

Александр Александрович Олейников

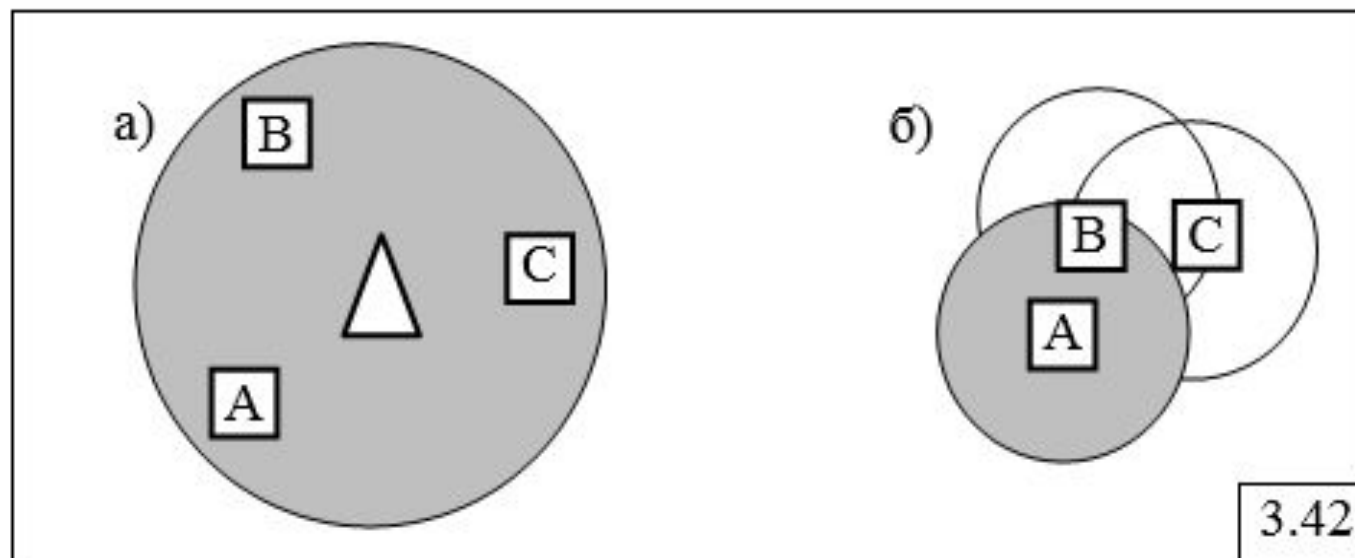
Компьютерные и телекоммуникационные сети

# **Лекция 1.3.7. Общие принципы построения беспроводных ЛВС. WiFi. WiMax.**

Астрахань, 2018

## Способы организации БЛВС (рис.3.42):

- ▶ *с базовой станцией* (рис.3.42,а), когда обмен данными между рабочими (мобильными) станциями (А, В, С) осуществляется через базовую станцию;
- ▶ *без базовой станции* (рис.3.42,б), когда обмен данными между станциями (А, В, С) осуществляется напрямую.



*Преимущества беспроводных ЛВС (БЛВС) по сравнению с проводными:*

- ▶ простота и дешевизна построения и реорганизации сети;
- ▶ мобильность пользователей.

*Недостатки беспроводных ЛВС:*

- ▶ низкая помехоустойчивость;
- ▶ неопределенность зоны покрытия;
- ▶ проблема «скрытого терминала».

Проблема «скрытого терминала» состоит в следующем. Положим, что станция А (рис.3.42,б), передаёт данные станции В. Станция С не «слышит» станцию А (она является «скрытым терминалом» для станции С) и, полагая, что среда передачи свободна, начинает передачу данных, предназначенных для станции В. Очевидно, что возникающая при этом коллизия приведёт к искажению передаваемых данных как от станции А, так и от станции С.

- ▶ В БЛВС вместо метода доступа с прослушиванием несущей и распознаванием коллизий (CSMA/CD) используются методы *предотвращения коллизий* (CSMA/CA). В сетях с базовой станцией обычно применяются *методы опроса*, когда базовая станция опрашивает все станции, находящиеся в зоне её действия, и, при наличии у нескольких станций данных для передачи, предоставляет право на передачу одной из них в соответствии с принятой в этой сети стратегией.
- ▶ Для повышения помехоустойчивости кода для сигналов малой мощности в беспроводных сетях разработана специальная **технология расширенного спектра**, ориентированная на широкую полосу пропускания, позволяющую применять модуляцию с несколькими несущими. В рамках этой технологии используются различные методы передачи данных.

# Методы передачи данных

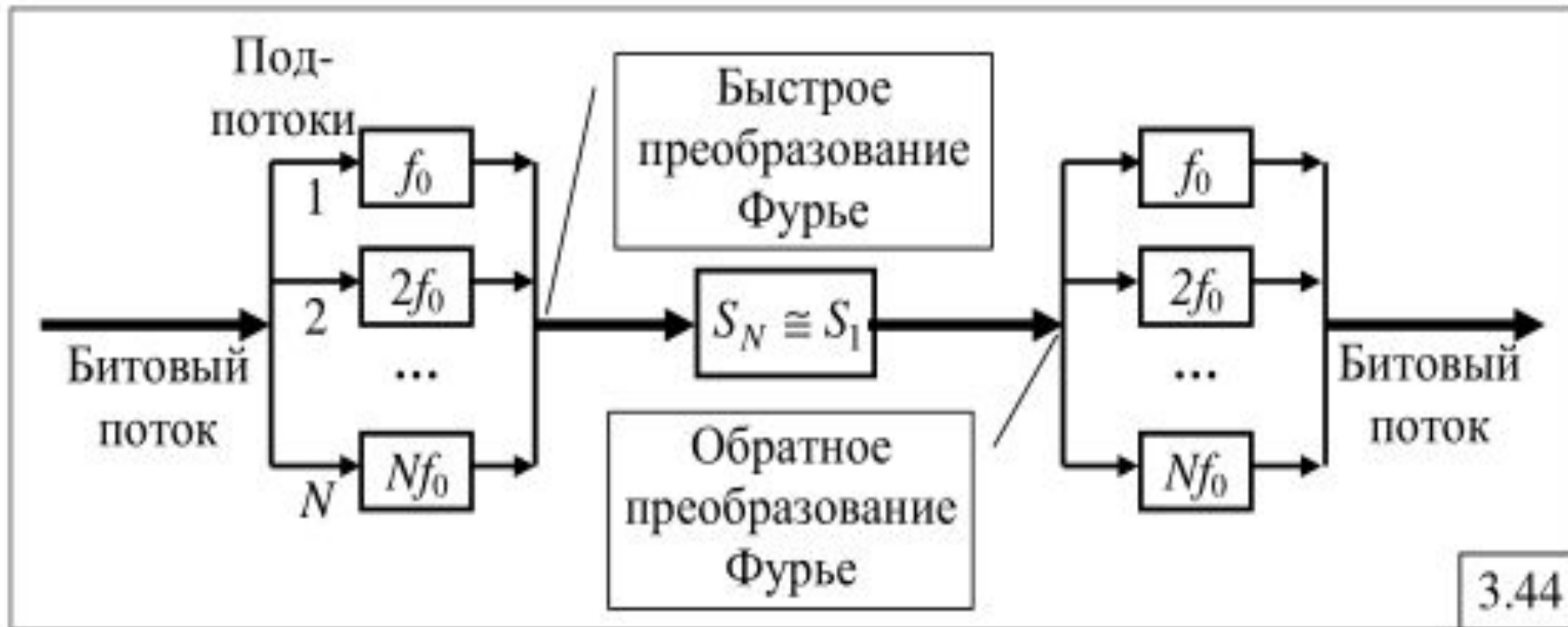
Основными методами передачи данных в беспроводных ЛВС, основанными на технологии расширения спектра, являются (рис.3.43):

- ▶ ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM);
- ▶ расширение спектра скачкообразным изменением частоты (FHSS);
- ▶ прямое последовательное расширение спектра (DSSS).



# Ортогональное частотное мультиплексирование

- ▶ *Ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* используется для передачи данных со скоростью до 54 Мбит/с в диапазоне 5 ГГц.
- ▶ На рис.3.44 показана схема реализации OFDM.
- ▶ Битовый поток данных делится на  $N$  подпотоков, каждый из которых модулируется с помощью методов частотной (FSK) или фазовой (PSK) манипуляции с использованием несущей, которая обычно кратна основной частоте  $f_0$ . На основе быстрого преобразования Фурье все несущие сворачиваются в общий сигнал, спектр которого примерно равен спектру сигнала, кодируемого одной несущей. После передачи такого сигнала на приёмной стороне с использованием преобразования Фурье выделяются несущие подпотоки, из которых формируется исходный битовый поток.



► Разделение исходного высокоскоростного потока на несколько низкоскоростных потоков позволяет уменьшить интерференцию передаваемых сигналов за счёт увеличения битового интервала.



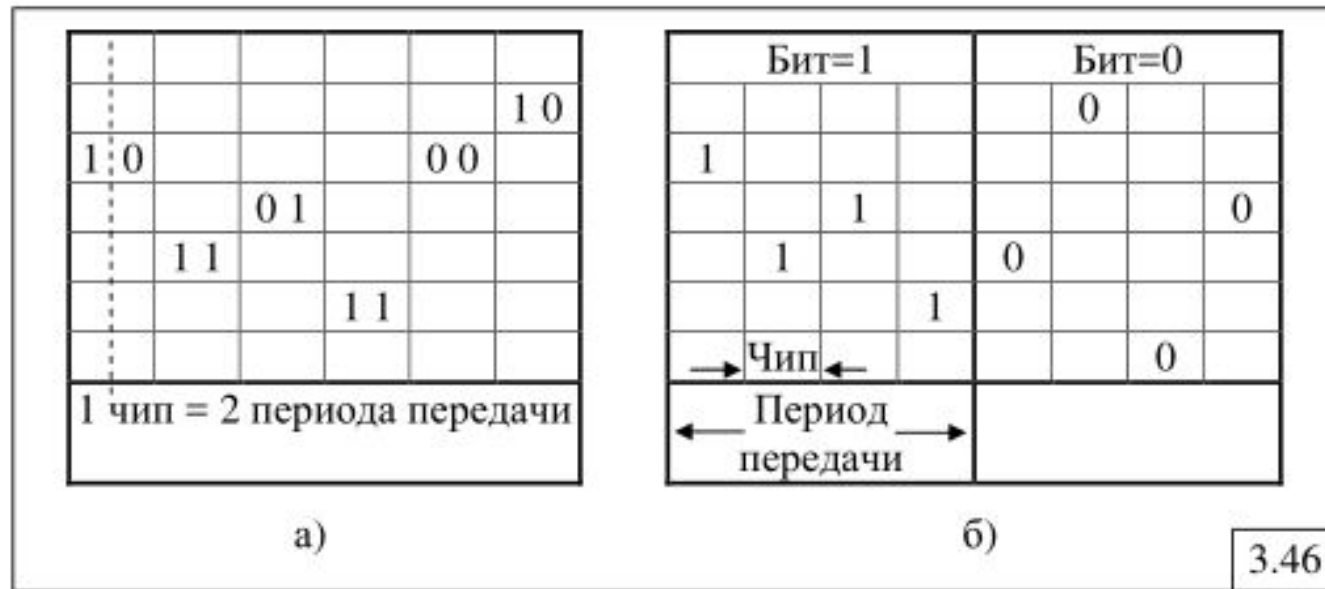


- ▶ Частота несущей  $F_1, \dots, F_N$  случайным образом меняется через определенный период времени, называемый *периодом отсечки (чип)*, в соответствии с выбранным алгоритмом выработки псевдослучайной последовательности. На каждой частоте применяется модуляция (FSK или PSK). Передача на одной частоте ведётся в течение фиксированного интервала времени, в течение которого передаётся некоторая порция данных (Data). В начале каждого периода передачи для синхронизации приемника с передатчиком используются синхробиты, которые снижают полезную скорость передачи.

В зависимости от скорости изменения несущей различают 2 режима расширения спектра:

- ▶ медленное расширение спектра (рис.3.46,а) - за один период отсечки передается несколько бит;
- ▶ быстрое расширение спектра (рис.3.46,б) - один бит передается за несколько периодов отсечки, то есть повторяется несколько раз.

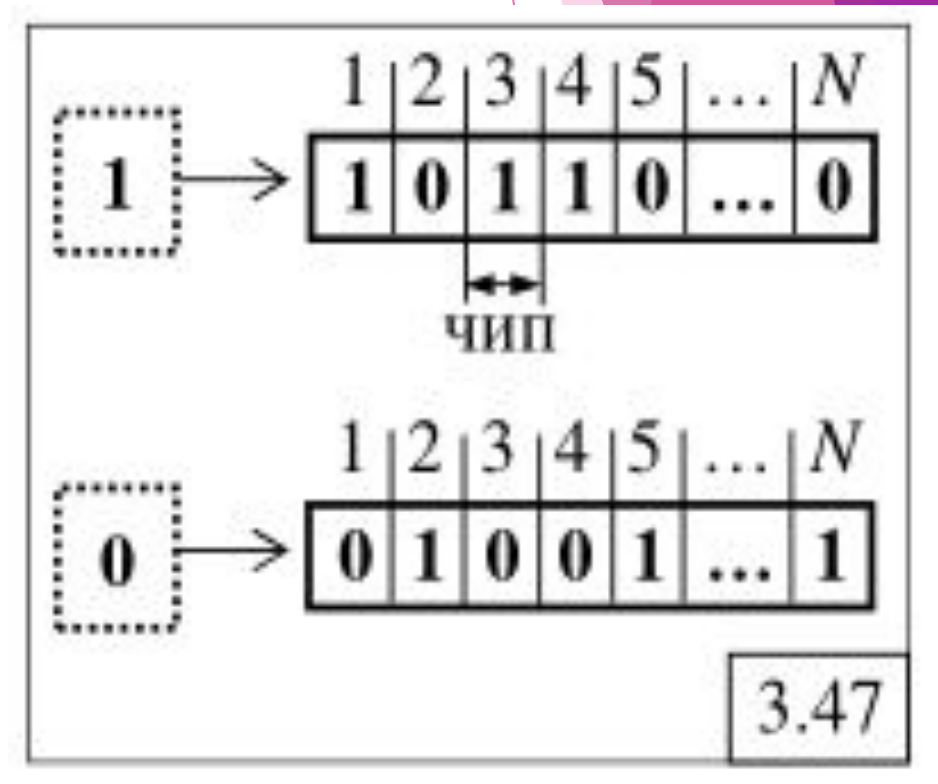
В первом случае *период передачи данных* меньше *периода передачи чипа*, во втором - больше.



- ▶ Метод быстрого расширения спектра обеспечивает более надёжную передачу данных при наличии помех за счёт многократного повторения значения одного и того же бита на разных частотах, но более сложен в реализации, чем метод медленного расширения спектра.

# Прямое последовательное расширение спектра

- ▶ Метод прямого последовательного расширения спектра (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum) состоит в следующем.
- ▶ Каждый «единичный» бит в передаваемых данных заменяется двоичной последовательностью из  $N$  бит, которая называется **расширяющей последовательностью**, а «нулевой» бит кодируется инверсным значением расширяющей последовательности (рис.3.47).



В этом случае тактовая скорость передачи увеличивается в  $N$  раз, следовательно, спектр сигнала также расширяется в  $N$  раз.

Зная выделенный для беспроводной передачи (линии связи) частотный диапазон, можно соответствующим образом выбрать скорость передачи данных и значение  $N$ , чтобы спектр сигнала заполнил весь диапазон.

- ▶ Основная цель кодирования DSSS как и FHSS - повышение помехоустойчивости.
- ▶ **Чиповая скорость** - скорость передачи результирующего кода.

**Коэффициент расширения** - количество битов  $N$  в расширяющей последовательности. Обычно  $N$  находится в интервале от 10 до 100. Чем больше  $N$ , тем больше спектр передаваемого сигнала.

Например, последовательность Баркера (Barker) с коэффициентом расширения  $N=11$  имеет вид: 10110111000, основное достоинство которого заключается в том, что при сдвиге на один бит влево или вправо количество совпадений битов меньше половины:

- ▶ сдвиг влево (5 совпадений) 0110111000х
- ▶ 10110111000
- ▶ сдвиг вправо (5 совпадений) х1011011100
- ▶ 10110111000

DSSS в меньшей степени защищен от помех, чем метод быстрого расширения спектра.

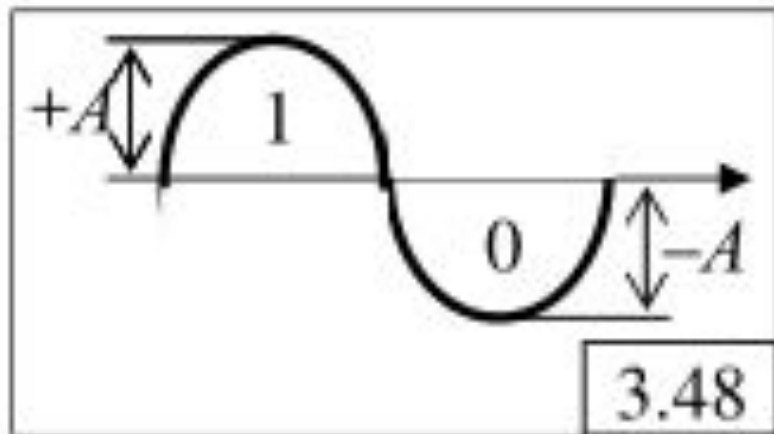
# Множественный доступ с кодовым разделением

Методы расширения спектра широко используются в сотовых сетях, в частности, при реализации метода доступа CDMA (Code Division Multiple Access) - *множественный доступ с кодовым разделением*. CDMA может использоваться совместно с FHSS, но в беспроводных сетях чаще с DSSS.

Каждый узел сети использует собственную расширяющую последовательность, которая выбирается так, чтобы принимающий узел мог выделить данные из суммарного сигнала.

- ▶ Рассмотрим принцип реализации CDMA на примере.
- ▶ Пусть в сети работают 4 узла: A, B, C, D, каждый из которых использует свою расширяющую последовательность:
- ▶ A:0000 B:0101 C:0011 D:0110

- ▶ Для представления 1 и 0 используются аддитивные инверсные сигналы, показанные на рис.3.48 и обозначенные соответственно куак (+A) и (-A).



Очевидно, что  $(+A)+(-A)=0$

Для упрощения выкладок обозначим:  $(+A)= 1$  и  $(-A)= - 1$

Тогда, расширяющие последовательности для узлов А, В, С и D примут вид:

Узел	«единичный» бит				«нулевой» бит			
<b>A</b>	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
<b>B</b>	-1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1
<b>C</b>	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1
<b>D</b>	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1



- ▶ Положим теперь, что передачу ведут все 4 узла: А, В, С, D и в некоторый момент времени они передают соответственно биты 1, 0, 1, 0 в виде соответствующих расширяющих последовательностей (РП):

Узел	бит	РП			
<b>A</b>	1	-1	-1	-1	-1
<b>B</b>	0	+1	-1	+1	-1
<b>C</b>	1	-1	-1	+1	+1
<b>D</b>	0	+1	-1	-1	+1
<b>X</b>	<b>S</b>	<b>0</b>	<b>-4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Для простоты допустим, что все узлы синхронизированы.

- ▶ Положим, что некоторый узел X хочет принять данные от узла А. В рассматриваемый момент времени он принимает сигнал S в виде вектора (0 -4 0 0). Для определения значения принятого от узла А бита узел X должен использовать демодулятор CDMA с расширяющей последовательностью узла А.

Алгоритм работы демодулятора:

умножение принятого сигнала  $S$  на вектор расширяющей последовательности узла  $A$ :

$$S * A = (0 - 4 0 0) * (-1 -1 -1 -1) = 0 + 4 + 0 + 0 = +4 ;$$

результат делится на количество узлов (станций) в сети; если результат положительный, то исходный бит равен 1, если результат отрицательный, то исходный бит равен 0; для узла  $A$ :

$+4/4=+1$ , следовательно, значение бита от узла  $A$  равно 1.

▶ Аналогично, при приеме данных от узла  $B$ :

$$S * B = (0 - 4 0 0) * (-1 + 1 - 1 + 1) = 0 - 4 + 0 + 0 = -4 / 4 = -1,$$

▶ следовательно, значение бита от узла  $B$  равно 0. При приеме данных от узла  $C$ :

$$S * C = (0 - 4 0 0) * (-1 -1 + 1 + 1) = 0 + 4 + 0 + 0 = +4 / 4 = +1,$$

- ▶ следовательно, значение бита от узла С равно 1. При приеме данных от узла D:
- ▶  $S * D = (0 - 4 0 0) * (-1 + 1 + 1 - 1) = 0 - 4 + 0 + 0 = -4 / 4 = -1$ ,
- ▶ следовательно, значение бита от станции D равно 0.
- ▶ Достоинство CDMA заключается в повышенной защищенности и скрытности передачи данных: не зная расширяющей последовательности, невозможно получить сигнал, а иногда и обнаружить его присутствие.

# Технология WiFi

Технология беспроводных ЛВС (WLAN) определяется стеком протоколов IEEE 802.11, который описывает физический уровень и канальный уровень с двумя подуровнями: MAC и LLC.

На физическом уровне определены несколько вариантов спецификаций, которые различаются:

- ▶ используемым диапазоном частот;
- ▶ методом кодирования;
- ▶ скоростью передачи данных.

Варианты построения беспроводных ЛВС стандарта 802.11, получившего название WiFi, представлены в табл. 3.7.

Ниже дана их краткая характеристика.

Таблица 3.7

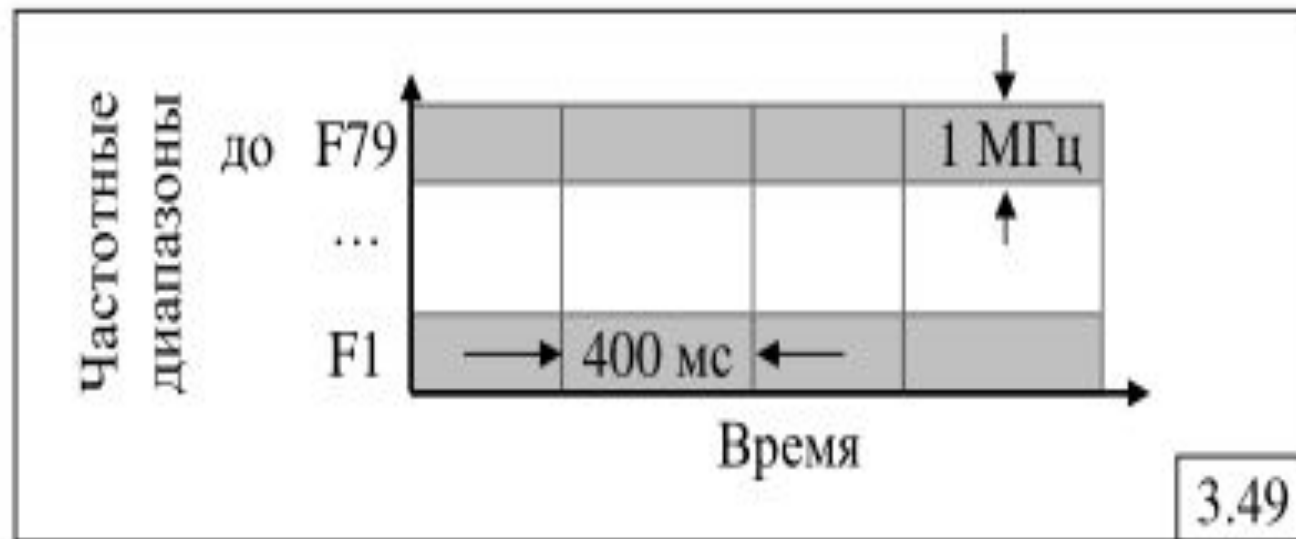
Вариант	Стандарт	Диапазон частот	Метод кодирования	Скорость передачи	Год
1	IEEE 802.11	ИК 850 нм		1 Мбит/с; 2 Мбит/с	1997
2	IEEE 802.11	2,4 ГГц	FHSS	1 Мбит/с; 2 Мбит/с	1997
3	IEEE 802.11	2,4 ГГц	DSSS	1 Мбит/с; 2 Мбит/с	1997
4	IEEE 802.11a	5 ГГц	OFDM	до 54 Мбит/с	1999
5	IEEE 802.11b	2,4 ГГц	DSSS	до 11 Мбит/с	1999
6	IEEE 802.11g	2,4 ГГц	OFDM	до 54 Мбит/с	2003

### IEEE 802.11 (вариант 1):

- среда передачи - ИК-излучение;
- передача в зоне прямой видимости;
- используются 3 варианта распространения излучения:
  - ненаправленная антенна;
  - отражение от потолка;
  - фокусное направленное излучение («точка-точка»).

## IEEE 802.11 (вариант 2):

- ▶ среда передачи - микроволновый диапазон 2,4 ГГц;
- ▶ метод кодирования - FHSS: до 79 частотных диапазонов шириной 1 МГц, длительность каждого из которых составляет 400 мс (рис.3.49);
- ▶ при 2-х состояниях сигнала обеспечивается пропускная способность среды передачи в 1 Мбит/с, при 4-х - 2 Мбит/с.



## IEEE 802.11 (вариант 3):

- ▶ среда передачи - микроволновый диапазон 2,4 ГГц;
- ▶ метод кодирования - DSSS с 11-битным кодом в качестве расширяющей последовательности:  
10110111000.

## IEEE 802.11a:

- ▶ 1) диапазон частот - 5 ГГц;
- ▶ 2) скорости передачи: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Мбит/с;
- ▶ 3) метод кодирования - OFDM.
- ▶ Недостатки:
  - ▶ слишком дорогое оборудование;
  - ▶ в некоторых странах частоты этого диапазона подлежат лицензированию.

## IEEE 802.11b:

- ▶ диапазон частот - 2,4 ГГц;
- ▶ скорость передачи: до 11 Мбит/с;
- ▶ метод кодирования - модернизированный DSSS.

## IEEE 802.11g:

- ▶ диапазон частот - 2,4 ГГц;
- ▶ максимальная скорости передачи: до 54 Мбит/с;
- ▶ метод кодирования - OFDM.
- ▶ В сентябре 2009 года был утверждён стандарт IEEE 802.11n. Его применение позволяет повысить скорость передачи данных практически вчетверо по сравнению с устройствами стандартов 802.11g. Теоретически 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 600 Мбит/с.
- ▶ Радиус действия беспроводных сетей IEEE 802.11 - до 100 метров.



# Технология WiMax

- ▶ Технология беспроводного широкополосного доступа с высокой пропускной способностью WiMax представлена группой стандартов IEEE 802.16 и первоначально была предназначена для построения протяженных (до 50 км) беспроводных сетей, относящихся к классу региональных или городских сетей.
- ▶ Стандарт IEEE 802.16 или IEEE 802.16-2001 (декабрь 2001 года), являющийся первым стандартом «точка-многоточка», был ориентирован на работу в спектре от 10 до 66 ГГц и, как следствие, требовал нахождения передатчика и приёмника в области прямой видимости, что является существенным недостатком, особенно в условиях города. Согласно описанным спецификациям, сеть 802.16 могла обслуживать до 60 клиентов со скоростью канала T-1 (1,554 Мбит/с).

- ▶ Позднее появились стандарты IEEE 802.16a, IEEE 802.16-2004 и IEEE 802.16e (мобильный WiMax), в которых было снято требование прямой видимости между передатчиком и приёмником.
- ▶ Основные параметры перечисленных стандартов технологии WiMax сведены в табл.3.8.

Таблица 3.8

Параметр	<i>IEEE 802.16</i>	<i>IEEE 802.16a</i>	<i>IEEE 802.16-2004</i>	<i>IEEE 802.16e</i>
Принят, год	2001	2003	2004	2005
Диапазон частот, ГГц	10 - 66	менее 11	менее 11	2 - 6
Модуляция	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	OFDM 256	OFDM 256	OFDM 256
Скорость, Мбит/с	32 - 134	1 - 75	1 - 75	до 30
Мобильность	Нет	Нет	Нет	Да
Ширина канала, МГц	20, 25 и 28	От 1,25 до 20 с 16 логическими каналами	От 1,25 до 20 с 16 логическими каналами	Более 5
Радиус ячейки, км	1 - 5	5 – 8, максимум 50	5 – 8, максимум 50	1 - 5

# Отличия технологии WiMax от WiFi.

- ▶ *Малая мобильность.* Первоначально стандарт разрабатывался для стационарной беспроводной связи на большие расстояния и предусматривал мобильность пользователей в пределах здания. Лишь в 2005 году был разработан стандарт IEEE 802.16e, ориентированный на мобильных пользователей. В настоящее время ведётся разработка новых спецификаций 802.16f и 802.16h для сетей доступа с поддержкой работы мобильных (подвижных) клиентов при скорости их движения до 300 км/ч.
- ▶ *Использование более качественных радиоприемников и передатчиков* обуславливает более высокие затраты на построение сети.
- ▶ *Большие расстояния* для передачи данных требуют решения ряда специфических проблем: формирование сигналов разной мощности, использование нескольких схем модуляции, проблемы защиты информации.

- ▶ *Большое число пользователей в одной ячейке.*
- ▶ *Более высокая пропускная способность, предоставляемая пользователю.*
- ▶ *Высокое качество обслуживания мультимедийного трафика.*

*Первоначально считалось, что IEEE 802.11 - мобильный аналог Ethernet, 802.16 - беспроводной стационарный аналог кабельного телевидения. Однако появление и развитие технологии WiMax (IEEE 802.16e) для поддержки мобильных пользователей делает это утверждение спорным.*

# Беспроводные персональные сети

**Персональные сети** (Personal Area Networks - PAN)

предназначены для взаимодействия устройств, принадлежащих одному владельцу и расположенных территориально на небольшом расстоянии (около 10 м).

Особенности PAN:

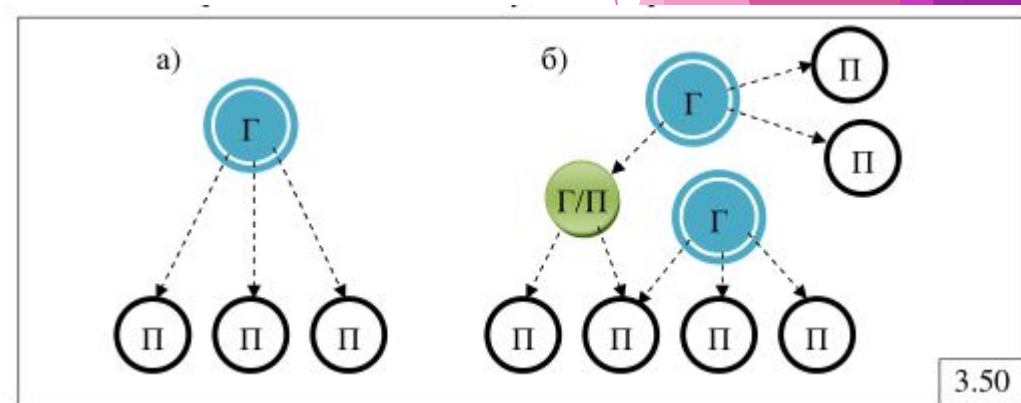
- ▶ простота, малые размеры и низкая стоимость объединяемых устройств и, как следствие этого, низкая стоимость реализации сети;
- ▶ небольшой диаметр сети;
- ▶ высокие требования к безопасности;
- ▶ беспроводная реализация;
- ▶ небольшая мощность излучаемых сигналов (не более 100 мВт).

# Технология Bluetooth

Технология Bluetooth, описанная в стандарте IEEE 802.15.1 обеспечивает взаимодействие различных устройств в разделяемой среде диапазона 2,4 МГц со скоростью передачи до 1 Мбит/с.

В основе Bluetooth лежит концепция *пикосети*, которая характеризуется следующими особенностями:

- ▶ небольшая область покрытия от 10 м до 100 м;
- ▶ количество устройств в сети - до 255;
- ▶ количество активных (одновременно взаимодействующих) устройств - до 8;
- ▶ одно устройство *главное* (Г), в качестве которого обычно используется персональный компьютер), остальные *подчиненные* (П) (см. рис.3.50,а);



- ▶ несколько пикосетей могут образовывать рассредоточенную сеть,
- ▶ в которой одно устройство, называемое мостом, одновременно принадлежит нескольким сетям и может быть главным устройством одной пикосети и подчинённым устройством другой пикосети (рис.3.50,б);
- ▶ метод доступа - CDMA с использованием техники FHSS;
- ▶ надёжность передачи данных реализуется с помощью механизма квитирования;
- ▶ кадры имеют длину до 343 байт;
- ▶ для передачи голоса используются кадры длиной 30 байт.

# Технология ZigBee

- ▶ ZigBee - технология, описанная в стандарте IEEE 802.15.4 и предназначенная для построения беспроводных персональных сетей (WPAN) с использованием небольших маломощных радиопередатчиков. Спецификация ZigBee нацелена на приложения, которым требуется большее время автономной работы от батарей и большая безопасность, при небольших скоростях передачи данных.
- ▶ Основная особенность технологии ZigBee заключается в том, что она при относительно *невысоком энергопотреблении* поддерживает не только простые топологии беспроводной связи («точка-точка» и «звезда»), но и сложные беспроводные сети с многосвязной (ячеистой) топологией с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Области применения технологии ZigBee - это построение беспроводных сенсорных сетей, автоматизация жилых и строящихся помещений, создание индивидуального диагностического медицинского оборудования, системы промышленного мониторинга и управления, а также применение в бытовой электронике и персональных компьютерах.



- ▶ Технология ZigBee разработана с целью быть *проще и дешевле*, чем другие беспроводные персональные сети, такие как Bluetooth.
- ▶ Устройство ZigBee может активироваться (переходить от спящего режима к активному) *за 15 миллисекунд* или меньше, что существенно меньше по сравнению с Bluetooth, для которого задержка при переходе от спящего режима к активному достигает 3-х секунд. Так как устройства ZigBee большую часть времени находятся в спящем режиме, уровень потребления энергии может быть очень низким, благодаря чему достигается продолжительная работа батарей.

## Типовые области применения технологии ZigBee:

- ▶ домашняя автоматизация - температурный контроль, охрана и безопасность, датчики воды и мониторинг энергии, датчики задымления и пожара и т.д.;
- ▶ мобильные службы - мобильные оплата, мониторинг и контроль, охрана и контроль доступа в помещения, охрана здоровья, телепомощь;
- ▶ промышленное и коммерческое применение — контроль производственных процессов и промышленного оборудования, управление энергией, контроль доступа.

Существуют три типа устройств ZigBee.

- ▶ **Координатор ZigBee (ZC)** - наиболее ответственное устройство, формирующее пути дерева сети и связывающееся с другими сетями. В каждой сети есть один координатор ZigBee, который запускает сеть и может хранить информацию о сети.
- ▶ **Маршрутизатор ZigBee (ZR)** - может выступать в качестве промежуточного устройства, передавая данные между остальными устройствами.
- ▶ **Конечное устройство ZigBee (ZED)** - может обмениваться информацией с материнским узлом (координатором или маршрутизатором), но не может передавать данные от других устройств. Такое поведение позволяет узлу большую часть времени пребывать в спящем состоянии, что позволяет экономить энергоресурс батарей. Конечное устройство имеет небольшую память, что делает его дешёвым в производстве.

Устройства ZigBee должны быть совместимы со стандартом IEEE 802.15.4 беспроводных персональных сетей, который описывает нижние слои протокола (физический слой PHY и управление доступом MAC). Стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) предусматривает использование метода широкополосной модуляции с прямым расширением спектра и работу в трех диапазонах:

- ▶ 1 канал в диапазоне 868,0-868,6 МГц;
- ▶ 10 каналов в диапазоне 902-928 МГц (шаг центральных частот 2 МГц, самая нижняя из них - 906 МГц);
- ▶ 16 каналов в диапазоне 2400-2483,5 МГц (шаг центральных частот 5 МГц, самая нижняя из них - 2405 МГц).

Соответственно скорость передачи данных составляет 20 кбит/с, 40 кбит/с и 250 кбит/с для каждого канала, расстояние передачи - от 10 до 75 метров.

- ▶ Базовый режим доступа к каналу в сетях ZigBee - CSMA/CA - множественный доступ с контролем несущей и предотвращением коллизий. Однако возможны ситуации, исключающие применение CSMA. Например, при передаче пакетов подтверждения приема данных (если потеря пакета критична)
- ▶ Стандарт ZigBee призван заполнить вакуум в спектре низкоскоростных и дешевых беспроводных сетевых технологий, поскольку делает возможным построение сетей с низким потреблением энергии и гибкими функциями поддержки беспроводного взаимодействия.

# Беспроводные сенсорные сети

- ▶ Беспроводная сенсорная сеть (WSN - Wireless Sensor Network) представляет собой распределённую самоорганизующуюся устойчивую к отказу отдельных элементов сеть, состоящую из множества необслуживаемых и не требующих специальной установки датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединённых посредством *радиоканала*. Область покрытия сенсорной сети может составлять *от нескольких метров до нескольких километров* за счёт ретрансляции сообщений от одного элемента к другому.

Беспроводные сенсорные сети находят всё более широкое применение в производстве, на транспорте, в системах обеспечения жизнедеятельности, в охранных системах и т.п. Использование недорогих беспроводных сенсорных устройств контроля параметров делает возможным применение сенсорных сетей для контроля:

- ▶ различных параметров (температура, давление, влажность и т. п.);
- ▶ доступа в режиме реального времени к удаленным объектам мониторинга;
- ▶ отказов исполнительных механизмов;
- ▶ экологических параметров окружающей среды.

- ▶ Беспроводные сенсорные сети состоят из *миниатюрных вычислительных устройств - мотов*, снабженных сенсорами (датчиками температуры, давления, освещенности, уровня вибрации, местоположения и т. п.) и *приемопередатчиками сигналов*, работающими в заданном радиодиапазоне. Сенсорная сеть позволяет подключать до 65000 устройств.
- ▶ Каждый узел сенсорной сети может содержать различные датчики для контроля внешней среды, микрокомпьютер и приемопередатчик. Это позволяет устройству проводить измерения, самостоятельно проводить начальную обработку данных и поддерживать связь с внешней информационной системой.



«Классическая» архитектура сенсорной сети основана на типовом узле, который может быть представлен тремя устройствами.

**Сетевой координатор (FFD – Fully Function Device):**

- ▶ осуществляет глобальную координацию, организацию и установку параметров сети;
- ▶ наиболее сложное устройство, требующее память большой ёмкости и источник питания.

**Устройство с полным набором функций (FFD – Fully Function Device):**

- ▶ поддерживает стандарт 802.15.4 (ZigBee);
- ▶ дополнительная память и энергопотребление позволяют выполнять роль координатора сети;
- ▶ поддерживает все топологии («точка-точка», «звезда», «дерево», «ячеистая сеть»);
- ▶ общается с другими устройствами сети.

## Устройство с ограниченным набором функций (RFD – Reduced Function Device);

- ▶ поддерживает ограниченный набор функций стандарта 802.15.4;
- ▶ поддерживает топологии «точка-точка», «звезда»;
- ▶ не выполняет функции координатора;
- ▶ обращается к координатору сети и маршрутизатору.

# Сравнение беспроводных

- ▶ Технологии WiMAX и WiFi имеют много общего - термины созвучны, название стандартов, на которых основаны эти технологии, похожи (стандарты разработаны IEEE, оба начинаются с «802.»), а также обе технологии используют беспроводное соединение и могут использоваться для подключения к Интернету. Но, несмотря на это, эти технологии направлены на решение совершенно разных задач.
- ▶ В табл. 3.9 для сравнения сведены рассмотренные выше беспроводные технологии передачи данных.

Таблица 3.9

Технология	Стандарт	Область примен.	Пропускная способность	Радиус действия	Диапазон частот
<i>WiFi</i>	802.11a	WLAN	до 54 Мбит/с	до 100 м	5,0 ГГц
<i>WiFi</i>	802.11b	WLAN	до 11 Мбит/с	до 100 м	2,4 ГГц
<i>WiFi</i>	802.11g	WLAN	до 108 Мбит/с	до 100 м	2,4 ГГц
<i>WiFi</i>	802.11n	WLAN	до 300 Мбит/с, в перспективе до 600 Мбит/с	до 100 м	2,4 - 2,5; 5,0 ГГц
<i>WiMax</i>	802.16d	WMAN	до 75 Мбит/с	6-10 км	1,5-11 ГГц
<i>WiMax</i>	802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбит/с	1-5 км	2.3-13.6 ГГц
<i>Bluetooth v.1.1</i>	802.15.1	WPAN	до 1 Мбит/с	до 10 м	2,4 ГГц
<i>Bluetooth v.1.1</i>	802.15.3	WPAN	от 11 Мбит/с до 55 Мбит/с	до 100 м	2,4 ГГц
<i>ZigBee</i>	802.15.4	WPAN	от 20 кбит/с до 250 кбит/с	1-100 м	2,4 ГГц (16 каналов); 915МГц (10); 868 МГц (1)
<i>Инфра-красный порт</i>	IrDa	WPAN	до 16 Мбит/с	до 50 см; од- носторонняя связь до 10 м	