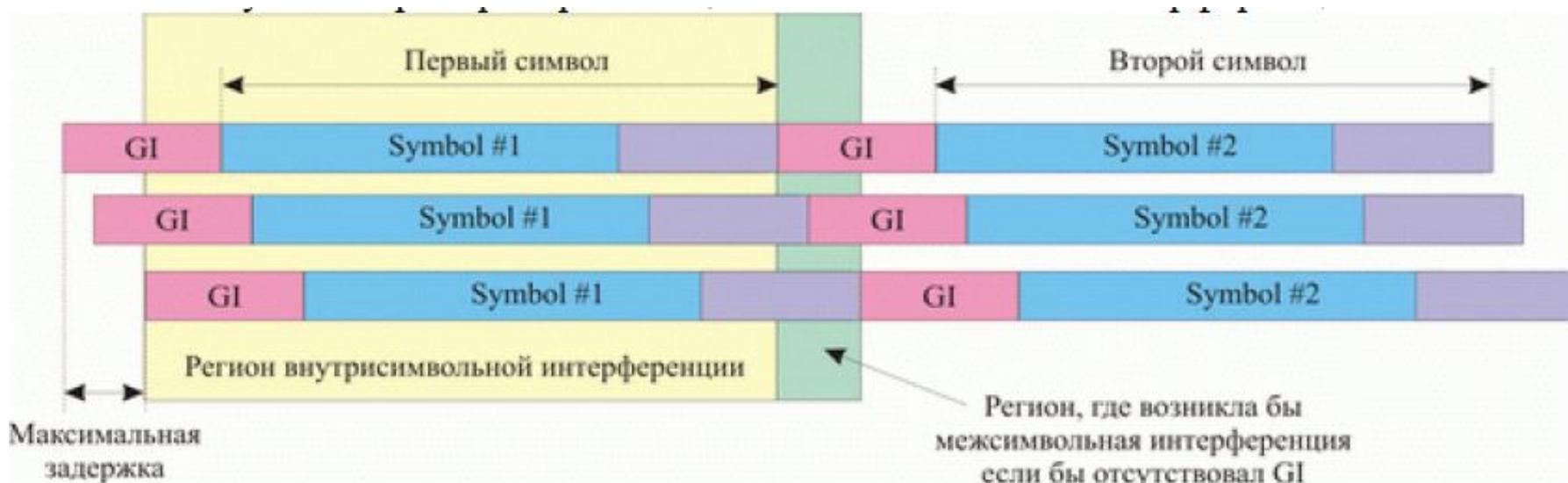


OFDM

Циклическое копирование



OFDM



802.11a. СКОРОСТИ И СВЕРТОЧНОЕ КОДИРОВАНИЕ

Скорость данных, Мбит/с	Тип модуляции	Скорость свёрточного кодирования	Количество битов на символ в одном подканале	Общее количество битов в OFDM-символе (48 подканалов)	Количество битов данных в OFDM-символе
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216



802.11G

Скорость, Мбит/с	Метод кодирования	
	Обязательно	Опционально
1	Последовательность Баркера	
2	Последовательность Баркера	
5,5	CCK	PBCC
6	OFDM	CCK-OFDM
9		OFDM, CCK-OFDM
11	CCK	PBCC
12	OFDM	CCK-OFDM
18		OFDM, CCK-OFDM
22		PBCC
24	OFDM	CCK-OFDM
33		PBCC
36		OFDM, CCK-OFDM
48		OFDM, CCK-OFDM
54		OFDM, CCK-OFDM

ТЕХНОЛОГИИ ГИБРИДНОГО КОДИРОВАНИЯ

Общая структура пакета



Пакет ССК



Пакет OFDM



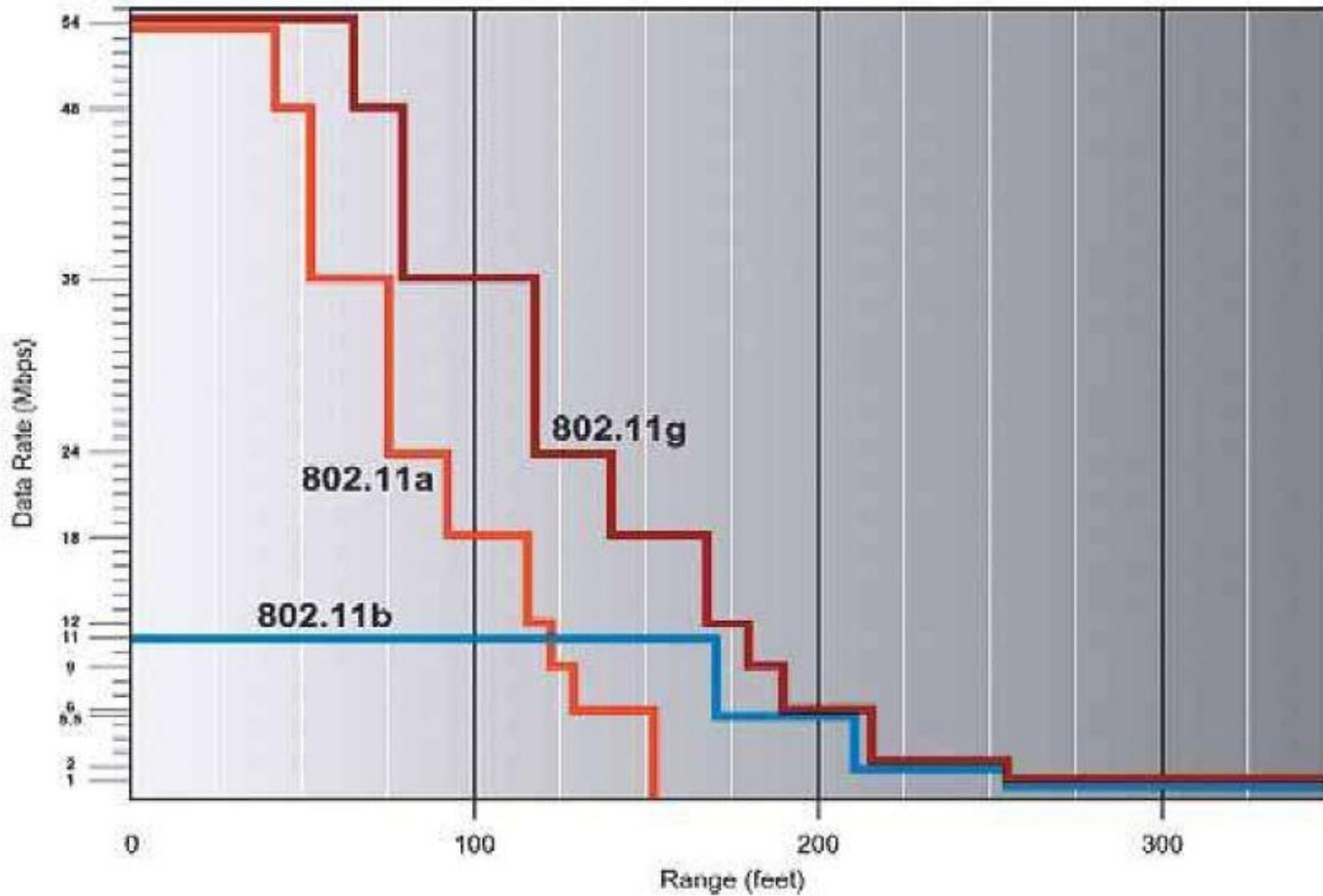
Пакет ССК-OFDM



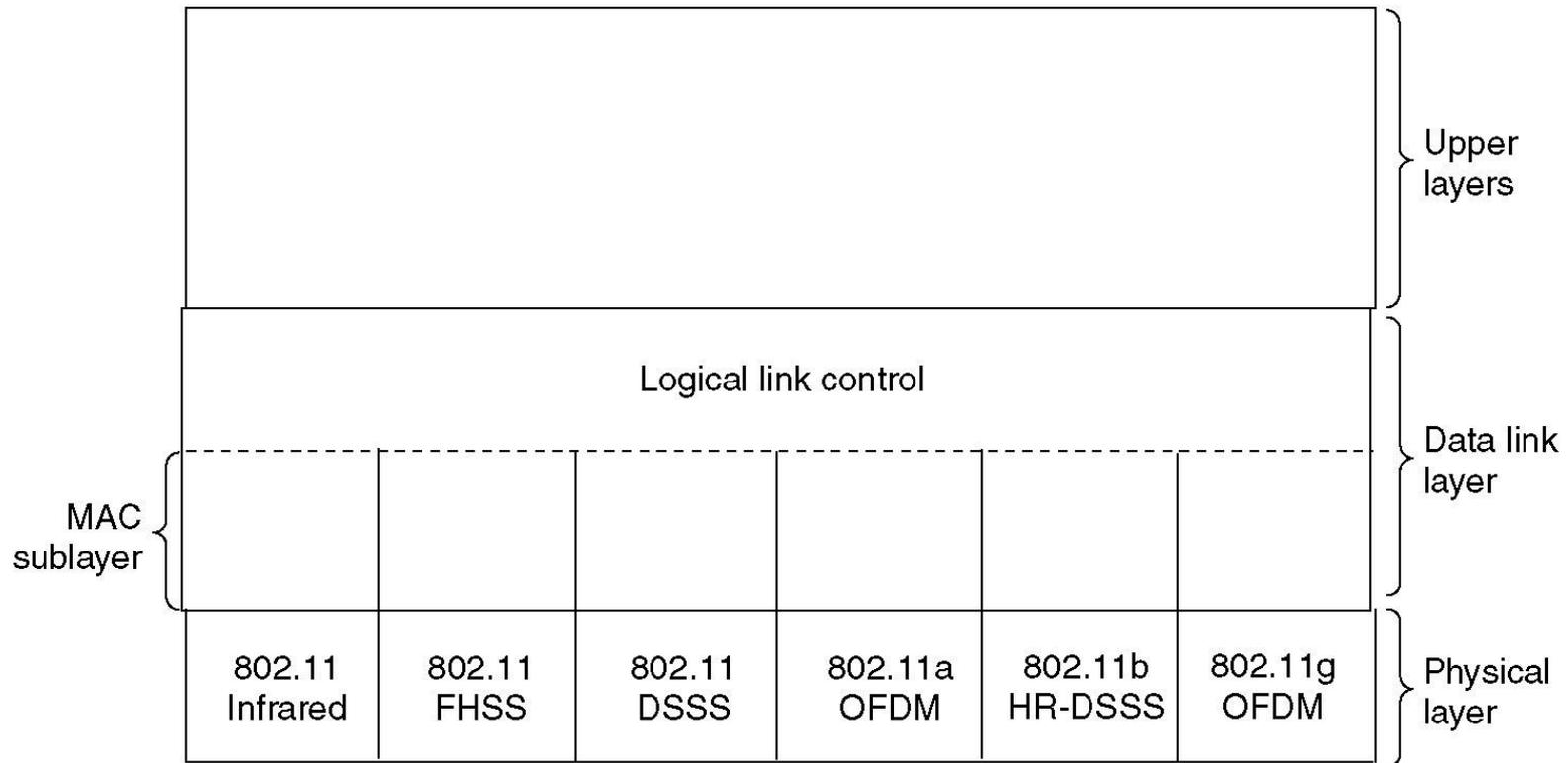
Пакет РВСС



ДАЛЬНОСТЬ СВЯЗИ



802.11



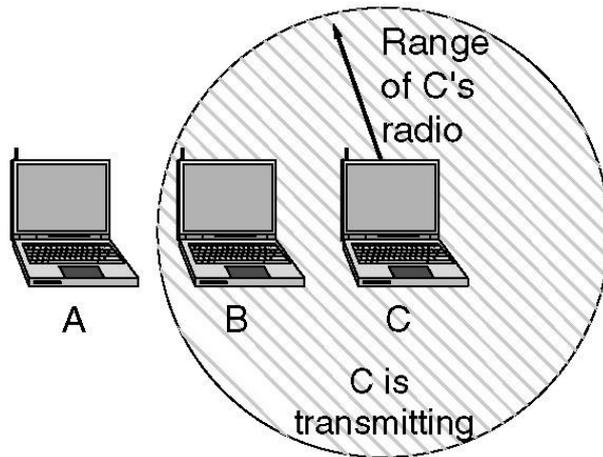
802.11. Протокол подуровня МАС

- DCF (Distributed Coordination Function) – не имеет централизованного управления
- PCF (Point Coordination Function) – базовая станция берёт на себя управление всеми станциями этой соты
- DCF: CSMA/CA
- CSMA/CA на двух уровнях прослушивания: физического и виртуального каналов.
- Физический канал: режим двоичного экспоненциального отката
- Виртуальный канал – протокол MACAW



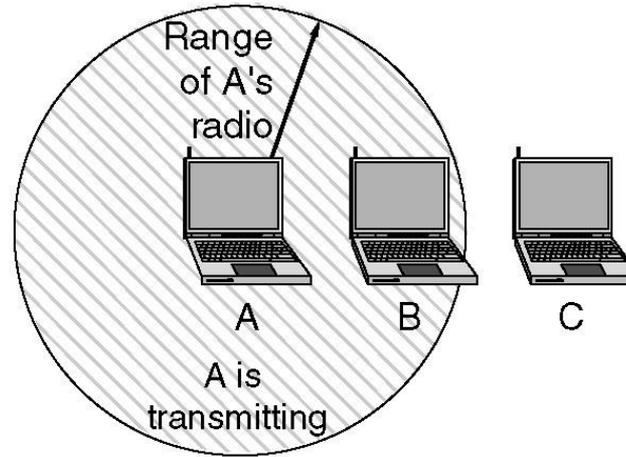
802.11. ПРОТОКОЛ ПОДУРОВНЯ МАС

A wants to send to B
but cannot hear that
B is busy



(a)

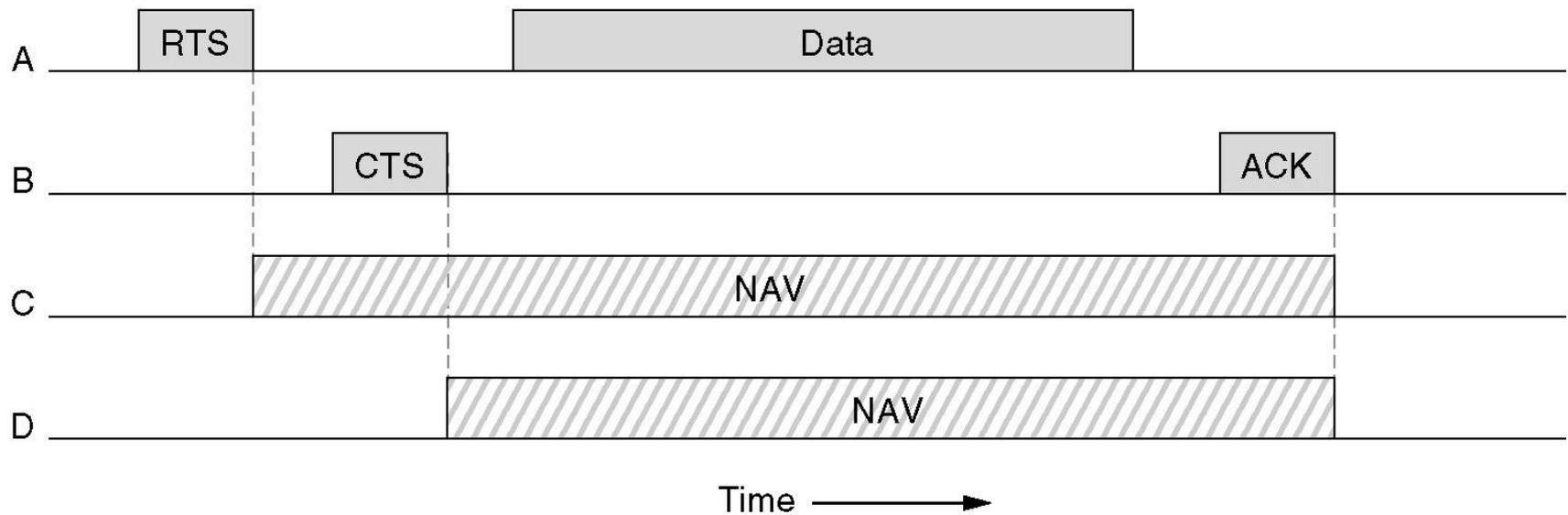
B wants to send to C
but mistakenly thinks
the transmission will fail



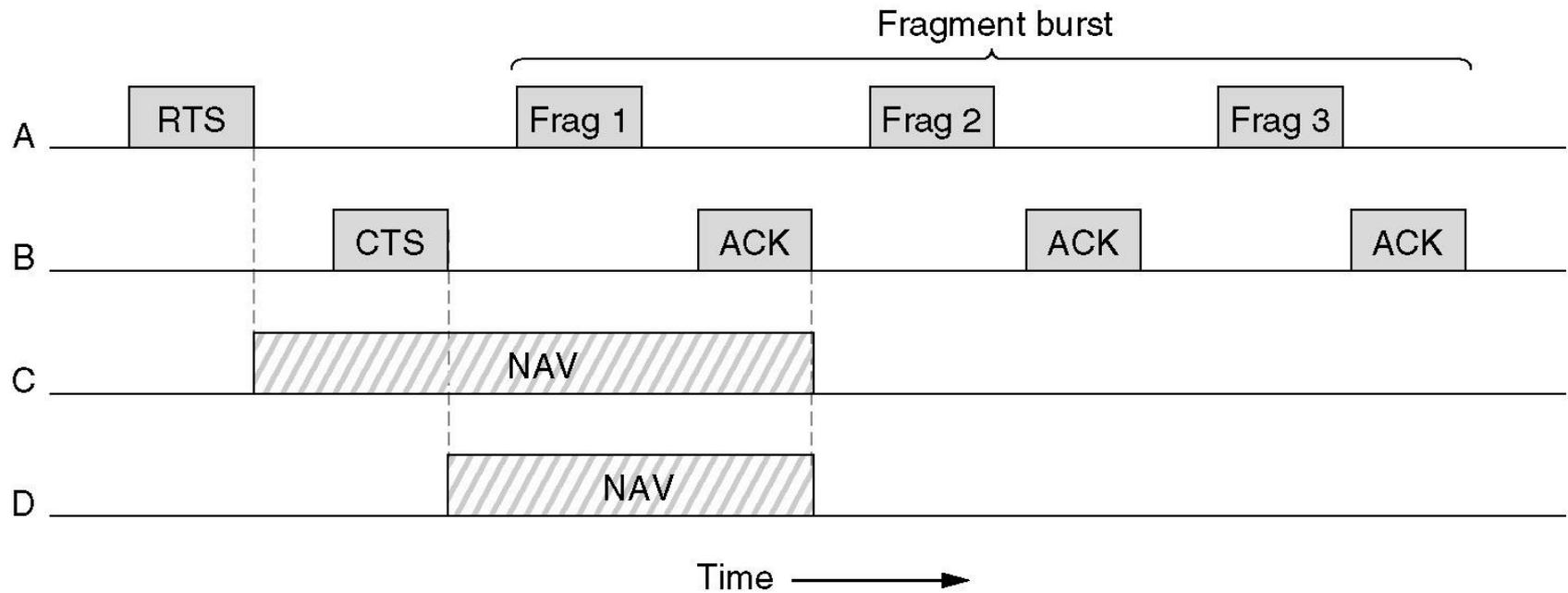
(b)



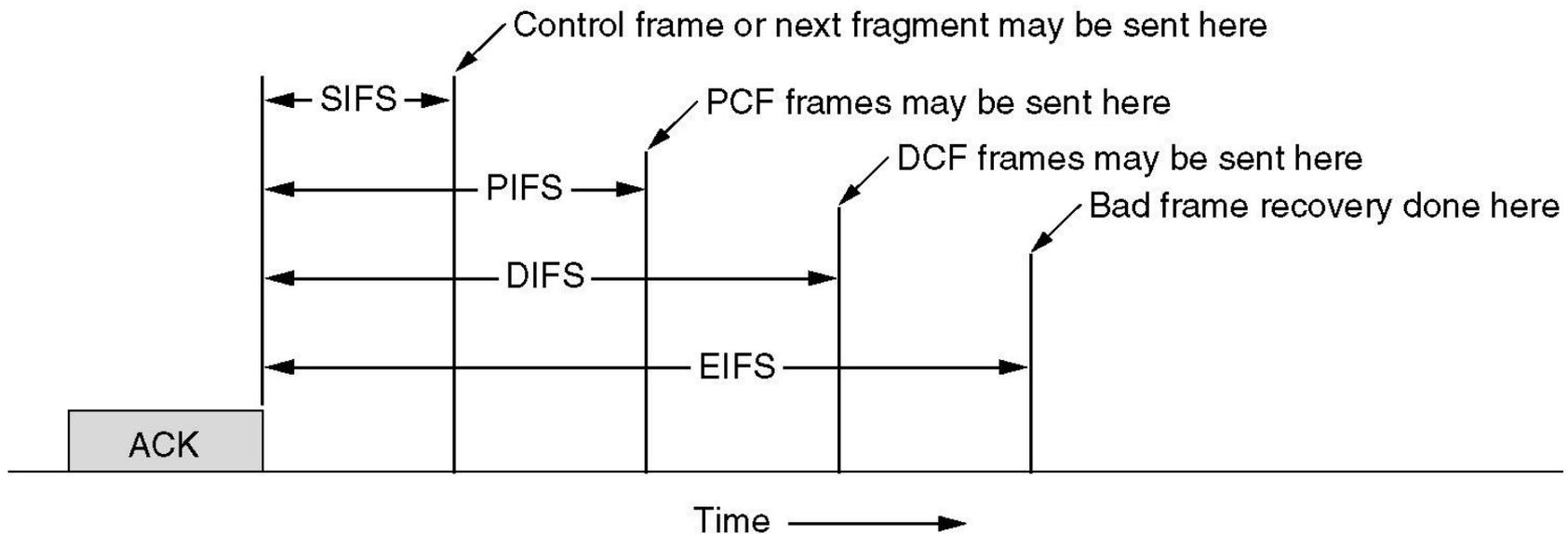
802.11. Протокол подуровня MAC



802.11. Протокол подуровня МАС



СОСУЩЕСТВОВАНИЕ DCF И PCF



РСФ

- Базовая станция широковещательным способом шлёт сигнальный кадры.
- В сигнальном кадре системные параметры.
- Сигнальный кадр – приглашение новых станций
- После регистрации новой станции, она получает пропускную способность канала



СОСУЩЕСТВОВАНИЕ DCF И PCF

- SISF – Short InterFrame Interval, используется чтобы одна из сторон, ведущих диалог могла получить шанс начать передачу первой. Может содержать
 - CTS, посылаемый приёмником в ответ на RTS
 - ACM, посылаемый им же
 - Очередная часть пакета фрагментов, посылаемая отправителем
- После интервала SISF может ответить только одна станция.
- PIPF – PCF InterFrame Spacing – интервал для захвата канала базовой станцией.

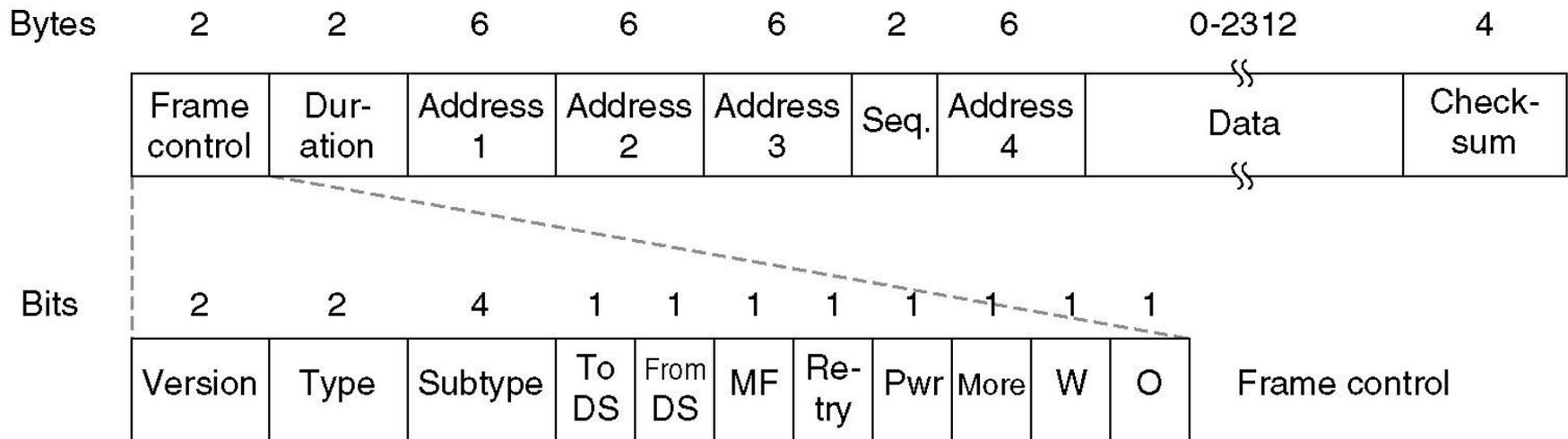


СОСУЩЕСТВОВАНИЕ DCF И PCF

- Если базовой станции нечего сказать и интервал DISF (DCF InterFrame Spacing) истекает, любая станция может попытаться захватить канал.
- EIFS (Extended InterFrame Spacing) – временной интервал для использования станцией, получившей испорченный кадр. И готова послать NAK по этому случаю.



КАДР 802.11



КАДР 802.11

- Поле управление кадром: 11 вложенных полей
 1. Версия протокола
 2. Тип: информационный, служебный, управляющий
 3. Подтип: RTS CTS
 4. к DS к межсотовой связь
 5. От DS от межсотовой связи
 6. MF – далее следует ещё фрагмент
 7. Повтор
 8. Управление питанием
 9. Продолжение – есть ещё кадры к отправке
 10. W – WEP
 11. O – Order



КАДР 802.11

- Длительность – сколько будет передаваться кадр и подтверждения
- Поля адресов – S D станции, S D базовых станций сот
- Номер – нумерация фрагментов
- Поле данных до 2312 байт
- Контрольная сумма



СЕРВИСЫ 802.11

1. Ассоциация (подключение мобильной станции к базовой)
2. Дизассоциация
3. Реассоциация
4. Распределение (маршрутизация)
5. Интеграция (трансляция форматов)

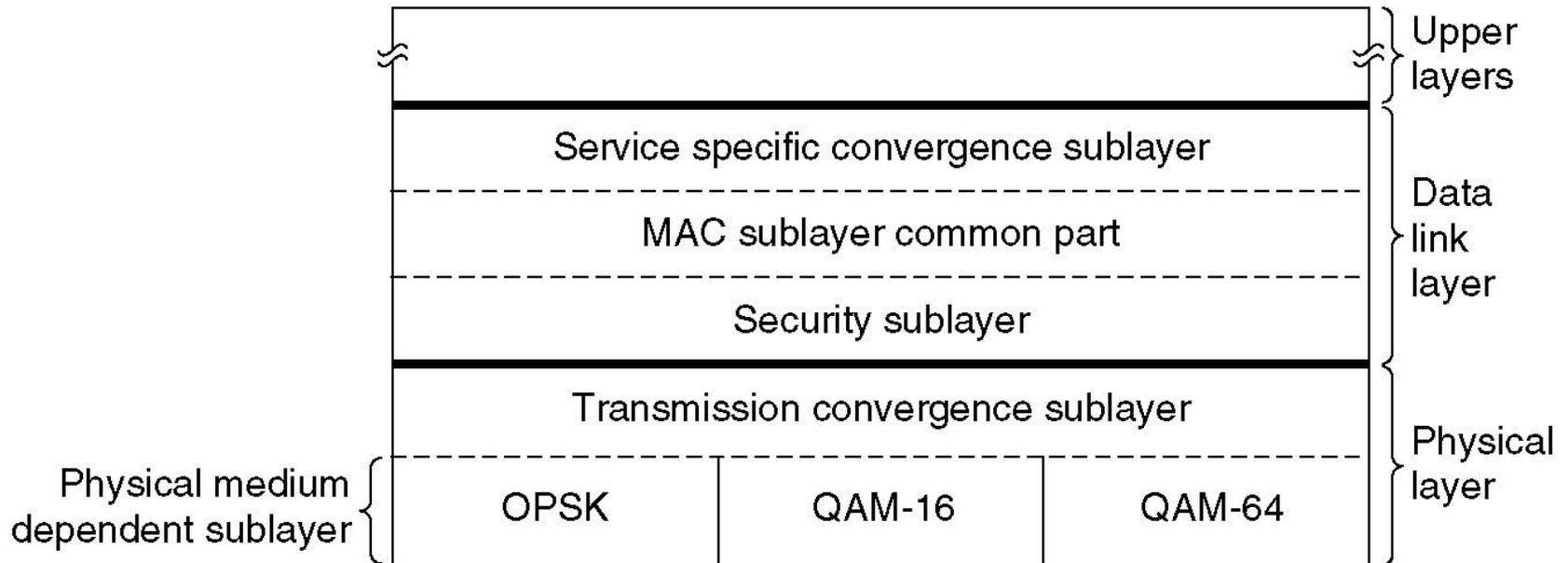


СЕРВИСЫ 802.11

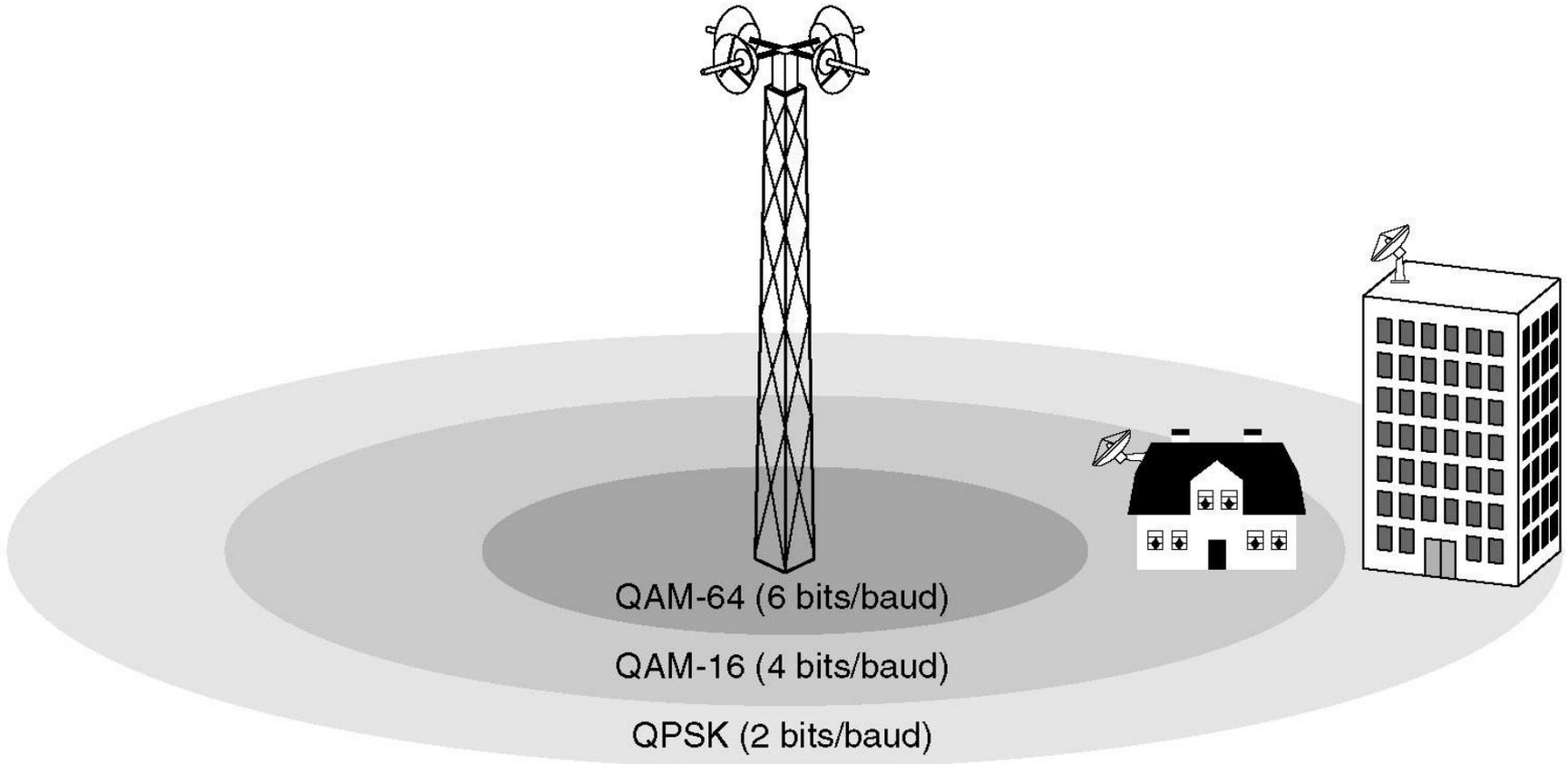
- Внутренние услуги соты:
 1. Идентификация
 2. Деидентификация
 3. Конфиденциальность (RC4)
 4. Доставка данных



802.16



802.16



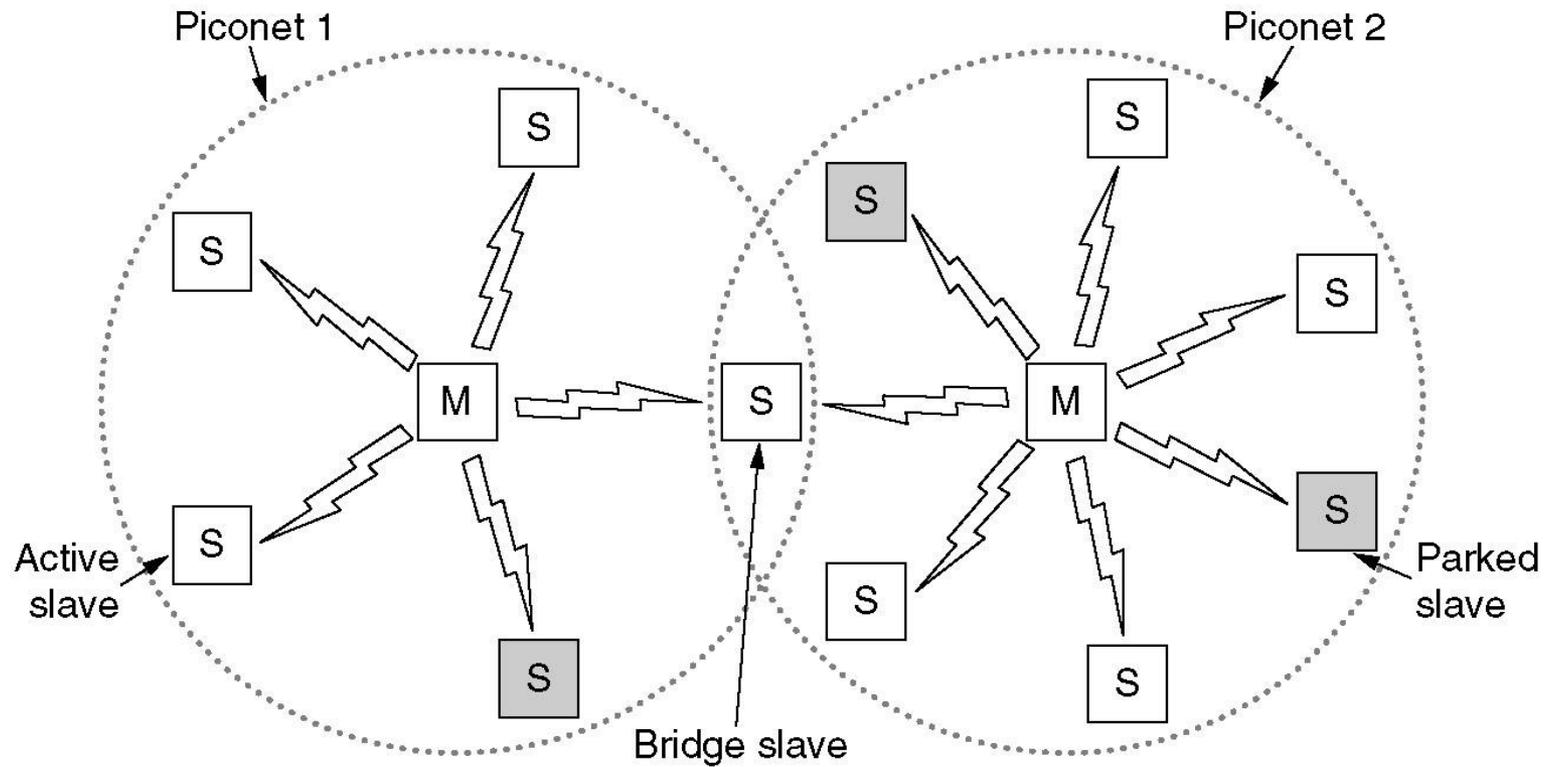
802.16

Service Classes

- Constant bit rate service
- Real-time variable bit rate service
- Non-real-time variable bit rate service
- Best efforts service



BLUETOOTH



BLUETOOTH

- Пикосеть – состоит из главного и до 7 подчиненных узлов
- Связанные специальным узлом пикосети, формируют рассеянную сеть
- Помимо 7 активных узлов, главный узел может поддерживать до 255 спящих узлов



BLUETOOTH

Name	Description
Generic access	Procedures for link management
Service discovery	Protocol for discovering offered services
Serial port	Replacement for a serial port cable
Generic object exchange	Defines client-server relationship for object movement
LAN access	Protocol between a mobile computer and a fixed LAN
Dial-up networking	Allows a notebook computer to call via a mobile phone
Fax	Allows a mobile fax machine to talk to a mobile phone
Cordless telephony	Connects a handset and its local base station
Intercom	Digital walkie-talkie
Headset	Intended for hands-free voice communication
Object push	Provides a way to exchange simple objects
File transfer	Provides a more general file transfer facility
Synchronization	Permits a PDA to synchronize with another computer



BLUETOOTH

