

# БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСОНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ

**А.Г. Финогеев**

Пензенский государственный университет

440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные технологии и базовые стандарты беспроводной передачи данных. Беспроводные технологии приводятся согласно их классификации по основным секторам их применения в качестве радиointерфейсов, локальных, региональных и глобальных сетей. Приводятся технические характеристики и сравнительный анализ различных технологий. В заключении проанализированы перспективные направления в плане использования современных беспроводных технологий для интеллектуального дистанционного управления различными объектами и процессами, а также создания систем персональной информационной поддержки и передачи мультимедийной информации.

**Annotation.** In article the basic technologies and base standards of wireless data transmission are considered. Wireless technologies are resulted according to their classification on the basic sectors of their application as radiointerfaces, local area, metropolitan and wide area networks. Characteristics and the comparative analysis of various technologies are brought. In the conclusion perspective directions by way of use of modern wireless technologies for intellectual remote control by various objects and processes, and also creation of systems of personal information support and transfer of the multimedia information are analyzed.

## **Введение**

В век «информационного сообщества» с уверенностью можно констатировать возрастающий интерес государств и общественных организаций к телекоммуникационным технологиям как основе для создания единого информационного пространства планеты. Сложилось понимание информационной инфраструктуры – важнейшего компонента любого вида деятельности как совокупности информационных ресурсов и программно-аппаратных средств вычислительной техники, информационных технологий и телекоммуникационных сетей. Телекоммуникационные технологии играют ключевую роль, определяют темпы и качество построения информационного общества.

Технологии построения сетей передачи информации как самостоятельное понятие возникли лишь в середине XX в., а уже к его концу наблюдалось их проникновение во все сферы человеческой деятельности. К факторам, оказавшим определяющее воздействие на развитие сетевых технологий, в первую очередь следует отнести успехи микроэлектронной индустрии, связанное с ними совершенствование вычислительной техники и достижения последнего времени в технологии систем оптоволоконной и беспроводной связи.

Эволюция телекоммуникационных технологий осуществляется в двух основных направлениях: в направлении увеличения пропускной способности каналов связи, прежде всего оптоволоконных, и в направлении перехода к мобильным технологиям. Ближе всего к понятию «мобильности» находятся беспроводные способы обмена данными, так как во всех остальных случаях имеют место быть определенные ограничения как на степень подвижности устройств, так и на скорость и объемы передаваемых данных. В случае же беспроводной связи практически единственным существенным ограничением является пропускная способность канала связи.

Именно поэтому в данном обзоре мы остановимся на развитии технологий беспроводной передачи данных для их использования в современных системах управления и персональной информационной поддержки.

## **1. Основные технологии беспроводной передачи данных**

Возможны несколько способов беспроводной передачи информации между мобильными устройствами – инфракрасное соединение, соединение посредством радиоволн, соединение с помощью микроволновых (СВЧ) технологий.

Принято классифицировать беспроводные технологии передачи данных по «дальнобойности» на следующие сектора:

1. Сектор локальных интерфейсов (короткодействующие технологии беспроводной передачи данных (Bluetooth, WirelessUSB),
2. Сектор локальных домашних и офисных сетей (среднедействующие технологии беспроводной передачи данных (WiFi),
3. Сектор региональных городских сетей (среднедействующие технологии беспроводной передачи данных (WiMAX, Mobile Broadband Wireless Access),
4. Сектор глобальных сетей (дальнедействующие технологии беспроводной передачи данных на базе радиорелейных, сотовых и спутниковых технологий).

В то же время можно выделить следующие основные разновидности беспроводных сетей связи, используемых для обслуживания мобильных абонентов:

- Персональные;
- Временно создаваемые сети произвольной структуры;
- Локальные сети беспроводного доступа;
- Беспроводные наземные радиорелейные магистрали;
- Сотовые сети;
- Глобальные спутниковые;
- Гибридные гетерогенные сети разной конфигурации.

## **2. Технологии беспроводных локальных интерфейсов**

### **2.1. Инфракрасная передача данных**

Летом 1993 года компания Hewlett-Packard организовала общепромышленное совещание, чтобы обсудить будущее инфракрасной (ИК) передачи данных. На совещании был сформирован консорциум ведущих компаний, названных Ассоциацией инфракрасной передачи данных, а в июне 1994 года была объявлена первая версия стандарта, включающая физический и программный протоколы – IrDA 1.0. Протокол IrDA (Infra red Data Association) позволяет соединяться с периферийным оборудованием без кабеля при помощи ИК излучения с длиной волны 880nm. Порт IrDA позволяет устанавливать связь на коротком расстоянии в режиме точка-точка. Стандарт не предусматривает создание локальной сети на основе ИК излучения, поскольку сетевые интерфейсы сложны и требуют большой мощности, а здесь целью являлось низкое потребление и экономичность. Интерфейс использует узкий ИК диапазон с малой мощностью потребления, что позволяет создать недорогую аппаратуру и не требует сертификации FCC (Федеральной Комиссии по Связи). Устройство инфракрасного интерфейса подразделяется на два блока: преобразователь (модули приемника-детектора и диода с управляющей электроникой) и кодер-декодер. Блоки обмениваются данными по электрическому интерфейсу, в котором в том же виде транслируются через оптическое соединение. Сам порт ИК связи основан на архитектуре компьютерного COM порта, который использует универсальный асинхронный приемо-передатчик UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) и работает со скоростью передачи данных 2400–115200 bps. Инфракрасная связь полудуплексная, т.к. передаваемый луч неизбежно засвечивает соседний усилитель приемника. Воздушный промежуток между устройствами позволяет принять ИК энергию от одного источника в данный момент.

Интерфейс IrDA описывается стандартами: IrDA 1.0 SIR (Serial Infrared); IrDA 1.1 FIR (Fast Infrared) и MIR (Middle Infrared); ASK IR (Amplitude Shift Keyed IR). При передаче данных протокол IrDA обеспечивает пропускную способность от 4 до 16 Мбит/сек. Более высокая скорость достигается с помощью протокола Very Fast

Infrared (VFIR), который спроектирован специально для передачи больших файлов между цифровыми камерами, сканерами и персональными компьютерами.

В таблице 1 приведены основные технические параметры ИК связи.

Таблица 1

<b>Особенность/Функция</b>	<b>Характеристика</b>
Тип связи	Инфракрасное излучение, узкий луч (угол до 30 градусов)
Диапазон частот	Оптический
Мощность передачи	100 мВт
Скорость передачи данных	4 Мбит/сек (16 Мбит/сек, при использовании VFIR)
Дальность	До 1 метра
Количество устройств	Два
Голосовые каналы	Один(1)
Защита данных	Малый радиус действия и малый угол луча обеспечивает простую форму защиты; на канальном уровне других возможностей защиты нет.
Адресация	32-битный физический идентификатор (identifier — ID) устройства

К основным недостаткам беспроводного обмена информацией по инфракрасным каналам относятся недостаточная степень мобильности и проблема препятствий, поэтому для создания систем управления информационной поддержки имеет смысл рассматривать технологии беспроводной радиосвязи.

## **2.2. Технология и стандарты Bluetooth связи**

Технология беспроводного соединения мобильных устройств Bluetooth - это радио-интерфейс малой мощности, разработанный прежде всего для замены существующих кабельных и инфракрасных соединений офисной и бытовой

электронной техники. В отличие от инфракрасной связи технология Bluetooth разработана для организации как двухточечных соединений, так и многоточечного радиоканала не обязательно в зоне прямой видимости.

Еще в начале 1998 года компании Ericsson, IBM, Intel, Toshiba и Nokia объединились для совместной разработки технологии беспроводного соединения мобильных устройств. Официальное представление рабочей группы (SIG - Special Interest Group) произошло 20 мая 1998 года и было призвано обеспечить беспрепятственное внедрение технологии, получившей название Bluetooth. Вскоре в группу вошли компании 3COM/Palm, Axis Communication, Motorola, Compaq, Dell, Qualcomm, Lucent Technologies, UK Limited, Xircom. Сейчас группа включает в себя более 2000 компаний, принимающих участие в работе над бесплатной открытой спецификацией стандарта. Именно благодаря открытости, простоте, отсутствию платы за использование радиоканала и низкая стоимость устройств связи Bluetooth пока не имеет конкуренции в области беспроводного соединения различных устройств.

В спектре радиочастот системе беспроводной связи Bluetooth отведено 79 радиоканалов в диапазоне 2,4465-2,4835 ГГц (примерно по 1 МГц каждый). Диапазон 2,4 ГГц относится к безлицензионному промышленному, научному и медицинскому диапазону ISM (Industrial, Scientific, Medical), что позволяет свободно и бесплатно использовать устройства Bluetooth. Модули Bluetooth способны передавать данные со скоростью до 720 кбит/с на расстояние от 10 до 100 метров.

В спецификации стандарта Bluetooth 1.2. для передачи цифровых данных используется алгоритм частотной модуляции радио сигнала GFSK (Gaussian frequency-shift keying), а в стандарте Bluetooth 2.0 EDR дополнительно для секции данных - фазовой модуляции  $\pi/4$  DQPSK (differential quaternary phase-shift keying). Несущая частота колеблется в диапазоне  $\pm 160$  кГц для представления единиц и нулей. Технология использует принцип скачкообразной перестройки частоты FHSS с расширением спектра. При работе передатчик переходит с одной рабочей частоты на другую по псевдослучайному алгоритму. Для обмена данными используется дуплексный режим с временным разделением приёмного и передающего каналов (Time Division Duplex - TDD). Это означает, что каждый канал делится на слоты продолжительностью 625 мксек, причем каждому слоту соответствует определенный

канал. Передатчик в каждый момент времени использует только один канал. Перестройка частоты происходит синхронно на передатчике и на приемнике по закону заранее зафиксированной псевдослучайной последовательности. В секунду может происходить до 1600 изменений частоты. Этот метод обеспечивает конфиденциальность и помехозащищенность передач.

Протокол Bluetooth может поддерживать асинхронный канал передачи данных, до трех синхронных голосовых каналов или канал с одновременной асинхронной передачей данных и синхронной передачей голоса. Скорость голосового канала — 64 кбит/сек в каждом направлении, асинхронного в асимметричном режиме — до 723,2 кбит/сек в прямом и 57,6 кбит/сек в обратном направлениях, в симметричном режиме — до 433,9 кбит/сек в каждом направлении. Каждое устройство имеет уникальный 48-битовый сетевой адрес, совместимый с форматом стандарта локальных сетей IEEE 802.

Современные решения архитектур модулей Bluetooth проектируются, исходя из дешевизны, малого потребления и малых габаритов микросхемы. В состав входят приемопередатчик (трансивер), контроллер связи (процессор) и управляющее устройство, реализующее протоколы Bluetooth верхних уровней, а также интерфейс с терминальным устройством. Если трансивер и контроллер связи - это специализированные микросхемы, то устройства управления связью реализованы на стандартных сигнальных процессорах, либо его функции поддерживают центральные процессоры терминальных устройств, например, ноутбуков. Основной инновацией здесь является однокристалльный приёмопередатчик, объединяющий ВЧ схему и схему обработки цифровых потоков на одном кремниевом кристалле.

Технические требования Bluetooth представляют собой документ объемом более 1500 страниц, свободно доступный в Интернете по адресу [www.bluetooth.com](http://www.bluetooth.com).

В таблице 2 приведены основные технические параметры Bluetooth связи.

В ноябре 2004 года принято дополнение EDR (Enhanced Data Rate) к стандарту Bluetooth 2.0. Данный стандарт определяет изменения способов модуляции и дополнительные типы пакетов данных, с помощью которых возможно достичь пиковой скорости передачи 3 Мбит/с (с реальной передачей 2.1 Мбит/с). Также стандарт EDR значительно снижает потребление энергии устройствами Bluetooth за счет снижения времени потребления при более быстрой передаче.

Таблица 2

<b>Особенность/Функция</b>	<b>Характеристика</b>
Тип связи	Радиоволны
Диапазон частот	2,4465-2,4835 ГГц
Количество каналов	79
Ширина канала	1 МГц
Метод передачи	Перестройка частоты FHSS TDD
Длительность временного слота	625 мксек
Мощность передачи	Три класса передатчиков: класс 1 - от 1 до 100 мВт, класс 2 - от 0,25 до 2,5 мВт, класс 3 - до 1 мВт.
Скорость передачи данных	От 721 Кбит/сек до 3 Мбит/сек (стандарт Bluetooth 2.0 EDR)
Дальность	До 100 метров в зависимости от класса мощности
Количество устройств сети	От 8 в сети piconet до 256 в распределенной сети scatternet
Защита данных	Обеспечивается за счет перестройки частоты и аутентификации устройств через PIN-коды.
Адресация	Уникальный 48-битовый сетевой адрес, совместимый с форматом адреса стандартов IEEE 802.

Система Bluetooth предоставляет услуги по соединениям типа точка - точка для двух устройств Bluetooth или точка - много точек. В последнем случае устройства Bluetooth способны соединяться друг с другом, формируя пикосети, когда одно из устройств является ведущим (Master), еще семь - ведомыми (Slave). Несколько пикосетей могут перекрываться, образуя распределенную сеть (scatternet) с общим числом устройств до 256. В момент присоединения к пикосети каждое Slave-устройство получает от мастера пакет, в котором содержится идентификатор Global\_ID,

используемый для определения номера последовательности перестройки частоты, а также трехбитный адрес АМА (Active Member Address) для общения с соседями. Мастер-устройство всегда имеет адрес 0. Однако при объединении пикосетей в распределенную сеть мастер принудительно переводит одно из подчиненных устройств в режим парковки и присваивает ему восьмибитный адрес РМА (Passive Member Address). Таким образом мини-сети могут общаться между собой через устройства, находящиеся в зоне действия двух и более сетей. Таким образом, они объединяются в структуры, называемые Scatternet.

Основным преимуществом Bluetooth является то, что это спецификация глобальной технологии для беспроводной связи с низкой стоимостью. Технология Bluetooth предназначена для устранения кабельных соединений между компьютерами, периферийными устройствами и другими электронными устройствами. Также технология позволяет устройствам связываться, как только они появляются в зоне действия друг друга, причем устройства не требуют настройки, — они всегда включены и работают в фоновом режиме. В отличие от Infrared, устройства Bluetooth могут работать сквозь препятствия, не требуя прямой видимости. Недостатком технологии является узкая полоса пропускания радиоканалов, что не позволяет обеспечить большую скорость передачи данных.

К областям использования Bluetooth-технологии можно отнести:

1. Реализацию передачи цифрового звука на близких расстояниях без специализированной аппаратуры в мобильных аудиосистемах;
2. Замену инфракрасной связи для управления электронной техникой в пультах дистанционного управления;
3. Дистанционное управление виртуальными презентациями и программным обеспечением с мобильного средства связи;
4. Создание малых сетей для скоростного соединения компьютерной, периферийной и оргтехники, мобильных средств связи;
5. Разработку систем персональной информационной поддержки;
6. Разработку комплексного устройства управления интегрированной системой жизнеобеспечения интеллектуального дома или автомобиля.

Дополнительную информацию можно найти на сайте [www.bluetooth.com](http://www.bluetooth.com).

### 2.3. Технология и стандарт ZigBee

Беспроводная технология ZigBee предназначена для использования в системах сбора данных и управления. Она обладает малым энергопотреблением, надежностью передачи данных и защиты информации, совместима с устройствами различных производителей. ZigBee ориентирована на передачу данных в тех системах, где не выдвигаются жестких требований к задержкам при передаче данных. Эта технология позволяет охватить единой беспроводной сетью здания и другие крупные объекты с большим числом узлов (по стандарту — до 65 тыс.). Все это достигается за счет применения сложных механизмов маршрутизации сообщений, что позволяет передавать информацию через десятки промежуточных узлов сети к конечной точке.

Осенью 2002 года компании Invensys, Mitsubishi Electric, Philips Semiconductors и Motorola образовали альянс по продвижению нового стандарта беспроводной связи, получившего название ZigBee (также известен как HomeRF lite, Firefly и RF-EasyLink). В декабре 2004 г. появилась первая версия спецификации ZigBee 1.0 с описанием профиля стека HC (Home Control, который предписывал использовать сеть с топологией "дерево") и профиля приложения HCL (Home Control Lighting) для управления осветительным оборудованием. В последней конференции альянса ZigBee приняли участие более 500 фирм. Лидерами рынка ZigBee являются такие компании, как Freescale, Texas Instruments (Chipcon) и Jennic. Сегодня под наименованием ZigBee фактически скрыт набор протоколов и расширений к международному стандарту IEEE 802.15.4, благодаря которым обеспечивается совместимость устройств различных производителей.

Стандарт IEEE 802.15.4 содержит описание радиочастотной части сети ZigBee: типы модуляции (BPSK и O-QFSK), частотные диапазоны, и соответствующая им скорость передачи. Спецификация ZigBee предусматривает передачу информации в радиусе от 10 до 75 метров с максимальной скоростью 250 кбит/с. Однако малая пропускная способность компенсируется сверхнизким энергопотреблением, поскольку стандарт предусматривает максимально низкое энергопотребление устройств за счет того, что большую часть времени аппаратура находится в спящем режиме, лишь

изредка прослушивая эфир. За стандартом ZigBee закреплены 27 каналов в трех частотных диапазонах - 2,4 ГГц (16 каналов), 915 МГц (10 каналов) и 868 МГц (1 канал). Максимальная скорость передачи данных для этих эфирных диапазонов составляет, соответственно, 250 кбит/с, 40 кбит/с и 20 кбит/с. Доступ к каналу осуществляется по контролю несущей (Carrier Sense, Multiple Access, CSMA), то есть устройство сначала проверяет, не занят ли эфир, и только после этого начинает передачу. Поддерживается шифрование по алгоритму AES с длиной ключа 128 бит. Стандарт 802.15.4 предполагает наличие уникального 64-битного адреса на MAC уровне, а так же наличие дополнительного 16-ти битного сетевого адреса (PAN-ID) для определения принадлежности данного устройства к той или иной WPAN (Wireless Personal Area Network).

Особенность ZigBee заключается в том, что она предназначена для реализации не только простых соединений "точка-точка" и "звезда", но и сложных сетей с топологиями "дерево" и "ячеистая сеть", способных поддерживать ретрансляцию и поиск эффективного маршрута передачи данных. Сети ZigBee являются самоорганизующимися и самовосстанавливающимися. Благодаря встроенному программному обеспечению их устройства при включении питания умеют сами находить друг друга. В случае выхода из строя какого-либо прибора они способны искать новые маршруты для передачи сообщений. Сеть ZigBee содержит узлы трех основных типов: координаторы, маршрутизаторы и конечные устройства. Координатор - обязательный узел, который образует сеть, выбирая для нее номер частотного канала и идентификатор. Затем к нему подключаются маршрутизаторы и конечные устройства, количество которых можно наращивать.

Преимуществами технологии является то, что хотя ZigBee-оборудование не может обеспечить передачу данных на расстояние свыше 70-80 метров, оно может использоваться в качестве туннеля для трафика каналы устройств Wi-Fi или Bluetooth, если они находятся в зоне видимости. Что касается энергопотребления, то, теоретически, одной небольшой батарейки должно хватать для поддержания работоспособности ZigBee-оборудования в течение нескольких месяцев и даже лет. Среди прочих достоинств стандарта следует упомянуть хорошую масштабируемость, возможность самовосстановления в случае сбоев и простоту настройки. При

применении 64-битной адресации в единую сеть могут быть объединены свыше 60 тысяч ZigBee-устройств.

Низкая пропускная способность и маленький радиус действия не позволяют применять сети ZigBee для трансляции мультимедийной информации (поточкового видео или аудио) или для связи между собой удаленных офисов. Для этого существует технология широкополосной беспроводной передачи данных WiMAX. Основной сферой применения ZigBee-устройств в перспективе станут системы мониторинга, безопасности, контроля состояния медицинской аппаратуры и пр. Датчики с контроллерами ZigBee могут упростить работу служб технической поддержки в крупных организациях. Ведь в этом случае при возникновении нештатной ситуации инженерам, чтобы выявить причину неисправности, будет достаточно быстро произвести опрос сенсоров, например, с помощью ноутбука или карманного компьютера. К тому же применение беспроводной связи и автономных источников питания повышает надежность охранных систем и комплексов мониторинга, поскольку злоумышленник не сможет вывести всю беспроводную сеть из строя путем отключения одного силового кабеля. Предполагается также, что связь ZigBee станет неотъемлемой частью "цифрового дома". Причем контроллеры ZigBee получают не только датчики систем безопасности и сигнализации, но и бытовая техника, в том числе кондиционеры, видеомagniетофоны, телевизоры, и даже обыкновенные выключатели света. Это позволит контролировать работу всех приборов при помощи унифицированного пульта дистанционного управления или мобильного телефона. Кроме того, ZigBee-котроллеры могут встраиваться в различные компьютерные устройства, не предъявляющие высокие требования к пропускной способности каналов связи. Это могут быть, например, джойстики, мыши и т.п. В сфере медицины беспроводная связь ZigBee поможет отслеживать состояние перенесших операции пациентов или людей, находящихся в тяжелом состоянии. Вместо датчиков с проводами на руку пациента можно будет надеть электронный браслет с сенсорами давления, температуры, частоты сердечных сокращений и с нужной периодичностью сбрасывать снимаемые показания на центральный сервер, который в случае опасности выдаст сигнал тревоги с указанием номера палаты и койки. Естественно, для ZigBee-устройств найдутся и многие другие

области применения. В перспективе беспроводные сети ZigBee должны составить серьезную конкуренцию технологии Bluetooth.

В таблице 3 приведены основные технические параметры ZigBee связи.

Таблица 3

<b>Особенность/Функция</b>	<b>Характеристика</b>
Тип связи	Радиоволны
Диапазон частот	868, 902 и 2400 МГц
Количество каналов	2,4 ГГц (16 каналов), 915 МГц (10 каналов) и 868 МГц (1 канал)
Срок службы батареи	От 100 до 1000 и более дней
Метод передачи	Расширение спектра методом прямой последовательности Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
Время подключения	30 мс
Мощность передачи	1 мВт.
Скорость передачи данных	До 250Кбит/с
Дальность	До 70 м
Число узлов сети	65 536 (64-битные адреса), 264 (16-битные адреса)
Защита данных	Шифрование данных по алгоритму AES с длиной ключа 128 бит
Адресация	Уникальный 64-битный адрес на MAC уровне, дополнительный 16-ти битный адрес (PAN-ID)

Дополнительную информацию можно найти на сайте [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org).

#### **2.4. Технология и стандарты Wireless USB**

Wireless USB – это один стандарт из целой серии беспроводных интерфейсов, основанных на использовании технологии сверхширокополосной UWB (Ultra-

Wideband) модуляции на базе рекомендаций альянсов MultiBand OFDM Alliance (MBOA) и WiMedia Alliance в частотном диапазоне шириной 7,5 ГГц. MBOA и WiMedia Alliance являются открытыми индустриальными группами для продвижения стандартов персональных беспроводных сетей — WPAN (Wireless Personal Area Networks). В настоящее время практически завершено слияние данных групп ради совместной работы над чистой версией технологии.

Все беспроводные интерфейсы на основе UWB имеют единую организацию протоколов канального и физического уровней модели Open System Interconnection (OSI) на базе спецификаций IEEE802.15.3.

UWB - это беспроводная технология, предназначенная для передачи данных на короткие - до 10 метров, расстояния, с высокой пропускной способностью (до 480 Мбит/с) и низкой потребляемой мощностью. При передаче данных по радиоканалам UWB используется технология мультиплексирования по ортогональным несущим частотам (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) в сочетании с несколькими частотными диапазонами (MultiBand OFDM), что требует использования широких частотных диапазонов. Широкие полосы пропускания позволяют обойти скоростные ограничения рассмотренной ранее технологии Bluetooth при создании беспроводных локальных интерфейсов. Поэтому UWB - это решение для беспроводной передачи высококачественного мультимедийного контента, например видеопотока. Одно из преимуществ технологии UWB заключается в том, что она не создает помех для других беспроводных технологий, так как специфический принцип модуляции и отсутствие несущей частоты приводят к своеобразному широкополосному "размазыванию" сигнала по всему спектру в виде "белого шума", не превышающего по уровню обычные фоновые помехи.

Пакеты данных формируются по принципу транзакций USB 2.0 и переносятся с помощью уже протокола множественного доступа с разделением каналов по времени TDMA (Time Division Multiple Access). Каждая OFDM-передача в полосе пропускания 4 МГц вмещает в себя 100 пакетов данных. Формат пакетов остается неизменным для любой скорости обмена данными. Шесть пакетов формируют базовый пакет продолжительностью 1,875 мкс, который в последствии преобразовывается в конкретные биты данных.

Стандарт предусматривает поддержку базовых скоростей обмена данными - 53,3 Мбит/с, 106,7 Мбит/с и 200 Мбит/с и опционально - 80 Мбит/с, 160 Мбит/с, 320 Мбит/с, 400 Мбит/с и 480 Мбит/с. Еще одно преимущество технологии – практически мгновенная масштабируемость трафика, т.е. в зависимости от расстояния между устройствами, скорость может изменяться в пределах от 53,3 Мбит/с до 480 Мбит/с.

По аналогии с проводным USB, устройства Wireless USB обладают собственным адресом, получаемым при подключении. Каждое устройство Wireless USB поддерживает один или несколько каналов связи. Базовыми элементами инфраструктуры беспроводной сети Wireless USB являются концентратор и радиальные линии. В такой топологии хост-контроллер инициирует любой обмен данными между подключенными к нему устройствами, выделяя временные интервалы и полосу пропускания каждому подключенному устройству. Соединения относятся к типу "точка-точка" и осуществляются между Wireless USB-хостом и Wireless USB-устройством. Хост с логически подключенными к нему устройствами (максимально — до 127) образует неформальный Wireless USB-кластер. Wireless USB-кластеры работают в перекрывающейся пространственной среде с минимальными взаимными помехами, что позволяет функционировать нескольким кластерам в пределах общей зоны действия радиоизлучающих устройств. В таблице 4 приведены основные технические параметры Wireless USB связи.

Таблица 4

<b>Особенность/Функция</b>	<b>Характеристика</b>
Тип связи	Широкополосные радиоимпульсы (Shaped pulse)
Диапазон частот	Выделяемые участки в диапазоне 3,1 - 10,6 ГГц
Ширина каналов	> 500 МГц; в диапазонах MBOA: 528 МГц
Модуляция	Многочастотная OFDM (Frequency Switched OFDM)
Метод доступа	Множественный доступ с обнаружением несущей и предотвращением коллизий CSMA-CA
Метод передачи	Пакетный

Мощность передачи	Три класса передатчиков: класс 1 - от 1 до 100 мВт, класс 2 - от 0,25 до 2,5 мВт, класс 3 - до 1 мВт.
Скорости передачи данных	53,3, 80, 106,7, 160, 200, 320, 400, 480 Мбит/с.
Дальность	До 10 метров
Количество устройств кластера	До 127

### **3. Технологии локальных домашних и офисных сетей**

#### **3.1. Технология и стандарты IEEE 802.11**

В период с 1990 по 1997 годы в результате работы одной из рабочих групп Institute Electrical Equipment Engineering (IEEE) была создана первая спецификация стандарта беспроводных локальных соединений 802.11. IEEE 802.11 стал группой стандартов, определившей основные протоколы, необходимые для организации беспроводных локальных сетей (Wireless Local Area Network – WLAN), а также первыми стандартами для продуктов WLAN от независимой международной организации, разрабатывающей большинство стандартов для проводных сетей. За совместимостью продуктов различных производителей для беспроводных сетей следит группа Wi-Fi Alliance, бывшая WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), в которую входят более 80 наиболее крупнейших компаний, такие как Cisco , Lucent , 3Com , IBM , Intel, Apple, Compaq, Dell , Fujitsu , Siemens , Sony , AMD и пр.

Для передачи данных стандарты 802.11 используют безлицензионные частотные диапазоны 2,4 ГГц и 5 ГГц. Связь обеспечивается в радиусе 100 - 300 метров от стандартной точки доступа на открытой местности. На сегодняшний день основными стандартами являются 802.11a, 802.11b и 802.11g.

**IEEE 802.11a.** В 1999 году был принят стандарт IEEE 802.11a. Он ориентирован на работу в диапазоне 5 ГГц и способен обеспечить скорость передачи данных до 54 Мбит/с. Диапазон состоит из двух частотных полос общей шириной 300 МГц. Первая полоса 5,15-5,35 ГГц, вторая — 5,725-5,825 ГГц. При этом первая полоса разделена на две полосы по 100 МГц. Таким образом, для передачи используется три не перекрывающихся частотных канала по 100 МГц, каждый из которых имеет ограничения по мощности сигнала - 50 мВт в «нижнем» диапазоне, 250 мВт в «среднем» и до 1 Вт в «верхнем». В России оборудование стандарта использовать не разрешено, поскольку в нем работает оборудование государственных служб. В стандарте определены три обязательные скорости передачи данных (6, 12 и 24 Мбит/с) и пять дополнительных (9, 18, 24, 48 и 54 Мбит/с). Имеется возможность одновременного использования двух каналов; скорость при этом удваивается.

Стандарт 802.11a использует метод кодированного ортогонального частотного мультиплексирования (COFDM, Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Разделение передачи информации по нескольким "несущим" частотам приводит к возможности снижения скорости передачи на каждой из них, что в свою очередь обеспечивает большую помехозащищенность связи при достижении общей высокой пропускной способности. В таблице 5 приведены основные технические параметры 802.11a.

Таблица 5

<b>Особенность/Функция</b>	<b>Характеристика</b>
Тип связи	Расширение спектра (скачкообразная перестройка частоты - FHSS)
Диапазон частот	Две полосы частот: 5,15-5,35 ГГц и 5,725-5,825 ГГц
Мощность передачи	50 мВт, 250 мВт, 1000 мВт
Скорость передачи данных	Три обязательные (6, 12 и 24 Мбит/с) и пять дополнительных (9, 18, 24, 48 и 54 Мбит/с)
Дальность	До 300 метров на открытом пространстве
Количество устройств в сети	Теоретически до 255 устройств на одну точку доступа; несколько точек доступа в сети
Голосовые каналы	Передача голоса по Интернет-протоколу
Защита данных	Аутентификация: вызов-ответ между точкой доступа и клиентом по стандарту WEP (Wired Equivalent Privacy). 128-битное кодирование.
Адресация	48-битный MAC адрес

**IEEE 802.11b.** Данный стандарт известен по наименованию - Wi-Fi (Wireless Fidelity) - присвоенному ему Ассоциацией WECA. Он также принят в 1999 году, и именно его появление привело к нынешнему широкому распространению WLAN для организации локальных сетей и доступа в Интернет и собственно названию Wi-Fi. Для работы сетей Wi-Fi стандартом предусмотрено использование безлицензионного частотного диапазона от 2,4 до 2,4835 ГГц. Стандартом предусмотрено применение

технологии широкополосной модуляции с расширением спектра методом прямой последовательности (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS), как обеспечивающей более устойчивую работу сети в условиях многократного отражения радиосигналов со скоростью до 11 Мбит/с. При этом используется способ расширения спектра на основе кодирования с использованием комплементарных кодов (Complementary Code Keying, ССК), что позволяет кодировать 8 бит на один символ при скорости 11 Мбит/с. В таблице 6 приведены основные технические параметры 802.11a.

Таблица 6

<b>Особенность/Функция</b>	<b>Характеристика</b>
Тип связи	Расширение спектра (прямая последовательность DSSS)
Диапазон частот	От 2,4 до 2,4835 ГГц
Мощность передачи	100 мВт, 500 мВт
Скорость передачи данных	До 11 Мбит/сек
Дальность	До 100 метров
Количество устройств в сети	Теоретически до 255 устройств на одну точку доступа; несколько точек доступа в сети
Голосовые каналы	Передача голоса по Интернет-протоколу
Защита данных	Аутентификация: вызов-ответ между точкой доступа и клиентом по стандарту WEP (Wired Equivalent Privacy). 128-битное кодирование.
Адресация	48-битный MAC адрес

**IEEE 802.11g.** Этот стандарт принят в середине 2003 года, как развитие стандарта 802.11b. В нем используется тот же частотный диапазон 2,4 ГГц, но вместе с технологией мультиплексирования (OFDM) и алгоритмом псевдослучайной скачкообразной перестройки рабочей частоты (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS), что обеспечивает достижение скорости передачи данных до 54 Мбит/с. При этом оборудование стандарта 802.11g совместимо с оборудованием 802.11b, что обеспечивает одновременное подключение к сети устройств стандартов IEEE 802.11g и

IEEE 802.11b. Мощность устройств составляет 10-100 мВт. В таблице 7 приведены основные технические параметры 802.11a.

Таблица 7

<b>Особенность/Функция</b>	<b>Характеристика</b>
Тип связи	Расширение спектра (скачкообразная перестройка частоты - FHSS)
Диапазон частот	От 2,4 до 2,4835 ГГц
Мощность передачи	10-100 мВт
Скорость передачи данных	До 54 Мбит/сек
Дальность	100 – 300 метров
Количество устройств в сети	Теоретически до 255 устройств на одну точку доступа; несколько точек доступа в сети
Голосовые каналы	Передача голоса по Интернет-протоколу
Защита данных	Аутентификация: вызов-ответ между точкой доступа и клиентом по стандарту WEP (Wired Equivalent Privacy). 128-битное кодирование
Адресация	48-битный MAC адрес

Во всех стандартах 802.11 предусмотрено два основных типа архитектуры сетей: Ad-hoc и Infrastructure. Вариант Ad-hoc называют также IBSS (Independent Basic Service Set) или режим Peer-to-Peer ("точка-точка"). В этом режиме связь устанавливается непосредственно между рабочими станциями пользователей по принципу "каждый с каждым" и создание какой-либо общей сетевой инфраструктуры не требуется. Основу сети в режиме Infrastructure составляет сотовая архитектура, подобная той, что используется в мобильной связи. При этом такие сети могут состоять как из одной, так и из множества ячеек. Каждая ячейка управляется базовой станцией, называемой точкой доступа (Access Point), которая взаимодействует с находящимися в пределах ее радиуса действия пользовательскими устройствами. В этом режиме устройства пользователей напрямую друг с другом не связываются, а действуют через точку доступа. Сами же точки доступа соединяются между собой либо с помощью кабельной

сети, либо по радиоканалам и могут иметь выход в Интернет. Теоретически, к каждой точке доступа может быть подключено до 255 пользователей (ограничения IP-протокола), однако на практике данное число оказывается существенно меньше. Для обеспечения возможности совместной работы в сети без помех, стандартом определен механизм перехода узлов сети в режим передачи с предварительным уведомлением о намерении передачи данных, называемый методом множественного доступа с обнаружением несущей и предотвращением коллизий (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance - CSMA/CA). Дополнительную информацию о стандартах семейства IEEE 802 можно найти на web-страницах [www.spectrum.ieee.org](http://www.spectrum.ieee.org) и [www.standards.ieee.org/getieee802](http://www.standards.ieee.org/getieee802).

### **3.2. Технология и стандарт HomeRF**

Другой беспроводной технологией, которая использует безлицензионный ISM диапазон 2.4 ГГц, является стандарт HomeRF 2.0, который появился в марте 2001 г. Эта технология поддерживается более чем 100 компаниями, которые относятся к консорциуму HomeRF (<http://www.homerf.org/>). Многие из этих компаний входят также в специальную рабочую группу Bluetooth SIG. Спецификация HomeRF основана на протоколе совместного беспроводного доступа (Shared Wireless Access Protocol — SWAP), который определяет общий интерфейс, поддерживающий беспроводных сетей для передачи голоса и данных в пределах дома.

Протокол SWAP обеспечивает взаимодействие различных пользовательских электронных устройств от различных производителей, предлагая пользователям законченное сетевое решение, которое поддерживает как информационные, так и голосовые потоки данных, а также взаимодействие с коммутируемой телефонной сетью общего пользования и сетью Интернет.

В технологии HomeRF также используется метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты (FHSS). В качестве метода доступа к среде передачи при передаче голоса используется метод множественного доступа с временным разделением каналов (TDMA), а при передаче данных используется метод множественного доступа с контролем несущей и избеганием конфликтов

(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance — CSMA/CA). Максимальная скорость передачи до 20 Мбит/сек. В таблице 7 приведены основные технические параметры HomeRF 2.0.

Таблица 8

<b>Особенность/Функция</b>	<b>Характеристика</b>
Тип связи	Расширение спектра (скачкообразная перестройка частоты - FHSS)
Диапазон частот	От 2,4 до 2,4835 ГГц
Мощность передачи	100 мВт
Скорость передачи данных	До 20 Мбит/сек
Дальность	100 – 300 метров
Количество устройств в сети	До 127 устройств в сети
Голосовые каналы	До шести
Защита данных	Алгоритмы кодирования Blowfish
Адресация	48-битный MAC адрес

## **4. Технологии региональных городских сетей**

### **4.1. Технология и стандарт Wi-MAX**

Основанная на стандарте беспроводной связи IEEE 802.16-2004 технология WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) на сегодняшний день развивается стремительными темпами и, вероятно, будет играть ключевую роль в создании региональных (городских) сетей (Metropolitan Area Networks - MAN) в ближайшем будущем. WiMAX стандартизирован институтом IEEE технология как широкополосная беспроводная связь, дополняющая линии DSL и кабельные технологии в качестве альтернативного решения проблемы "последней мили" на больших расстояниях. Для тестирования, стандартизации, сертификации и маркетинга продуктов WiMAX создан индустриальный альянс WiMAX Forum, насчитывающий уже более 200 участников. В работе WiMAX Forum принимают участие такие известные компании как Intel Corporation, Airspan Networks, Alvarion, Aperto Networks, Ensemble Communications, Fujitsu Microelectronics America, Nokia, OFDM Forum, Proxim Corporation, Wi-LAN Inc и другие. Компания Intel сотрудничает с компаниями, уже развернувшими широкополосные беспроводные сети WiMAX более чем в 125 странах. Они обеспечивают широкий диапазон вариантов – от стационарных систем беспроводного доступа до двухточечных систем передачи масштаба предприятия. Стимулом для развития сетей WiMAX нового поколения также принятие индустриальным Форумом WiMAX в декабре 2005 года, финальных спецификаций стандарта IEEE 802.16e-2005 WiMAX Mobile System Profile, описывающих требования к мобильным WiMAX-устройствам.

Базовые характеристики стандарта 802.16 предусматривают дальность действия радиосвязи до 50 километров, покрытие с возможностью работы вне прямой зоны видимости и пиковую скорость обмена данными до 100 Мбит/с на сектор одной базовой станции.

Интерфейс мобильной беспроводной связи WiMAX основывается на использовании модуляции OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), либо масштабируемой модуляции SOFDMA (стандарт 802.16e) для поддержки

динамически изменяемой ширины канала – от 1.25 до 20 МГц. Фактически оборудование сетей WiMAX функционирует в нескольких частотных каналах шириной по 10 МГц в пределах лицензируемого диапазона 2 ГГц - 11 ГГц. Широкий разброс диапазонов выбран для учета специфики разных стран мира. Так, в Северной Америке для WiMAX используются участки в диапазонах 2,5 и 5 ГГц, в Центральной и Южной Америке - 2,5, 3,5 и 5 ГГц, на Ближнем Востоке, в Африке, Западной и Восточной Европе - 3,5 и 5 ГГц, в Азиатско-Тихоокеанском регионе - 2,3, 3,5 и 5 ГГц. В частности, к мобильной версии стандарта Mobile WiMAX передача данных идет с использованием каналов пропускной способностью 5, 7, 8.75 и 10 МГц на частотах 2.3, 2.5 и 3.5 ГГц.

Использование антенных технологий, гибкой схемы работы с каналами, а также метода расширенного кодирования и модуляции (Advanced Coding and Modulation - АСМ) позволяет добиться скорости приема данных 63 МБит\с, а передачи – 28 МБит\с на сектор в канале шириной 10 МГц.

Фундаментальной особенностью архитектуры канального MAC-уровня технологии является понятие «качества услуг» (Quality of Service - QoS), что ориентировано на соединение или на сервис.

В отличие от рассмотренных выше методик организации беспроводных сетей, зона охвата которых в лучшем случае составляет сотни метров относительно точки доступа, WiMAX позволяет значительно увеличить расстояние между передатчиками и повысить мобильность соединения.

#### **4.2. Технология и стандарты Mobile Broadband Wireless Access**

Следующая технология основана на стандарте IEEE 802.20, который описывает системы мобильного беспроводного широкополосного доступа для развертывания сетей масштаба города и больше, работающих в диапазонах частот не выше 3.5 ГГц. Данная технология определяет сеть персонального асимметричного широкополосного доступа с коммутацией пакетов, которая способна обеспечить пропускную способность в нисходящем канале по направлению к абоненту до 1-4 Мбит/с, и до 0.3-1.2 Мбит/с - в восходящем канале по направлению от абонента при перемещении абонентских терминалов со скоростью до 250 км/ч, в том числе и вне зоны прямой видимости.

В основе стандарта - технология высокоскоростного доступа с малым временем ожидания и бесшовным переходом между базовыми станциями на основе мультиплексирования с ортогональным разделением частоты Flash-OFDM. Здесь используется специальный алгоритм быстрой смены несущих OFDM в процессе передачи информации, что позволяет обеспечить высокое качество приема абонентскими терминалами в условиях отражения сигналов, в том числе в условиях быстрого перемещения абонентов и вне прямой видимости.

Основные особенности стандарта 802.20:

- Лицензируемый диапазон частот до 3,5 ГГц с рабочей полосой до 5 МГц;
- Ширина полосы радиоканала - от 1.25 МГц до 40 МГц;
- Высокая степень мобильности с возможностью работать на скорости движения до 250 км/ч;
- Симметричная передача данных со скоростью до 20 Мбит/с. Групповая максимальная скорость в соте в нисходящем канале - 16 Мбит/с, в восходящем - 3.2 Мбит/с (в полосе 5 Мбит/с);
- Радиус соты MBWA – до 15 км.

Стандарт 802.20, специально разрабатываемый для подвижных объектов, использует технологии Flash-OFDM и iBurst. Технология Flash-OFDM (Fast Low-Latency Access with Seamless Handoff OFDM, быстрый доступ с «бесшовным» переходом между подсетями) изначально разрабатывалась для широкополосных беспроводных сетей. Ее основной особенностью по сравнению с другими технологиями является обеспечение высокой степени мобильности абонента.

iBurst — это технология американской компании ArrayComm, обеспечивающая скоростную беспроводную связь. В отличие от Flash-OFDM, она имеет низкую себестоимость транспортировки информации. В настоящее время технология iBurst поддерживается только беспроводными модемами в переносных компьютерах.

## **5. Технологии глобальной беспроводной связи**

### **5.1. Обзор поколений сотовой связи**

#### **5.1.1. Системы связи первого поколения**

**Поколение 1G: NMT (Nordic Mobile Telephone) и AMPS (Advanced Mobile Phone Service).** История мобильной связи первого поколения (1G) начинается с реализации сотовой подвижной связи стандарта AMPS в США, а затем NMT-450 и TACS на базе AMPS (Total Access Communications Systems) в Европе с начала 1980-х гг. В частности, стандарт на аналоговые сотовые системы подвижной радиосвязи NMT-450 (The Nordic Mobile Telephone System) разработан совместно администрациями связи Дании, Финляндии, Норвегии и Швеции для организации совместной радиотелефонной связи общего пользования. Использовались две рабочие полосы пропускания частот (453-457,5 МГц и 463-467,5 МГц) для радиосвязи между подвижными и базовыми станциями. Несовместимость оборудования 1G, созданного в разных странах, и отсутствие единой системы стандартизации радиоинтерфейсов долгое время делали невозможным предоставление услуги роуминга.

#### **5.1.2. Системы связи второго поколения**

Стандарты первого поколения (1G) были аналоговыми, и революционный скачок был совершен при переходе на цифровые стандарты второго поколения (2G), среди которых следует выделить два направления — TDMA и CDMA.

К числу первых принадлежит наиболее распространенный стандарт GSM. Однако для обеспечения доступа в Интернет с портативных компьютеров, смартфонов и телефонов; стандарт GSM не подходит из-за низкой пропускной способности — 9600 бит/с. Последней из технологий второго поколения появилась CDMA (стандарт IS-95), в которой были усилены возможности шифрования разговоров, передачи данных и т.д. Стандарт CDMA более приспособлен для передачи данных и в своем базовом варианте относится к уже третьему поколению, так как, в соответствии со спецификациями IMT-2000, обеспечивает пропускную способность передачи данных не менее 384 Кбит/с, чего достаточно для двусторонней видеосвязи в разрешении 320x240. Разветвившись

на этапе второго поколения, технологии сотовой связи пришли к единому знаменателю в виде WCDMA — стандарта третьего поколения, лежащего в основе сетей UMTS (Universal Mobile Telephone System), который объединяет методы кодирования и мультиплексирования каналов GSM и методы разделения на поддиапазоны и мультиплексирование по ортогональным несущим CDMA2000.

**Поколение 2G: GSM (Global System for Mobile Communications).** Разработка нового общеевропейского стандарта цифровой сотовой связи началась в 1985 году. Для этого была создана специальная группа - Group Special Mobile. Система GSM развилась в глобальный стандарт второго поколения, занимающий лидирующие позиции в мире, как по площади покрытия, так и по числу абонентов.

Стандарт GSM предусматривает работу передатчиков в двух диапазонах частот. Полоса частот 890-915 МГц используется для передачи сообщений с подвижной станции на базовую, а полоса 935-960 МГц - для передачи сообщений с базовой станции абоненту. Разнос частот между каналами связи составляет 200 кГц, таким образом, полосе приема/передачи размещается 124 канала связи. В стандарте используется множественный доступ с временным разделением каналов (TDMA), что позволяет на одной несущей частоте разместить восемь речевых каналов одновременно. GSM оцифровывает и сжимает данные, затем пересылает их по каналу с двумя другими потоками пользовательских данных, каждый в своем собственном временном интервале.

Разработчики стандарта с самого начала стремились обеспечить совместимость сетей GSM и ISDN (Integrated Service Digital Network) по набору услуг, поэтому кроме телефонной связи пользователю GSM предоставляются разнообразные услуги передачи данных. Возможностью GSM, которой не было в аналоговых системах, является двунаправленная передача коротких сообщений SMS и мультимедийных сообщений MMS, передаваемых в режиме с промежуточным хранением данных, а также автоматический внутрисетевой и межсетевой роуминг.

**Поколение 2G: GPRS (General Packet Radio Service).** Технология GPRS - это стандарт ETSI (European Telecommunications Standards Institute) для пакетной коммутации в системах GSM. GPRS является т.н. накладываемой технологией, распространяемой на сетях GSM, CDMA и TDMA. Эта технология применяет метод

эффективной передачи пакетных данных по радиосетям, основанный на принципах сетей Интернет. Пакетная коммутация GPRS работает так же, как и пакетная коммутация IP, то есть данные расщепляются на пакеты и пересылаются по назначению разными путями по сети, затем снова собираются на принимающей стороне. Пакетная коммутация GPRS допускает любой существующий трафик IP протокола для пересылки данных через радиосеть. GPRS использует радиополосу шириной в 200 кГц, которая разделена на восемь каналов. Общая емкость каналов составляет 271 кбит/с, но каждый из этих каналов способен передавать потоки данных в 14.4 кбит/с. Теоретически возможна скорость в 115 кбит/с, но в реальных условиях она используется крайне редко. Средняя скорость передачи данных примерно 48 кбит/с является наиболее вероятной оценкой. GPRS подходит для приложений, основанных на протоколе (Wireless Application Protocol -WAP).

**Поколение 2,75 G (Технология EDGE).** Технология EDGE (Enhanced data rates for GSM and TDMA/136 evolution) принята Институтом ETSI и Всемирным консорциумом по универсальным беспроводным коммуникациям (UWCC) в качестве основы для эволюционного развития сетей GSM/GPRS в 1997 году. EDGE способна обеспечить развертывание служб передачи данных со скоростями до 384 Кбит/с и поэтому может служить дополнением к сетям 3 поколения UMTS. Радиоинтерфейс EDGE надстраивается над существующей инфраструктурой GSM и использует те же полосы частот 850/900/1800/1900 Гц, что и GSM. Реально достижимая средняя скорость передачи данных составляет 100–120 кбит/с с пиковыми значениями до 230 кбит/с и зависит от класса используемого абонентского устройства. Основным отличием стандарта EDGE от GPRS является новый метод модуляции 8PSK (Eight-Phase Shift Keying), который позволяет поднять скорость передачи до 48 Кбит/с на один временной слот. Процесс стандартизации EDGE был разделен на два этапа. На первом этапе (1999 год) акцент был сделан на разработку технологий EGPRS (Enhanced GPRS) и ECSD (Enhanced Circuit-Switched Data). На втором этапе определены шаги по усовершенствованию реализации служб мультимедиа и реального времени, по согласованию приложений и интерфейсов EDGE и UMTS, что позволяет системам двух поколений использовать единую магистральную инфраструктуру.

### 5.1.3. Системы связи третьего поколения

Главной особенностью современного этапа развития систем сотовой связи является переход к системам третьего поколения 3G. Основным отличием систем 3G от эксплуатируемых сейчас сетей второго поколения 2G является возможность передачи больших объемов информации с высокими скоростями. В системах третьего поколения появляются возможности для предоставления мультимедийных услуг: передачи изображений, в том числе и организация видеоконференций, телемедицины, мобильной электронной коммерции, обеспечения безопасности абонентов и услуг, связанных с определением местоположения абонента. Уже на первом этапе развертывания системы сотовой связи 3 поколения должны были обеспечивать определенные значения скорости передачи для различных степеней мобильности абонента в зависимости от величины зоны покрытия, а именно:

1. До 2,048 Мбит/с при скорости движения абонента менее 3 км/ч;
2. До 144 кбит/с при скорости движения абонента до 120 км/ч;
3. До 64 кбит/с при глобальном покрытии (спутниковая связь).

В таблице 9 приведены базовые услуги систем связи 3-го поколения.

Таблица 9

Вид услуги	Услуги	Скорость, Кб/с	Режим работы, трафик
Голосовая связь	Речь, голосовая почта	8-32	Коммутация каналов, симметричный
Низкоскоростной обмен данными	SMS, определение местоположения	9,6-14,4	Коммутация пакетов, асимметричный
Интерактивный обмен мультимедиа-данными	Видеотелефонная связь, передача изображений и больших объемов информации	128-384	Коммутация каналов и пакетов, асимметричный

Асимметричная передача мультимедиа-данных	Передача видео, изображений, работа с сетями (Internet)	384-2048	Коммутация каналов и пакетов, асимметричный
---	---	----------	---

### Два пути перехода к системам третьего поколения.

В рамках концепции ИМТ-2000 используются две стратегии перехода к 3G-системам: эволюционное и революционное. Сравнение стратегий перехода приведено в таблице 10.

Таблица 10

Определяющий фактор	Эволюционный путь	Революционный путь
Метод использования частотного ресурса	Работа в старых диапазонах	Освоение новых диапазонов
Принцип предоставления услуг	Постепенно расширяемый ассортимент услуг	Новые услуги с начала развертывания
Пропускная способность	Пропускная способность Постепенно наращиваемая	Пропускная способность Изначально высокая
Стратегия создания сетевой инфраструктуры	Постепенный переход от 2G к 3G по мере появления спроса на услуги	Создание опытных районов с полным набором услуг
Технологический уровень	Новые технологии в отдельных сетевых элементах	Все главные сетевые технологии новейшие
Архитектура сети	Максимальное использование существующей сетевой инфраструктуры	Новая архитектура сети
Коммерческий риск	Низкий	Высокий
Состав операторов	В основном те же, что и в 2G	Операторы, купившие лицензии на услуги 3G
Глобальный роуминг	С ограничениями	Без ограничений

Капитальные затраты	Капитальные затраты незначительные	Капитальные затраты значительные
---------------------	---------------------------------------	-------------------------------------

К стратегии революционного пути относится концепция построения универсальной мобильной телекоммуникационной системы UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems), поддерживаемая европейскими странами. К стратегии эволюционного пути – концепция развития технологии мультимедиа с кодовым разделением каналов CDMA 2000 (Code Division Multiple Access), сторонниками которой являются азиатские страны и США.

Международный Союз Электросвязи (ITU) утвердил пять различных спецификаций радиointерфейсов для систем третьего поколения:

1. IMT-DS (Direct Spread, WCDMA/UTRA FDD);
2. IMT-MC (Multi Carrier, cdma2000);
3. IMT-TC (Time-Code, UTRA TDD/TD-SCDMA);
4. IMT-SC (Single Carrier, UWC-136);
5. IMT-FT (Frequency Time, DECT).

Часть из них (IMT-DS/UMTS, IMT-MC/cdma2000, IMT-TC/UTRA TDD) базируются на технологии CDMA, часть – на технологии UMTS.

**Поколение 3G: UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access).**

Обе стратегии развития сотовой связи 3G имеют тенденцию к объединению в рамках создания сети UMTS с поддержкой широкополосного радиointерфейса WCDMA. Полное название WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access (Frequency Division Duplex), что определяет широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов и использованием частотного дуплексирования.

Комплексная технология оптимизирована для предоставления высокоскоростных мультимедийных услуг типа видео, доступа в Интернет и видеоконференций; обеспечивает скорости доступа до 2 Мбит/с на коротких расстояниях и 384 Кбит/с на больших с поддержкой высокой мобильности. Естественно, что такие скорости передачи данных требуют более широкой полосы пропускания частот (не менее 5 МГц). Технология может быть добавлена к

существующим сетям GSM, что делает стандарт WCDMA наиболее перспективным с точки зрения использования сетевых ресурсов и глобальной совместимости.

Основу сетевого оборудования UMTS составляют контроллеры базовой станции (BSC, Base Station Controller), центр коммутации мобильных телефонов (MSC, Mobile Switching Center), регистр домашних пользователей (HLR, Home Location Register), сервер коммутации пакетов (SGSN, Serving GPRS Support Node) и маршрутизатор доступа в интернет (GGSN, Gateway GPRS Support Node). Если пользователю одновременно доступны и сеть GSM, и сеть WCDMA, ядро UMTS будет перераспределять их в зависимости от нагрузки сетей. В тех случаях, когда одна из сетей недоступна — наиболее распространенной ситуацией является та, при которой есть сигнал GSM, но нет покрытия WCDMA, используется физический уровень GSM. Главным отличием WCDMA от GSM является то, что стандарт использует широкие диапазоны частот, в которых передается шумоподобный код, содержащий данные для всех абонентов. Модифицируя код, WCDMA определяет количество трафика, выделенного под голосовую связь и данные, для разных абонентов, каждые 10 мс.

**Поколение 3,5G: HSDPA (High Speed Downlink Packet Access).** Термин 3.5G используется для описания усовершенствованных 3G мобильных сетей передачи данных, в которых достигнуты более высокие скорости передачи данных порядка 3 Мбит/с. Первая страна, которая вводит 3.5G сети в национальном масштабе - Япония, и первый мобильный оператор - японская компания KDDI, которая эксплуатирует сеть множественного доступа с кодовым разделением каналов 2000 1x-EVDO с декабря 2003 года. В таких сетях используются следующие технологии. Технология высокоскоростного пакетного доступа по каналу связи вниз (нисходящему каналу) HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), которая позволяет внедрять услуги, требующие высоких скоростей передачи информации, повышает скорость передачи данных и расширяет емкость сетей третьего поколения. Она обеспечивает плавное, эволюционное повышение производительности сетей третьего поколения, подобно тому, как это делает технология EDGE в сетевой среде GSM. Технология HSDPA основана на использовании высокоскоростного общего нисходящего канала HS-DSCH (High-Speed Downlink Shared Channel), способного поддерживать высокие скорости передачи данных и обслуживает пользователей, по методу мультиплексирования с

временным и кодовым разделением. Применение технологии HSDPA позволит существенно превысить пропускную способность существующих проводных широкополосных каналов.

Эта технология принадлежит к семейству решений, использующих пакетную передачу данных. Физически, HSDPA является расширением сетей WCDMA/UMTS. Пропускная способность HSDPA в стартовом варианте составила 1,8 Мбит/с, а максимальная теоретическая пропускная способность - 14,4 Мбит/с. Для достижения высокой скорости требуется реорганизовать структуру каналов, использовать как кодовое, так и временное разделение каналов, увеличить уровень модуляционной схемы и использовать более быстрые алгоритмы пересылки пакетов и повторной трансляции в случае ошибок. Преимуществом технологии является то, что дальность связи практически равна дальности охвата сигналом базовой станции, а также то обстоятельство, что технология рассчитана на большое количество одновременных пользователей, например в сравнении с WiMAX. Недостатком - то, что высокая скорость доступна только для получения данных, а для передачи доступна стандартная для WCDMA скорость 384 Кбит/с. Однако, этот недостаток устраняется с появлением технологии HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access).

**3,75G: HSUPA (High Speed Uplink Packet Access).** Аналогично HSDPA, технология высокоскоростной пакетной передачи данных по направлению «вверх» (High Speed Uplink Packet Access, HSUPA) представляет собой стандарт мобильной связи, позволяющий ускорить передачу данных от WCDMA-устройств конечного пользователя до базовой станции за счет применения более совершенных методов модуляции. Теоретически стандарт HSUPA рассчитан на максимальную скорость передачи данных по направлению «вверх» до 5,8 Мбит/с, позволяя, таким образом, использовать приложения третьего поколения, требующие обработки огромных потоков данных от мобильного устройства к базовой станции, например, видеоконференцсвязь. Описание технологии планируется ввести в качестве спецификации 6-й версии стандарта 3GPP Release 6; процесс стандартизации технологии приближается к завершению.

Основные характеристики систем сотовой связи 3G представлены в таблице 11.

Таблица 11

<b>Диапазоны частот</b>	Диапазон 1 - (2500 - 2570 МГц (восходящий канал), 2620 - 2690 МГц (нисходящий канал); Диапазон 2 - 880 - 915 МГц (восходящий канал), 925 - 960 МГц (нисходящий канал); Диапазон 3 = PCS 1900 Диапазон 4 = DCS 1800 Диапазон 5 = E-GSM
<b>Разнос каналов</b>	5 МГц
<b>Модуляция, тип используемого фильтра</b>	Восходящий канал: HPSK, фильтр RRC Нисходящий канал: QPSK, фильтр RRC
<b>Технология множественного доступа</b>	TDMA/CDMA
<b>Метод передачи данных</b>	Коммутация пакетов
<b>Чиповая скорость</b>	3,84 Мчип/с
<b>Пользовательская скорость передачи данных</b>	Восходящий канал: HSUPA, до 5,76 Мбит/с; Нисходящий канал: HSDPA, до 13,976 Мбит/с.
<b>Основные услуги</b>	Передача данных для сотовых абонентов с высокой подвижностью

#### **5.1.4. Система связи четвертого поколения 4G: HSOPA (High Speed OFDM Packet Access)**

Концепция сотовой связи четвертого поколения (4G) описывается двумя различными идеями:

1. Высокоскоростной мобильный беспроводной доступ с очень высокой скоростью передачи данных до 20 мегабит в секунду. Такая скорость соотносится с основными технологиями построения беспроводных сетей локального и регионального масштаба (WiFi, WiMax).

2. Создание всепроникающих сетей (Pervasive networks). Данная концепция подразумевает возможность одновременной связи пользователя с несколькими разными технологиями беспроводного доступа (Wi-Fi, WiMax, UMTS, EDGE и т.д.) и

перемещения между ними. Концепция также предусматривает технологии интеллектуального радио и телевидения, эффективное управление использованием спектра и передаваемой мощностью, использование протоколов ячеистой маршрутизации (Mesh Routing Protocol) с различными путями между узлами сети.

Под сети 4G предлагаются каналы для широкополосных сигналов (с шириной полосы порядка 100 МГц), с помощью которых можно получить высокие показатели скорости. Для этого отведен свободный диапазон выше 40 ГГц. Кроме того, Международный институт электросвязи, занимающийся проектом IMT-2000, еще в марте 2000 г. принял решение о создании рабочей группы WG-VIS (Working Group-VISION), которая взяла курс на рассмотрение различных сценариев создания систем мобильной связи 4G. В дополнение к этому в единую систему могут интегрироваться цифровое радио- и телевидение, а также персональные сети (Personal Area Networks - PAN), использующие технологии Bluetooth и HomeRF.

Архитектура системы должна поддерживать соединения «точка–точка», «точка – много точек», а также ширококвещательную передачу данных. Роуминг должен осуществляться не только в пределах одной системы, но и в рамках различных сетей, например на уровне WLAN-сетей, пикосетей и сетей DECT. Мобильная связь 4G — это не только новый радиointерфейс, позволяющий пользователю получать данные с высокой скоростью, но и новый тип интеллектуальных антенн. Конструктивно новые антенны выполнены в виде фазированной решетки, сигнал которой обрабатывается цифровыми процессорами, ими же осуществляется управление узконаправленным излучением движущегося объекта. Это, в свою очередь, повышает качество радиосвязи на дальние расстояния и позволяет увеличить емкость соты. Пока в 4G-сетях идет речь о следующих основных технических характеристиках:

- Частотный диапазон 40-60 ГГц;
- Радиотехнология CDMA, MC-CDMA (MultiCarrier CDMA) или ортогональная модуляция OFDM;
- Скорости передачи данных до 100 Мбит/с (для терминалов с поддержкой телеконференций) и 10-20 Мбит/с для обычных мобильных устройств.

Телефоны-терминалы и смартфоны 4G можно рассматривать как мобильный «офис» или развлекательный центр с реализацией открытой архитектуры обмена

информацией для предоставления всевозможных услуг. Несмотря на преимущества мобильных устройств связи поколения 4G, у них есть существенный недостаток — работа в высоком диапазоне частот, что ограничит их массовое распространение.

## **6. Основные технологии транкинговой радиосвязи**

Системы профессиональной мобильной радиосвязи (ПМР) популярны в службах обеспечения общественной безопасности, у военных, на транспорте, поскольку сотовая телефония не всегда приспособлена для решения ряда задач оперативного реагирования, надежной и защищенной связи. Например, сети стандарта TETRA обеспечивают скорость соединения между абонентами в отличие от стандарта GSM порядка 0,3 секунды. Кроме того, транкинговые сети работают при больших скоплениях людей в одном месте или в случае крупных аварий.

Современная тенденция в использовании ПМР — переход от использования аналоговых конвенциональных систем с закрепленными каналами и аналоговых транкинговых систем к цифровым системам связи. Наилучшие перспективы в цифровой транкинговой связи имеет стандарт TETRA. В России пока действуют и аналоговые решения — оборудование SmarTrunk II (Selectone), MPT 1327 и др, в связи с огромным парком установленных систем, относительно низкой стоимостью, простотой в обращении и обслуживании. Основная проблема цифровой транкинговой связи в России заключается в проблемах получения разрешений на использование соответствующих диапазонов частот.

Другим стандартом радиосвязи является стандарт DECT. Системы технологической связи стандарта DECT, так же как и системы ПМР широко используются в промышленности. Их отличает высокая пропускная способность по абонентской нагрузке и отсутствие проблем электромагнитной совместимости со средствами автоматизированных систем управления на предприятии. В отличие от TETRA и других стандартов ПМР для установки и эксплуатации системы DECT не требуется предварительного выделения частот, а необходима лишь регистрация системы по упрощенной процедуре. Кроме того, системы DECT отличает простота монтажа, настройки и эксплуатации. В случае внутриофисной связи преимуществами технологии являются ее экономичность (не требуется платить за относительно дорогую сотовую связь при сохранении мобильности), оперативность (сотовые сети не обеспечивают нормированного времени соединения, особенно в часы пиковой

нагрузки). DECT-системы могут быть интегрированы с сетями GSM, а также с Wi-Fi сетями и IP-телефонией.

## **7. Технологии оптической атмосферной и радиорелейной связи**

При оптической атмосферной связи (wireless optics) информация передается с помощью модулированных световых волн в атмосфере в пределах прямой видимости на расстояниях не более 4 км. Иногда ее сравнивают с радиорелейной связью, однако последняя служит для организации магистральных каналов, в то время как оптическая атмосферная связь для связи недалеко отстоящих друг от друга объектов. Основным преимуществом линий оптической связи является отсутствие необходимости получать разрешение на частоты при установке и эксплуатации систем. К основным недостаткам относится зависимость этого вида коммуникаций от атмосферных явлений и механических перемещений.

Потребителями радиорелейных линий связи (РРЛ) являются операторы, которые используют этот тип коммуникаций для ответвления от магистральных каналов. РРЛ применяются для передачи телевизионных сигналов от студии до ретрансляционного оборудования, при построении технологических и корпоративных сетей и т.д.

К недостаткам данной технологии относится то, что наибольший процент в капитальных затратах (до 70%) приходится на линейные сооружения, также необходимость получения разрешений на частоты на федеральном уровне и зависимость качества связи от состояния атмосферы. Радиорелейная связь – это радиосвязь по линии, образованной цепочкой приемо-передающих (ретрансляционных) радиостанций. Осуществляется на деци- и сантиметровых волнах. Антенны станций линии радиорелейной связи устанавливают на мачтах высотой 70-100 м; антенны соседних станций обычно находятся в пределах прямой видимости.

Принцип радиорелейной связи заключается в передаче данных по системе ретрансляционных станций, расположенных на расстоянии, обеспечивающем устойчивую работу. Простейшая топология радиорелейной сети представляет два устройства, передающих информацию между двумя пунктами. В сложных случаях строятся ответвления от основной линии или создаются сети распределения информации между населенными пунктами, регионами или потребителями.

Радиорелейные сети связи строятся на основе двух технологий: PDH и SDH. оборудования. Поток, предлагаемые радиорелейными линиями с технологией PDH,

считаются средне- и низкоскоростными. Для организации высокоскоростных потоков используют технологию SDH. Линия радиорелейной связи обеспечивают следующие характеристики:

- Протяженность линии - до 10000 км,
- Емкость линии связи - до нескольких тысяч каналов,
- Скорость передачи данных - до 1 Гбит/с.

Радиорелейные линии связи требуют меньших затрат и времени на развертывание, чем волоконно-оптические линии, могут быть проложены оперативно в сложных географических условиях. Наиболее эффективны при развертывании разветвленных цифровых сетей в городах и промышленных зонах, причем качество передачи информации часто не уступает оптоволокну.

## **8. Технологии спутниковой передачи данных**

Кроме наземных радиорелейных линий для передачи данных на большие расстояния используются спутниковые системы радиосвязи. Фактически спутниковая связь является развитием традиционной радиорелейной связи путем вынесения ретранслятора на очень большую высоту (от сотен до десятков тысяч км).

Такие системы имеют теоретическую полосу пропускания до 720 Мбит/с и выше, однако на практике скорости обычно лежат в диапазоне 1–10 Мбит/с. Они дороги и сложны в развертывании и эксплуатации, а качество коммуникаций может ухудшаться из-за условий атмосферы, дождя, снега, тумана и радиопомех.

Спутниковые ретрансляторы могут быть нерегенеративными и регенеративными. Нерегенеративный спутник, приняв сигнал от одной наземной станции, переносит его на другую частоту, усиливает и передает другой наземной станции. Спутник может использовать несколько независимых каналов, осуществляющих эти операции, каждый из которых работает с определенной частью спектра (эти каналы обработки называются транспондерами). Регенеративный спутник производит демодуляцию принятого сигнала и заново модулирует его. Благодаря этому исправление ошибок производится дважды: на спутнике и на принимающей наземной станции. Недостаток метода — сложность, более высокая цена спутника, увеличенная задержка передачи сигнала.

Системы VSAT (Very Small Aperture Terminal — терминал с очень маленькой апертурой) предоставляют услуги спутниковой связи клиентам, которым не требуется высокая пропускная способность канала. Скорость передачи данных для VSAT-терминала обычно не превышает 2048 кбит/с. Слова «очень маленькая апертура» относятся к размерам антенн терминалов по сравнению с размерами более старых антенн магистральных систем связи. VSAT-терминалы, работающие в С-диапазоне, обычно используют антенны диаметром 1,8-2,4 м, в Ku-диапазоне — 0,75-1,8 м.

### **8.1. Системы связи на базе геостационарных спутников**

Спутники в таких системах находятся на геосинхронных орбитах на высоте 35 000 км над Землей. Из-за больших расстояний задержки: при передаче составляют от 0,5 до 5

секунд. Коммуникации ведутся в диапазоне частот 11–14 ГГц, которые требуют лицензирования. Неподвижность спутника позволяет использовать простые антенные системы. В силу интерференции волн не целесообразно размещать спутники ближе, чем 2 градуса экваториальной плоскости. Таким образом, в одно и тоже время на экваториальной орбите может находится около 180 спутников, работающих на одной и той же частоте. Из-за энергетических проблем телекоммуникационный спутник не может обеспечить высокого уровня сигнала. По этой причине наземная антенна должна иметь большой диаметр, а приемное оборудование низкий уровень шума. Это особенно важно для северных областей, для которых угловое положение спутника над горизонтом невысоко, а сигнал проходит довольно толстый слой атмосферы и заметно ослабляется.

## **8.2. Системы связи на базе низкоорбитальных спутников**

Низко орбитальные спутники движутся по эллиптическим орбитам от 700 до 1600 км с малым периодом обращения, и каждый из них по отдельности не может гарантировать стационарный канал, но в совокупности эта система обеспечивает весь спектр услуг. Из-за низкой орбиты спутники охватывают меньшие территории, и, следовательно, для того чтобы полностью покрыть поверхность планеты, необходимо около тридцати спутников. Скорости коммуникаций здесь составят от 128 Кбит/с до 100 Мбит/с для восходящих потоков (к спутнику) и до 720 Мбит/с для нисходящих потоков (от спутника). Рабочие частоты лежат в диапазоне 28,6–29,1 ГГц для восходящих каналов и 18,8–19,3 ГГц для нисходящих каналов. Примером системы с низкоорбитальными спутниками может служить система глобальной спутниковой телефонной связи "Глобалстар". Она включает 48 низкоорбитальных спутников, находящихся на высоте 1400 км, которые охватывают весь земной шар. Каждая наземная станция имеет одновременно связь с тремя спутниками. Спутник обеспечивает шесть сфокусированных лучей радиоволн по 2800 дуплексных радиоканалов каждый. Система поддерживает телефонную связь для труднодоступных районов, оказывает навигационные услуги, определяет местонахождения подвижных объектов. Другая спутниковая сеть Iridium включает 66 низкоорбитальных спутников с диапазоном частот 1610 - 1626,5 МГц. Вдоль меридиана на расстоянии 32 градуса располагаются 11 спутников, летящих на высоте 750

км. Таких ожерелий 6, каждый спутник имеет 48 пятен, так что 1628 сот покрывают землю. Каждая сота имеет 174 дуплексных канала на частоте обычного сотового телефона. В мире поддерживается 283 272 канала. Прием и передача идут на частоте 1.6 ГГц, что позволяет использовать устройства, работающие от батареек. Если сообщение принятое одним спутников адресовано в область, покрываемую другим, то оно будет передано от одного спутника другому.

В заключении обзора приведем таблицу, в которой показаны сравнительные характеристики, достоинства и недостатки различных беспроводных технологий в применении к передаче данных.

Таблица 12

<b>Категория/ Технология/ Стандарт</b>	<b>Дальность</b>	<b>Скорость</b>	<b>Назначение</b>	<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
Персональные сети (WPAN): Bluetooth (802.15.1), ZigBee (802.15.4), NFC, Wibree, UWB, WiHD и др.	10-100 м	От 106 Кбит/с (NFC) до 5 Гбит/с (WiHD)	Соединение электронных устройств, организация сетей, создание малых сетей и др.	Не требуют частотных разрешений и сложных устройств	Технологии не совместимы
Локальные сети (WLAN)/Wi-Fi/802.11 a, b, g	100 -300 м	11 Мбит/с (802.11b) или 54 Мбит/с (802.11a,g)	Организация сетей внутри помещений, зон публичного доступа (хот-спотов)	Широкое распространение, наличие стандартов, недорогие устройства.	Малый радиус действия, Мобильность ограничена невысокое качество телефонии и

					видео.
Городские сети широкополосного доступа (FBWA)/WiMax/802.16	До 20 км	23 Мбит/с	Организация широкополосного радиоканала, «последней» мили	Единый стандарт, возможность работы на отражениях при не прямой видимости, высокие скорости, мобильность	Высокая стоимость оборудования Неполностью совместимо оборудование Разные частоты в разных странах.
Сети сотовой связи/ GSM/GPRS/EDGE	10-35 км	9,6 Кбит/с; 171,2 Кбит/с; 384 Кбит/с	Мобильный доступ в Интернет, прием и передача данных	Широкий охват территорий, большой выбор устройств, мобильность	Низкие скорости, нестабильная связь из-за приоритета «голоса»
Сети сотовой связи/HSDPA	Около 10 км	До 14,4 Мбит/с	Мобильный доступ в интернет, прием и передача данных	Высокие скорости, мобильность,	Недостаточно распространены, ограничен выбор устройств
Сети сотовой связи/ CDMA 1x EV-DO Rev 0	До 60 км	2,4 Мбит/с	Мобильный доступ в интернет, прием/передача данных	Относительно высокие скорости, мобильность, эффективное	Недостаточно распространены, ограничен выбор

				использовани е частотного ресурса	устройств
Спутниковая связь/VSAT	Без ограничен ий	до 5-8 Мбит/с	Организация спутникового ТВ, доступа в интернет, телефонии	Широкий охват территорий, организация связи в труднодоступ ных районах	Высокая стоимость, необходимо получение частотных разрешений
DECT	50-200 м	До 144 Кбит/с	Домашняя и офисная телефония, организация радиодоступа систем микросотовой связи	Не требует частотных разрешений	Низкая скорость передачи данных, ограничен радиус действия
Мобильная радиосвязь TETRA	3-7 км	36 Кбит/с	Организация оперативной связи в службах безопасности, у военных, на транспорте и пр.	Функции аналоговых систем; Возможность передачи данных и телефонии. Множество оборудования Возможность интеграции с аналоговыми	Необходимо получение частотных разрешений Высокая стоимость. Низкая скорость передачи данных

				системами и системами телеметрии Высокая надежность	
Радиорелейная связь	30–50 км	До 2488 Мбит/с	Ответвления от магистралей, передача TV сигналов, построение крупных сетей, объединение сот	Широкий охват территорий, выбор оборудования	Необходимо получение разрешений, Большие затраты на сооружения, Зависимость качества от состояния атмосферы.
Атмосферная оптическая связь	До 4 км	До 155 Мбит/с	Связи недалеко отстоящих объектов, организация межсотовых связей и пр.	Не требует частотных разрешений, оперативность установки	Зависимость от атмосферных явлений и перемещений Малая дальность, Прямая видимость

## **9. Перспективы использования современных беспроводных технологий в системах интеллектуального управления и информационной поддержки**

Современный уровень развития технологий беспроводной связи отражает возрастающие потребности общества в использовании недорогих универсальных телекоммуникационных мобильных устройств нового поколения. Синергия разнородных потребительских свойств, интегрированная в единую систему мобильных телекоммуникаций 4 поколения, позволит реализовать возможности современных технологий передачи мультимедийной информации с возможностью работы устройства в качестве универсального пульта дистанционного управления, а также системы персональной информационной поддержки в различных сферах человеческой деятельности. На данный момент наблюдается огромный научный и прикладной интерес в области разработки новейших беспроводных телекоммуникационных систем и создания самоорганизующихся пиринговых сетей и систем связи во всем мире. Это связано с прорывом в области изобретения новых технологий, которые позволяют преодолеть существующие ограничения по скорости передачи и помехоустойчивости в таких сетях, за счет использования методов ультраширокополосной передачи данных (UWB).

В соответствии с системно-синергетической концепцией любую сложную открытую информационно-телекоммуникационную систему можно определить как самоорганизующуюся коммуникативную структуру. Такое определение и проведенные исследования в области синергетики и самоорганизации информационных и телекоммуникационных систем и сред подтверждаются в настоящее время резким ростом научного и прикладного практического интереса в следующих направлениях:

1. Построение гетерогенных многоячеистых самоорганизующихся сетей следующих поколений на основе беспроводных технологий ультраширокополосной передачи данных;
2. Создание новых методов и технологий беспроводной передачи мультимедийной информации и ее представления в мобильных системах обработки информации;
3. Разработка новых методов персональной информационной поддержки пользователей на базе современных мобильных средств коммуникации;

4. Разработка технологий мониторинга и интеллектуального информационного управления в социально-экономических и технических системах на базе беспроводных технологий.

Наиболее широко исследования в данной области знаний ведутся в университетских лабораториях США, КНР, Японии и Кореи. Отставание в развитии научных исследований в России на данном направлении не дает возможности выйти на уровень ведущих мировых стран в научном, промышленном, военном и коммерческом аспекте, так как будущее интеллектуального управления сложными системами напрямую зависит от использования новых методов и технологий беспроводной коммуникации. Поэтому проведение научных исследований в данном направлении позволит создать реальные предпосылки решения ряда технических задач по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы» и создать новые технологии, относящиеся к критическим технологиям создания интеллектуальных систем навигации и управления, а также технологиям обработки, хранения, передачи и защиты информации.

В качестве примера рассмотрим некоторые перспективные возможности, которые открываются при широком распространении дешевой, надежной и безлицензионной технологии Bluetooth и ZigBee связи. Прежде всего, это использование стационарных автономных радиомодулей с низким энергопотреблением и интеллектуальными функциями в беспроводной самоорганизующейся сети для обмена информацией о перемещающихся мобильных устройствах в зонах доступа. Подобная технология может быть востребована в различных областях, например, на железной дороге установка автономных модулей позволит автоматизировать маневровые и сортировочные работы на станциях, вести мониторинг, контролировать и дистанционно охранять сопровождаемые грузы, управлять объектами станционной инфраструктуры, передавать данные о состоянии грузов, основных узлов и агрегатов локомотивов и составов в центр управления и т.д.

В общем случае можно определить следующие перспективные направления научных исследований в области использования технологий беспроводной связи для организации и синтеза гетерогенных многоячеистых самоорганизующихся сетей, систем мониторинга и информационного управления в технических и социально-экономических структурах:

1. **Разработка комплексов персональной информационной поддержки** для владельцев мобильных средств связи (сотового телефона, смартфона, коммуникатора, карманного компьютера, ноутбука) с целью представления текстовой, графической и потоковой мультимедийной (аудио и видео) информации в режиме реального времени;

2. **Организация систем персональной информационной поддержки** в зонах публичного доступа (хот-спотах), в административных, образовательных и культурных учреждениях. Основными критериями построения таких систем являются использование безлицензионных диапазонов радиосвязи и широкополосных высокоскоростных технологий, малая мощность приемопередатчиков, возможность длительной эксплуатации мобильных устройств без подзарядки аккумуляторов и отсутствие затрат со стороны владельцев на оплату услуг провайдеров сотовой связи при получении информационно-справочной информации.

3. **Создание «электронных гидов», «интеллектуальных» маршрутов и информационно-справочных зон** путем размещения устройств информационной поддержки на базе автономных или, подключенных в общей информационной системе, Bluetooth модулей в определенных областях, вдоль предполагаемых траекторий движения. Подобную технологию можно использовать в учреждениях общественного доступа в качестве «интеллектуального гида» для автоматического предоставления посетителям необходимой аудиовизуальной информации.

4. **Разработка систем локализации и определения местоположения** устройств пользователя, автоматической радиочастотной идентификации и аутентификации объектов, автоматической регистрации данных в различных областях от автоматизации производственных процессов, управления доступом, идентификации животных и электронных паспортов до медицинских приложений, проездных билетов, бесконтактных смарт-карт, систем контроля перемещения и поставок товаров.

5. **Создание систем доступа** с целью предоставления возможности группе людей с помощью сотового телефона заходить в определенные помещения, открывать электронные замки, двери и т.д.

6. **Разработка систем охраны помещений и безопасности** с целью осуществления дистанционной беспроводной охраны помещений, автомобилей и

прочих объектов, а также дистанционного слежения за состоянием объектов в беспроводных системах безопасности (пожарной, аварийной, персональной и т.д.).

**7. Разработка системы дистанционного управления устройствами,** встраиваемой в мобильные средства связи, например, для использования сотового телефона в качестве ПДУ бытовой радиоэлектроники, «электронных ключей», брелка охранной сигнализации и т.д., что дает возможность дистанционного контроля бытового оборудования, систем вентиляции, поддержания температуры, влажности, систем кондиционирования и т.д.

**8. Разработка систем дистанционного контроля работоспособности** различных объектов (Автоматы по продаже, кофейные автоматы, обменные машины, автоматические бензоколонки, Лифты, эскалаторы и т.д.) с целью дистанционного контроля состояния, работоспособности, дистанционной охраны, дистанционного сбора информации о наличии "запасов" и количестве, разных статистик.

**9. Разработка систем дистанционного управления технологическими процессами на производстве с целью** сбора данных, мониторинга, контроля технологических процессов, построения беспроводных автоматизированных конвейеров и технологических линий, систем управления роботизированными линиями.

**10. Разработка систем передачи мультимедийной информации** по широкополосным каналам на мобильные средства связи (видеоконференции, цифровое телевидение, видеоизображения с удаленных объектов и т.д.).

**11. Разработка сетевых архитектур для систем мобильной связи** на основе самоорганизующихся и самовосстанавливающихся ячеистых сетей. Суть беспроводных ячеистых сетей заключается в том, что в них отсутствует центральное управляющее устройство. Такие сети могут быть более надежны, чем сети другого типа, т.к. если один из узлов выходит из строя, остаются работоспособными другие узлы. Топология беспроводных ячеистых сетей, разработанная в Массачусетском технологическом институте для промышленных систем управления и контроля, является архитектурой равноправных узлов, называемой многозвенной пиринговой сетью. Узел такой сети может посылать и принимать сообщения, а также может действовать как маршрутизатор и передавать сообщения своим «соседям». При помощи процесса

ретрансляции пакет беспроводных данных находит свой путь к месту назначения, проходя через несколько промежуточных узлов по надежным каналам связи.