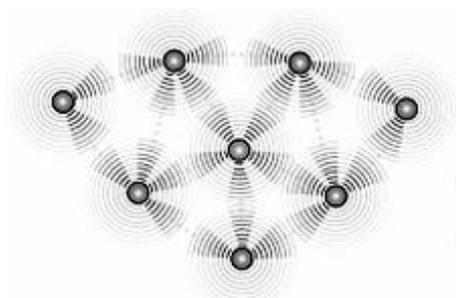


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Балонин Н.А., Сергеев М.Б.

БЕСПРОВОДНЫЕ ПЕРСОНАЛЬНЫЕ СЕТИ

Учебное пособие



Санкт-Петербург

2012

Балонин Н.А., Сергеев М.Б.

Б00 Беспроводные персональные сети на основе ZigBee: Учеб. Пособие,
СПбГУАП. СПб., 2012.

В учебном пособии рассмотрены современные беспроводные сетевые технологии: история становления, стандарты передачи данных в беспроводных сетях Wi-Fi, Wi-MAX, Bluetooth, Wireless USB, Home RF, ZigBee, топологии беспроводных персональных сетей. Особое внимание уделено беспроводной персональной сети ZigBee, для которой рассматриваются профили приложений, протоколы и лицензии, а также ведущие производители и современные реализации сетей на основе модулей ETRX2-ETRX3 фирмы Telegesis.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Информатика и вычислительная техника» и может быть использовано при изучении дисциплин «Проектирование систем обработки и передачи информации», «Цифровые системы автоматизации и управления», «Встраиваемые микропроцессорные системы».

Пособие может быть полезно аспирантам и инженерам, занимающимся вопросами автоматизации процессов, сетевыми технологиями, разработкой информационно-управляющих систем встраиваемого класса.

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор Юлдашев З. М.
кафедра информационно-сетевых технологий ГУАП

Утверждено

редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Редактор

Компьютерная верстка

Сдано в набор XX.XX.XX.	Подписано к печати XX.XX.XX.	Формат XXxXX 1/16
Бумага офсетная.	Усл.печ.л. XX,X.	Тираж 100 экз.
		Заказ № XXX

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67

© ФГАОУ ВПО «СПбГУАП», 2012

© Н.А.Балонин, М.Б.Сергеев, 2012

Содержание

Введение	4
Глава 1. Радиодело в России	6
1.1 Радиомастерская подпоручика	6
1.2. Как немцы перерезали кабель и что из этого вышло	7
1.3. Их было много	9
1.4. Зарождение радиотелефонии. Уникальный триод	122
1.5. НРЛ – научный центр мировой радиотехники.....	17
1.6. Создатель первых сенсорных радиодатчиков	19
Глава 2. Современные беспроводные сетевые технологии.....	23
2.1. Стандарты передачи данных в беспроводных сетях	23
2.2. Беспроводные компьютерные сети	36
2.3. Беспроводные персональные сети.....	39
2.4. Топология беспроводных персональных сетей	42
2.5. Адресация в персональных сетях	45
Глава 3. Технология ZigBee.....	47
3.1. Профили приложений технологии ZigBee	47
3.2. Протоколы и лицензии технологии ZigBee	48
3.3. Топологии беспроводной сети ZigBee от Telegesis	49
3.4. Стандарт 802.15.4, отличия от других беспроводных сетей.....	51
3.5. Оборудование и назначение.....	5353
Глава 4. Современные реализации сетей на основе технологии ZigBee	5454
4.1 Ведущие производители оборудования ZigBee.	5454
4.2 Примеры реализации сетей – приложения	55
4.3. Модули фирмы Telegesis	59
Библиографический список.....	5467

Введение

Начало нового века характеризуется беспрецедентным развитием средств коммуникации, в частности беспроводных устройств, хорошо знакомых нам по практике использования мобильных телефонов.

Вычерпав первый обширный слой потребителей, разработчики сетевых технологий направляют их на новые задачи, прежде всего, на обеспечение комфортного проживания людей (умный дом). Коммутации подлежит не только общение, но и взаимодействие разнообразных сервисных средств, размещенных в доме. Для этого требуются надежные, экономные, небольшие по габаритам и удобные контроллеры. Сфера таких устройств активно разрастается.

Настоящее учебное пособие посвящено динамично развивающейся области – сенсорным беспроводным сетям. Интерес к радиотехнике в России давний, мы имеем богатые традиции, о которых не надо забывать. Радиокружки... через это прошло не одно поколение радиолюбителей. Радиодело знают у нас не понаслышке.

Полезно вспомнить прежний опыт и людей, духом присущего им творчества живет инженерное дело. Учитывая сказанное выше, авторы сочли необходимым начать учебное пособие с краткого экскурса в историю радиодела в России [1, 2].

Произошедший в последнее время синтез трансивера и процессора является естественным для динамически развивающихся сетевых IT-технологий, особенно мобильных или встраиваемых приложений. К этому в последние годы добавилось еще умение экономить электроэнергию, без чего устройство не имеет право именоваться по настоящему мобильным и беспроводным. Можно ли считать беспроводным модуль, к которому тянется шнур питания от розетки? Даже удивительно, что подходящее решение, с "будильниками", пришлось ждать довольно долго. Сейчас это одно из самых перспективных направлений.

Понятие «беспроводная сеть» конечно не означает, что сеть реализуется только на радиоканале, однако это основная коммуникационная среда, заслуживающая пристального внимания разработчика таких сетей.

В настоящее время обширная информация о беспроводных технологиях и технике Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth и др. размещена в сети Интернет. Однако

потребность собрать и сравнить беспроводные сетевые технологии в одном издании, желание осветить исторические аспекты развития беспроводных коммуникаций различного назначения в России оправдывают помещение в данном учебном пособии компилятивных сведений по этим вопросам.

Глава 1. Радиодело в России

"Ты помнишь, как все начиналось? Все было впервые и вновь..."

Что мы знаем об основоположниках вычислительной техники и робототехники в такой большой стране, как Россия?

Отступим век назад.

1.1 Радиомастерская подпоручика

Г. Орел. Здесь 21 февраля 1888 года родился Михаил Александрович Бонч-Бруевич (фото на рис.1). Типичная судьба первопроходца: в юности увлекался радиотехникой и воспроизвел по схеме А. С. Попова радиопередатчик и радиоприемник. Потом было Киевское коммерческое училище, а в 1906 году М.А.Бонч-Бруевич был зачислен юнкером в Николаевское инженерное училище в Петербурге.



Рисунок 1. Фото М. А. Бонч-Бруевича, 1909 год.

По окончании училища в звании подпоручика М. А. Бонч-Бруевич служил в Иркутске, во 2-ой роте искрового телеграфа 5-го Сибирского саперного батальона. В звании поручика в 1912 году поступил в Офицерскую электротехническую

школу, после которой в 1914 году был назначен помощником начальника Тверской военной радиостанции международных сношений. При поддержке штабс-капитана В. М. Лещинского, начальника Тверской радиостанции, М. А. Бонч-Бруевич в подсобном помещении организовал мастерскую, где смог наладить выпуск отечественных электровакуумных ламп.

Лампами комплектовался радиоприемник, производившийся в мастерской по заказу Главного военно-технического управления русской армии. Вместе с мастерской в августе 1918 года он переехал в Нижний Новгород, где возглавлял научно-техническую работу в Нижегородской радиолaborатории (1918-1928 гг.). В этом же году М. А. Бонч-Бруевич предложил схему переключающего устройства, имеющего два устойчивых рабочих состояния, под названием «катодное реле». Это устройство впоследствии было названо триггером.

Далее пошли чудеса. 22 и 27 мая 1922 года М. А. Бонч-Бруевич организовал пробные передачи по радио музыкальных произведений из студии Нижегородской лаборатории, а 17 сентября 1922 года был организован первый в Европе радиовещательный концерт из Москвы. В этом же году им была изготовлена лабораторная модель радиотехнического устройства для передачи изображения на расстояние, названная им радиотелескопом.

В конце 1928 года М. А. Бонч-Бруевич вместе с группой научных сотрудников и инженеров перешел на работу в Центральную радиолaborаторию Треста заводов слабого тока в Ленинграде. Здесь он занимался проблемами распространения коротких радиоволн в верхних слоях атмосферы и радиолокацией, вел преподавательскую работу на кафедре радиотехники Ленинградского электротехнического института связи.

Это первый «слой» сведений, которые мы можем получить. Вернемся назад.

1.2. Как немцы перерезали кабель и что из этого вышло

Россия является родиной радио, а А. С. Попов не только создал первый радиоприемник (1895 г.), но и реализовал первую в мире радиолинию, положив начало радиофикации военно-морского флота. Тем не менее, в начале XX в. в нашей стране не существовало собственной радиопромышленности, не было и

мощной радиостанции для связи с европейскими государствами. Вся электропромышленность была в основном в руках немецких фирм.

В начале первой мировой войны (1914 г.) немцы перерезали английские подводные кабели и Россия осталась без прямой телеграфной связи со своими союзниками – Францией и Англией. Необходимо было в кратчайшие сроки построить две мощные искровые радиостанции в Москве (на Ходынском поле) и в Царском Селе, а приемную станцию в Твери, поскольку в Москве и Петрограде ее работе мешали бы передающие радиостанции. Помощником начальника Тверской радиостанции был назначен воспитанник Петроградской офицерской электротехнической школы М. А. Бонч-Бруевич, имя которого вскоре станет широко известным далеко за пределами России. В те годы на радиостанциях с целью усиления сигнала начали применяться электронные лампы. В Россию такие лампы привозились из Европы. Несмотря на явное несовершенство и отсутствие высокого вакуума, преимущество их использования было очевидным.

М. А. Бонч-Бруевич решил создать собственную конструкцию радиолампы и в 1916 г. организовал производство электронных усилительных ламп, использовавшихся на флотских радиостанциях. По его инициативе в июне 1918 г. при Тверской радиостанции, находившейся в ведении Народного комиссариата почт и телеграфов, была создана радиолaborатория. В связи с усилением блокады импорт радиооборудования прекратился, и необходимо было срочно начать собственное производство. В маленькой мастерской невозможно было наладить процесс массового изготовления ламп. Достаточно сказать, что стеклодувы работали губами, руками и ногами: пары бензина подавались в горелки с помощью обычных кузнечных мехов, приводившихся в действие ногами. Руководство Наркомата поручило сотрудникам лаборатории, техническим руководителем которой был назначен М. А. Бонч-Бруевич, создать современную радиолaborаторию в другом городе, расположенном недалеко от Москвы, но на безопасном расстоянии от белогвардейских отрядов.

1.3. Их было много

Организовать новое, пусть и небольшое, производство в 1918 году было делом из ряда вон выходящим. Шла Гражданская война, и производство по всей стране почти остановилось. В Москве цены на продукты выросли по сравнению с 1916 годом в пятнадцать раз, по всей стране был введен «классовый паек» – нормы снабжения продовольствием в соответствии с социальной принадлежностью. Такими же темпами, что и цены, росли только беспризорность, нищета и красный террор, порождая целые серии мрачных анекдотов: «Вы, товарищ, прямо скажите: стоите ли вы за советскую власть? – Конечно! Лучше уж за нее стоять, чем сидеть».

Тем временем бывшие сотрудники тверской радиостанции (фото на рис. 2) в поисках подходящего для новой лаборатории города съездили в Казань, Саратов, Самару.



Рисунок 2. Совет НРЛ. Сидят, слева направо: В. К. Лебединский, М. А. Бонч-Бруевич, И. В. Селиверстов, В. А. Салтыков. На стене – портрет В. М. Лещинского.

Выбор остановили на Нижнем Новгороде. Летом 1918 года лаборатория переехала в Нижний Новгород и заняла бывшее общежитие семинарии –

трехэтажное здание на набережной Волги. Очень скоро оно стало напоминать ежа – крыша сплошь покрылась радиомачтами. На первом этаже расположились мастерские, на втором - стеклодувы, лаборатории и аудитории, на третьем – еще лаборатория и библиотека.

Поначалу в лаборатории работали восемнадцать человек. Ее управляющим был Лещинский, который на следующий после переезда год умер от старой боевой раны. НРЛ возглавил блестящий инженер и ученый, «русский Эдисон» Александр Федорович Шорин. Но его вскоре арестовали, и тогда во главе НРЛ встал Совет лаборатории с его первым председателем Петром Алексеевичем Остряковым. Надо сказать, что ВЧК вообще с большим вниманием относилось к этой лаборатории: там работали бывшие офицеры царской армии. Так что тень «железного Феликса» время от времени накрывала НРЛ. Что же касается А. Ф. Шорина, то, по счастью, его удалось довольно скоро вызволить и он продолжил работу.

Каждый ведущий специалист НРЛ возглавлял определенное исследовательское направление. М.А.Бонч-Бруевич – работу над приемными и генераторными лампами. Физик Дмитрий Аполлинариевич Рожанский – области стабилизации ламповых генераторов и коротких волн. Инженер Валентин Петрович Вологдин – высокочастотные генераторы. А. Ф. Шорин работал над проблемами пишущего приема, занимался телемеханикой. Благодаря ему в Большом Кремлевском дворце и на некоторых столичных площадях появились рупорные громкоговорители. Олег Владимирович Лосев изучал свойства полупроводников и в 1922 году создал «кристадин» – прообраз транзисторных радиоприемников, без которых невозможно представить себе 1960-е.

В 1919 году в Нижний Новгород в лабораторию приехал Владимир Константинович Лебединский. Это был настоящий «старорежимный» профессор-физик, с аккуратной бородкой и непреодолимой тягой к народному просвещению. До революции он преподавал в политехнических институтах Петербурга и Риги и редактировал «Журнал русского физико-химического общества» – того самого общества, на заседании которого 25 апреля (7 мая по новому стилю) 1895 года Александр Степанович Попов впервые объяснял действие своего приемника публике. С 1945 года 7 мая и отмечается День Радио. После революции профессор Лебединский занялся журналом «ТиТбп» («Телеграфия и телефония без

проводов»). Как значилось на его титульном листе, содержание журнала составляли «оригинальные статьи по теоретической и практической радиотехнике; отчеты исследовательских работ по радио, производимых во всех радиолaborаториях Союза ССР; обзоры радиолитературы и радиожизни за границей и у нас». Печатался журнал удивительным образом: исполненные в технике литографии (как в XVIII–XIX веках) иллюстрации вклеивались в отпечатанные типографским способом тетрадки. Впрочем, эта смесь не знающей преград инженерной мысли и кустарщины была чрезвычайно характерна для работы лаборатории, как, по большому счету, и для 1920-х годов вообще.

Нижегородская лаборатория должна была стать организационным центром всех научно-технических работ в области радиотехнической науки и радиопромышленности. Решение о создании такого института в условиях хозяйственной разрухи, блокады и отсутствия в стране радиотехнических предприятий было поистине революционным. В качестве первоочередной была поставлена задача организации отечественного электровакуумного производства и развития радиотелефонии, крайне необходимой для огромной страны, значительная часть населения которой жила в сельской местности, далеко от Москвы и была практически безграмотной. Как ни удивительно, но многие специалисты считали радиотелефон непригодным для военной и коммерческой радиосвязи из-за его «не секретности».

Несмотря на огромные трудности, М. А. Бонч-Бруевичу удалось наладить серийное производство приемно-усилительных ламп. Начиная с весны 1919 г. их выпуск составлял до 1000 единиц в год. Все три года блокады это были единственные лампы, используемые на приемных радиостанциях России. Производству предшествовали кропотливая экспериментальная работа и длительные теоретические исследования, на основе которых М.А.Бонч-Бруевич разработал оригинальную теорию триода. В августе 1912 г. в журнале «Радиотехник» М.А.Бонч-Бруевич писал, что «...в то время не было решительно никаких теоретических нитей. Состояние вопроса за границей тогда не было известно в России вследствие нашей полной изолированности». Позднее, в 1921 г., ознакомившись с иностранной литературой, он утверждал, что его работа «появилась раньше аналогичных работ за границей». Примечательно, что еще в

1917 г. М. А. Бонч-Бруевич издал брошюру «Применение катодных реле в радиотелеграфном приеме». Как отмечал один из крупнейших специалистов в области электронных ламп П. А. Остряков (1887–1952), трудно было написать лучше и понятнее. Эта брошюра «...не утратила и по наше время своей свежести, потому что ее писал не дилетант в науке, не техник, интересующийся только практическим применением ламп, а вполне сформировавшийся ученый».

Правительство придавало огромное значение развитию радиотелефонии, при ее помощи можно было осуществлять политическую, культурно-просветительную связь столицы с отдаленными районами огромной страны. В марте 1920 г. было подписано постановление: поручить Нижегородской радиолaborатории изготовить в срочном порядке центральную радиотелефонную станцию с радиусом действия 2000 верст.

1.4. Зарождение радиотелефонии. Уникальный триод

Уже в начальный период работы Нижегородской радиолaborатории параллельно с разработкой приемно-усилительных электронных ламп проводились исследования с целью создания надежных методов радиотелефонирования. В январе 1920 г. М.А.Бонч-Бруевич изготавливает генераторную лампу с массивным алюминиевым анодом, позволявшим рассеивать большую мощность.

Первый удачный опыт радиотелефонной передачи был осуществлен им из Нижегородской радиолaborатории на расстояние 4 км. Комиссия на приемной станции отметила “...прекрасное воспроизведение речи, качество которой было лучше, чем передача по проводам”. 15 января 1920 г. была осуществлена радиотелефонная передача из НРЛ в Москву на расстояние 370 км. Дальнейшее усовершенствование аппаратуры для радиотелефонных передач было связано с целым рядом трудностей и Бонч-Бруевич обратился за помощью к В. И. Ленину. В феврале 1920 г. Ленин направил письмо, в котором благодарил ученого за успешные работы и подчеркнул важность его исследований, указав, что “Газета без бумаги и «без расстояний», которую вы создаете, будет великим делом”. Он обещал оказывать всяческое и всемерное содействие.

Изготовление мощной генераторной лампы для такой станции в то время казалось практически неразрешимой задачей. Алюминиевый массивный анод для этого был не пригоден, нужен был тугоплавкий анод из тантала или молибдена. Но таких металлов в России не было. Как писал П. А. Остряков, «Трудные это были времена для работы. За окном радиолaborатории простиралась замерзшая, где-то на юге перерезанная Колчаком Волга. Ночью город погружался в непроглядную тьму, не было не только молибдена и тантала, не хватало хлеба и топлива. В пальто и шапке сидел Бонч-Бруевич в лаборатории». Как ответить на письмо Ленина, указавшего на важность создания радиотелефона для бескрайних просторов России?

Невозможно поверить, но в условиях невиданных трудностей, испытываемых страной, М. А. Бонч-Бруевичу удалось найти удивительно смелое и оригинальное техническое решение. После многочисленных экспериментов он создает макет радиолампы, аналогов которой не было в мире (рис. 3).



Рисунок 3. Экспериментальные конструкции мощных радиоламп.

Ученый предложил изготавливать анод из меди, но охлаждать водой из водопровода. Фантастика! Неслучайно, что, по выражению одного из коллег Бонч-Бруевича, это казалось «святотатством». Но в действительности это была

подлинная революция в электровакуумной технике. Вместо танталового анода – никелированная трубка из красной меди, вводившаяся внутрь лампы и припаянная к платиновому колпачку, который спаивался со стеклом баллона.

Колпачок и анод соединялись со шлангом и охлаждались циркулирующей проточной водой. Анод, охлаждаемый водой, позволял рассеивать мощность до 950 Вт, что вполне соответствовало требованиям радиотелефонной передачи. Для увеличения поверхности анода М. А. Бонч-Бруевич делает его четырехкамерным и в каждую камеру помещает катод и сетку. Ничего подобного мировая вакуумная техника не знала, долгое время на Западе такую задачу считали неразрешимой.

К концу декабря 1920 г. было закончено изготовление новой генераторной лампы для Ходынской радиостанции. Мощность радиотелефонного передатчика составляла 5 кВт. В первый же день передачи пришли восторженные отзывы из отдаленных от Москвы городов - Ташкента, Иркутска, Обдорска. В них отмечались громкий звук и хорошая артикуляция.

Состоялась передача и за границу, в Берлин, но там еще не было такой мощной установки, и ответить по радиотелефону немецкие радисты не смогли.

Первые пробные передачи вызвали восторг и удивление во многих городах далеко от столицы. В наше время трудно поверить в то, что сравнительно недавно передача по радио человеческого голоса или музыки казалась несбыточной мечтой.

История радио сохранила несколько любопытных фактов. Так, связисты из Иркутска (4000 км от Москвы), услышав человеческую речь в приемном устройстве, рассчитанном на запись телеграфных сигналов, сочли это настолько невероятным, что пытались объяснить необычный феномен «индукцией от городского телефона». А дежурный телеграфист одной из радиостанций за Полярным кругом, «услышав человеческий голос вместо привычных знаков азбуки Морзе, в ужасе сбросил наушники и убежал».

Вскоре началось сооружение Центральной радиотелефонной станции в Москве. Возглавить это сложное строительство было поручено видному специалисту НРЛ П. А. Острякову. Из рук Ленина он получил мандат, в котором все государственные учреждения обязывались оказывать ему всяческую помощь.

В то время было немало специалистов, считавших, что в условиях хозяйственной разрухи и полной изоляции “от заграничной культуры” в области

радиотехники, постройка столь мощной радиотелефонной станции была пустой фантазией. Приборы изготавливались вручную (рис. 4). Осенью 1922 г. на Гороховской улице (ныне улице Радио) строительство радиотелефонной станции было закончено.



Рисунок 4. Романтика радиооборудования, уникальные приборы.

Перед учеными встала еще одна сложная техническая проблема: для питания анода электронной лампы нужен был постоянный ток высокого напряжения. Обычно для этого использовались специальные высоковольтные динамо-машины. Но изготовить такую машину в короткий срок было весьма сложно. Выход был найден сотрудником НРЛ, талантливым инженером и ученым, позднее известным специалистом в области высокочастотной техники, членом-корреспондентом АН СССР В. П. Вологдиным, предложившим создать ртутный выпрямитель, хотя в зарубежной литературе утверждалось, что надежные ртутные выпрямители на высокое напряжение изготовить невозможно.

В марте 1922 г. Вологдин после многочисленных расчетов и экспериментов закончил испытания оригинального трехфазного ртутного выпрямителя,

позволявшего получить постоянный ток напряжением 10 кВ. Как писал П. А. Остряков, “высоковольтной ртутной колбой В. П. Вологдин опередил границу”.

15 сентября 1922 г. состоялся первый радиоконцерт, переданный Центральной радиотелефонной станцией. Русскую музыку слушали во многих городах, жители были в восторге. Через день, 17 сентября 1922 г. Нижегородская радиолaborатория была награждена орденом Трудового Красного Знамени.

В Постановлении Правительства особенно отмечалась успешная научная деятельность М. А. Бонч-Бруевича и В. П. Вологодина. 7 ноября 1922 г. был передан праздничный радиоконцерт с участием известных артистов. Он был воспроизведен «громкоговорящими телефонами» (громкоговорителями) на Театральной, Елоховской и Серпуховской площадях. С таким же телефоном по улицам Москвы разъезжал специальной грузовой. За Полярным кругом, вдали от столицы, концерт звучал особенно празднично.

М. А. Бонч-Бруевич продолжал совершенствовать лампу, добиваясь увеличения ее мощности. Если первые генераторные лампы имели мощность 1,25 кВт, то последующие достигали 2, 5 и 25 кВт. Таких ламп на Западе еще не было. Радиостанция была самой мощной в Европе, она поддерживала связь с Сибирью и Европой. Вскоре конструкция ламп М.А.Бонч-Бруевича с охлажденным анодом стала использоваться в Европе и Америке. Но, как это часто бывало в истории отечественной науки и техники, зарубежные фирмы (например, английская «Метровиккерс») даже не упоминала автора идеи и конструкции. Тем не менее, известный специалист в области электронных ламп А. Мейсснер, приехав в Нижний Новгород, подробно ознакомился с работами Бонч-Бруевича. Несколько лет назад никто бы не поверил, что немецкая фирма «Телефункен», которая была основным поставщиком радиоаппаратуры в дореволюционной России, закажет в НРЛ несколько мощных (25 кВт) генераторных ламп для одной из крупнейших немецких радиостанций.

К 1924 г. НРЛ превращается в крупный научно-исследовательский институт в области радиотехники, который получил широкое признание за рубежом. К этому времени Бонч-Бруевич создал макет невиданной по размерам и мощности лампы: вместе с бачком для анода она превышала рост среднего человека. Ее мощность

составила 100 кВт. Грандиозный успех ожидал лампы Бонч-Бруевича в 1925 г. на Скандинавско-Балтийской выставке в Стокгольме.

1.5. НРЛ – научный центр мировой радиотехники

В одном из шведских журналов писали: “...среди иностранных экспонатов прежде всего следует отметить изготовленные в Советской России приборы и лампы, между прочим большую 25 кВт лампу с водяным охлаждением – никто не подозревал о существовании в России столь большого и серьезного производства подобных внушительных радиоприборов”. Немецкий радиотехнический журнал отмечал, “...что русские экспонаты показывают высокое развитие радиоиндустрии в России по сравнению с остальными европейскими странами”.

Нижегородской лаборатории принадлежит заслуга в издании первых периодических радиотехнических журналов: «Телеграфия и телефония без проводов» («ТиТбп», как его называли) и «Радиотехник», которые начали издаваться в Москве с 1918 г. В журналах публиковались содержательные статьи по актуальным теоретическим и производственным проблемам в области радиотехники. Бессменным редактором этих журналов был видный ученый радиофизик энциклопедически образованный педагог профессор В. К. Лебединский (1868–1937), воспитавший несколько поколений крупнейших радиоспециалистов. Журналы были широко известны в стране, в иностранной печати часто публиковались рефераты статей «ТиТбп», его также выписывала Нью-Йоркская публичная библиотека.

Заслуги НРЛ снова были отмечены Правительством: в 1928 г. лаборатория была награждена вторым орденом Трудового Красного Знамени.

В связи с развитием отечественной радиоиндустрии, расширением электровакуумного производства, организацией серийного выпуска радиоаппаратуры мощных радиостанций возникла потребность в реорганизации НРЛ и передаче ее в распоряжение ВСНХ.

В конце 1928 г. коллектив научных сотрудников и инженеров, а также все разработки и научно-технические исследования были переданы в Центральную радиолaborаторию Треста заводов слабого тока в Ленинграде. Часть НРЛ

послужила основой для создания отраслевой лаборатории при радиозаводе в Нижнем Новгороде.

В 1928 г. в Ленинград переезжает и М. А. Бонч-Бруевич. Он, как и прежде, с увлечением занимается новыми проблемами: исследованием распространения радиоволн в верхних слоях атмосферы, радиолокацией, и смело выступает в защиту использования коротких волн, прозорливо предвидя их огромные перспективы в радиосвязи на дальние расстояния в воздухе, на суше и на море. Следует отметить, что первые известия об особенностях коротких волн были встречены многими специалистами весьма скептически.

К 30-м годам XX века относится начало разработок видеотелефонов (рис. 5). В марте 1936 г. в Германии был пущен в эксплуатацию видеотелефон между Берлином и Лейпцигом, позже к ним были присоединены Нюрнберг (1937) и Мюнхен (1938).

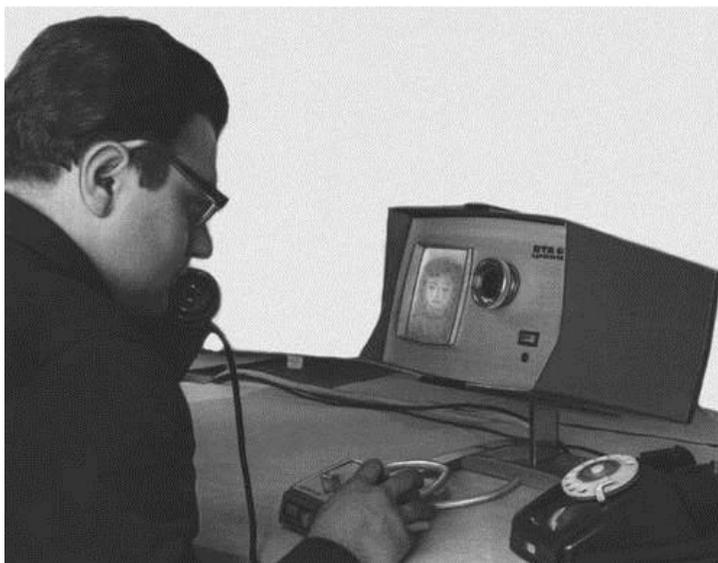


Рисунок 5. Первый видеотелефон.

С 60-х гг. XX века в СССР, США, Японии, ФРГ и других странах начались разработки видеотелефонов с передачей изображения на далекие расстояния. В настоящее время – это основа правительственной связи (рис. 6) и планируется переход с телефонов на видеотелефоны всего населения.



Рисунок 6. Современный видеотелефон

1.6. Создатель первых сенсорных радиодатчиков

Изобретателем первого в мире гребенчатого радиозонда и метода его использования для исследования атмосферы является выдающийся советский ученый-аэролог Павел Александрович Молчанов [3].

С 1931 года в СССР и во многих странах мира стали применять радиозонд, разработанный П. А. Молчановым, что позволило к 40-м годам регулярно изучать атмосферу на высоте до 30 км. 30 сентября 1933 года, на стратостате "СССР-1", воздухоплаватели Г.А. Прокофьев, К.Д. Годунов и Э.К. Бирнбаум совершили подъем на высоту 19 км (рис. 7).

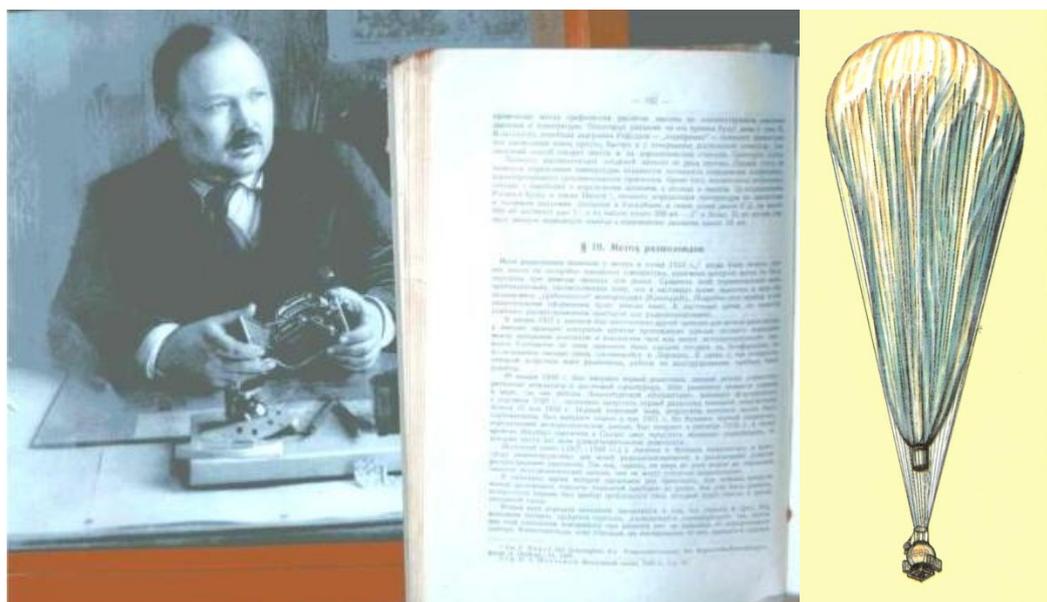


Рисунок 7. Изобретатель П.А. Молчанов, справа - стратостат "СССР-1".

В 1932 году во время проведения программы международного полярного года ученые Германии пригласили автора изобретения профессора П. А. Молчанова принять участие в организованной ими экспедиции в Арктику на дирижабле "Граф Цеппелин" и обеспечить запуск своих радиозондов (планировалось 10 штук) в полярных широтах. Сотрудниками Павловской обсерватории под руководством профессора П. А. Молчанова были подготовлены 12 экземпляров радиозонда, запуск которых прошел штатно, как и планировалось (рис. 8).

Из книги Эрнста Кренкеля "РАЕМ – мои позывные": "Научную часть этой международной экспедиции (речь идет о полярной экспедиции на борту дирижабля ЛЦ-127 "Граф Цеппелин") возглавил Рудольф Лазаревич Самойлович. Кроме него, советскую науку на цеппелине представлял также и другой крупный ученый – известный советский аэролог профессор П. А. Молчанов. Аэрология в ту пору еще лишь формировалась, но профессор Молчанов уже преподавал эту дисциплину, имел много трудов, а главное, успел сделать изобретение, которое иначе, как прекрасным даром человечеству, и не назовешь. Профессор Молчанов изобрел первый в мире радиозонд.

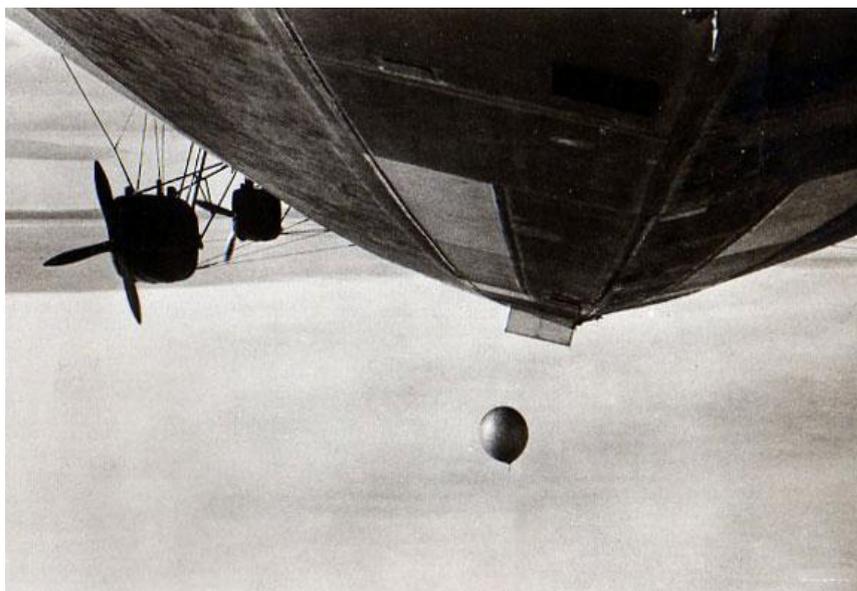


Рисунок 8. Запуск радиозонда Молчанова с борта дирижабля "Цеппелин".

Молчанов – невысокого роста, с корпулентной фигурой, а попросту говоря, очень тучен. Его серый костюм всегда тщательно отутюжен, над туго накрахмаленным воротничком безукоризненно белой рубашки сияет круглое, добродушное лицо с аккуратно подстриженными усами и белесыми, выгоревшими бровями. Лицо Молчанова буквально источало доброжелательность. Профессор оказался весельчаком, и мы тотчас принялись выкладывать друг другу наши запасы анекдотов. А затем сыскалась еще одна точка соприкосновения – Молчанов великолепно разбирался в радиотехнике. Радио тоже стало темой наших бесед, из которых я узнал, что микрорадиопередатчик зонда он не только сам сконструировал, но и изготовил собственноручно. И это не было только лишь искусством рук радиолюбителя. Профессор Молчанов столь тонко знал радиотехнику, что сумел разработать систему кодирования всех параметров, которые регистрировал радиозонд, забравшись на большие высоты.

Конечно, нынешние радиозонды существенно отличаются от первых. То время и наши дни – разные эпохи в радиотехнике. Но радиозонд Молчанова – первопроходец высоких слоев атмосферы, и я горжусь, что мне пришлось участвовать в одной экспедиции с этим выдающимся ученым, наблюдать запуски его радиозондов с борта дирижабля. Конструкция радиозонда Молчанова, наиболее

простая и дешевая (рис. 9), выдержала испытания временем и лишь спустя 30 лет была заменена современными моделями".

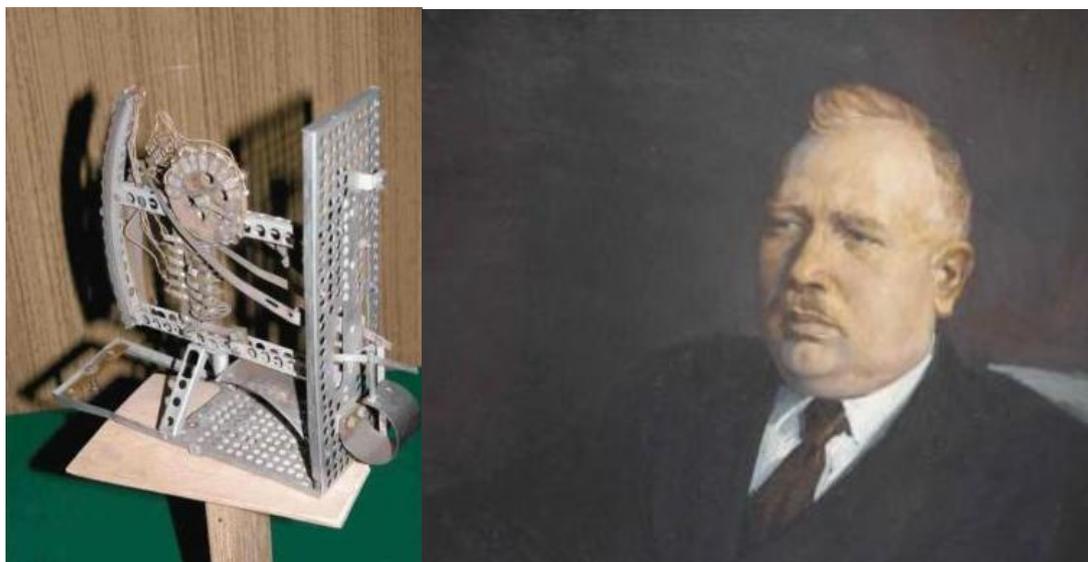


Рисунок 9. Профессор Молчанов и механическая часть конструкции его первого радиозонда

Основу устройства автоматики радиозонда П. А. Молчанова составляла система кодирования сигналов, которая выполнена на секциях гребенок с прямоугольными зубцами, по которым перемещаются стрелки, управляемые датчиками. Моменту перехода стрелки с одного зубца на другой соответствует изменение сигнала радиозонда, при этом каждому моменту перехода на другой сигнал соответствует определенное, достаточно точное значение измеряемой величины (температуры, давления, влажности).

Отличительной особенностью гребенчатого радиозонда П. А. Молчанова также была и сравнительная дешевизна как самого прибора, так и оборудования для его применения. Так для приема сигналов достаточно было простейшего радиоприемника прямого усиления КУБ-4, который успешно использовался во время Отечественной войны в армейских подразделениях. Обработка принятых сигналов также не требовала дорогостоящего оборудования, все процедуры выполнялись на разработанных планшетах и графиках. Следует отметить, что точность зондирования и к настоящему времени практически соответствует той, которая была достигнута в первых образцах прибора.

Глава 2. Современные беспроводные сетевые технологии

2.1. Стандарты передачи данных в беспроводных сетях

Первые сети, объединившие многочисленных пользователей, были компьютерными. На их основе возникли терминология, стандарты, представления о принципах построения сетей. Для того чтобы отличить такие сети со сложными, в общем, компонентами, от сетей контроллеров, последние названы персональными, что отражается аббревиатурой PAN или WPAN, отмечая желаемое их качество "wireless" – беспроводные [4-10], [15].

С микроволновым частотным диапазоном, **являющимся коммуникационной средой большинства современных беспроводных сетей**, связана проблема, которая в будущем может доставить немало хлопот. Дело в том, что на этих частотах работают многие другие устройства - портативные телефоны, беспроводные динамики и охранные средства. Насколько интенсивными будут взаимные помехи между ними и планируемыми к выпуску сетевыми устройствами, сказать трудно.

Уже сегодня беспроводным динамикам и другим устройствам тесновато на "пяточке" 2,4 ГГц, а с появлением в этом пространстве новых передающих устройств проблема борьбы с помехами становится только острее. Надо полагать, что конец баталиям вокруг использования 2,4-ГГц частотного диапазона положит стремление поставщиков извлечь из него максимальные прибыли, которое эти споры и породило. А пока, скорее всего, придется иметь дело с их последствием: фирмы-производители, по-видимому, не будут торопиться с выпуском нового сетевого оборудования, использующего эти частоты.

На сегодняшний день диапазон 2,4 ГГц делят между собой множество стандартов передачи данных: Wi-Fi, Wi-MAX, Bluetooth, Wireless USB, Home RF, ZigBee, и т.д. Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) утверждает официальные версии стандартов связи IEEE 802.XX.

За соблюдением стандарта следят так называемые альянсы: для осуществления этой миссии члены альянсов выплачивают контрибуции. Невозможно сертифицировать и пустить в продажу оборудование, не будучи членом альянса.

Приведем краткую характеристику возникших и курируемых таким образом направлений беспроводной связи.

Стандарт Wi-Fi. Wi-Fi – торговая марка Wi-Fi Alliance для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Ноутбук или коммуникатор без подключения к Интернет сегодня является практически бесполезным куском «железа». Благодаря широкому использованию Wi-Fi для решения проблемы подключения к Интернет этот термин стал хорошо известным. Изначально он был придуман как игра слов для привлечения внимания потребителя "намеком" на Hi-Fi (High Fidelity, высокая точность).

Несмотря на то, что поначалу в некоторых пресс-релизах WECA фигурировало словосочетание Wireless Fidelity (беспроводная точность), на данный момент от такой формулировки отказались и термин Wi-Fi никак не расшифровывается.

Wi-Fi был создан в 1991 году NCR Corporation/AT&T (впоследствии – Lucent Technologies и Agere Systems) в Ньивегейн, Нидерланды.

Продукты, предназначавшиеся изначально для систем кассового обслуживания, были выведены на рынок под маркой WaveLAN и обеспечивали скорость передачи данных от 1 до 2 Мбит/с. Создатель Wi-Fi – Вик Хейз (Vic Hayes) находился в команде, участвовавшей в разработке таких стандартов, как IEEE 802.11b, IEEE 802.11a и IEEE 802.11g. Обычно схема сети Wi-Fi содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка (Ad-hoc), когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров напрямую.

Точка доступа передает свой идентификатор сети (SSID) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Поэтому 0,1 Мбит/с — наименьшая скорость передачи данных для Wi-Fi. Зная SSID сети, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной точке доступа. При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID приемник может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала. Стандарт Wi-Fi дает клиенту полную свободу при выборе критериев для соединения.

Преимущества Wi-Fi. Устройства Wi-Fi широко распространены на современном рынке. Совместимость оборудования гарантируется благодаря

обязательной его сертификации с логотипом Wi-Fi. Излучение от Wi-Fi-устройств в момент передачи данных на два порядка (в 100 раз) меньше, чем от сотового телефона. Технология позволяет развернуть сеть без прокладки кабеля, что может уменьшить стоимость развертывания и/или расширения сети. Места, где нельзя проложить кабель, например, вне помещений и в зданиях, имеющих историческую ценность, могут обслуживаться беспроводными сетями. Технология позволяет мобильным устройствам иметь доступ к сети.

Недостатки Wi-Fi. В диапазоне 2,4 ГГц работает множество устройств, таких, как устройства, поддерживающие Bluetooth, и др., и даже микроволновые печи, что ухудшает электромагнитную совместимость.

Стандарт шифрования WEP может быть относительно легко взломан даже при правильной конфигурации (из-за слабой стойкости алгоритма). Несмотря на то, что новые устройства поддерживают более совершенный протокол шифрования данных WPA и WPA2, многие старые точки доступа не поддерживают его и требуют замены.

Принятие стандарта IEEE 802.11i (WPA2) в июне 2004 года сделало доступной более безопасную схему, которая реализуется в новом оборудовании. Обе схемы требуют более стойкий пароль, чем те, которые обычно назначаются пользователями.

Многие организации используют дополнительное шифрование (например, VPN) для защиты от вторжения. На данный момент основным методом взлома WPA2 является подбор пароля, поэтому рекомендуется использовать сложные цифро-буквенные пароли для того, чтобы максимально усложнить задачу подбора пароля.

Частотный диапазон и эксплуатационные ограничения в различных странах неодинаковы. Во многих европейских странах разрешены два дополнительных канала, которые запрещены в США.

В Японии есть еще один канал в верхней части диапазона, а другие страны, например Испания, запрещают использование низкочастотных каналов. Более того, некоторые страны, например Россия, Беларусь и Италия требуют регистрации всех сетей Wi-Fi, работающих вне помещений, или требуют регистрации Wi-Fi-оператора.

В режиме ad-hoc стандарт предписывает лишь реализовать скорость 11 Мбит/с (802.11b). Шифрование WPA2 недоступно. Стоит заметить, что при наличии в конкретном месте покрытия одновременно GSM и Wi-Fi, экономически намного более выгодно использовать Wi-Fi, разговаривая посредством сервисов интернет-телефонии. Например, клиент Skype давно существует в версиях как для смартфонов, так и для КПК.

Из-за дешевизны и простоты установки Wi-Fi часто используется для предоставления клиентам быстрого доступа в Интернет различными организациями. Например, в кафе, отелях, вокзалах и аэропортах можно обнаружить бесплатную точку доступа Wi-Fi.

В высших учебных заведениях данный вид связи достаточно эффективно используется в библиотеках и, в некоторых случаях, в сетевых лабораториях, где к сети Интернет подключаются не только компьютеры пользователей, но и стенды, снабженные сенсорной периферией и эффекторами.

Стандарт Wi-Max. WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) – телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов). Основана на стандарте IEEE 802.16, который также называют Wireless MAN (WiMAX следует считать жаргонным названием, так как это не технология, а название форума, на котором Wireless MAN и был согласован).

Название WiMAX было предложено WiMAX Forum – организацией, которая была основана в июне 2001 года с целью продвижения и развития технологии WiMAX. Форум описывает WiMAX как "основанную на стандарте технологию, предоставляющую высокоскоростной беспроводной доступ к сети, альтернативный выделенным линиям и xDSL". Максимальная скорость – до 1 Гбит/сек на ячейку.

WiMAX подходит для решения задачи соединения точек доступа Wi-Fi друг с другом и другими сегментами Интернета, а также обеспечения беспроводного широкополосного доступа как альтернативы выделенным линиям и xDSL. WiMAX позволяет осуществлять доступ в Интернет на высоких скоростях, с гораздо

большим покрытием, чем у Wi-Fi-сетей. Это позволяет использовать технологию в качестве магистральных каналов, продолжением которых выступают традиционные выделенные и xDSL-линии, а также локальные сети. В результате подобный подход позволяет создавать масштабируемые высокоскоростные сети в рамках городов. Иными словами, это нечто более мощное, чем Wi-Fi, сравнение этих систем показательно.

WiMAX – это система дальнего действия, покрывающая километры пространства, которая обычно использует лицензированные спектры частот (хотя возможно и использование нелицензированных частот) для предоставления соединения с интернетом типа точка-точка провайдером конечному пользователю. Разные стандарты семейства 802.16 обеспечивают разные виды доступа, от мобильного (схож с передачей данных у мобильных телефонов) до фиксированного (альтернатива проводному доступу, при котором беспроводное оборудование пользователя привязано к местоположению).

В отличие от WiMAX Wi-Fi – это система более короткого действия, обычно покрывающая десятки метров, которая использует нелицензированные диапазоны частот для обеспечения доступа к сети. Обычно Wi-Fi используется пользователями для доступа к их собственной локальной сети, которая может быть и не подключена к Интернету. Если WiMAX можно сравнить с мобильной связью, то Wi-Fi скорее похож на стационарный беспроводной телефон (радиотелефон).

WiMAX и Wi-Fi имеют совершенно разный механизм Quality of Service (QoS). WiMAX использует механизм, основанный на установлении соединения между базовой станцией и устройством пользователя. Каждое соединение основано на специальном алгоритме планирования, который может гарантировать параметр QoS для каждого соединения. Wi-Fi, в свою очередь, использует механизм QoS подобный тому, что используется в Ethernet, при котором пакеты получают различный приоритет. Такой подход не гарантирует одинаковый QoS для каждого соединения.

Набор преимуществ присущ всему семейству WiMAX, однако его версии существенно отличаются друг от друга. Разработчики стандарта искали оптимальные решения как для фиксированного, так и для мобильного применения, но совместить все требования в рамках одного стандарта не удалось. Хотя ряд

базовых требований совпадает, нацеленность технологий на разные рыночные ниши привела к созданию двух отдельных версий стандарта (вернее, их можно считать двумя разными стандартами). Каждая из спецификаций WiMAX определяет свои рабочие диапазоны частот, ширину полосы пропускания, мощность излучения, методы передачи и доступа, способы кодирования и модуляции сигнала, принципы повторного использования радиочастот и прочие показатели. А потому WiMAX-системы, основанные на версиях стандарта IEEE 802.16 e и d, практически несовместимы.

Основное различие двух технологий состоит в том, что фиксированный WiMAX позволяет обслуживать только статичных абонентов, а мобильный ориентирован на работу с пользователями, передвигающимися со скоростью до 150 км/ч.

Мобильность означает наличие функций роуминга и "бесшовного" переключения между базовыми станциями при передвижении абонента (как происходит в сетях сотовой связи). В частном случае мобильный WiMAX может применяться и для обслуживания фиксированных пользователей. С изобретением мобильного WiMAX все больший акцент делается на разработке мобильных устройств. В том числе, специальных телефонных трубок (похожи на обычный мобильный смартфон), и компьютерной периферии (USB-радиомодулей и PC card). Оборудование для использования сетей WiMAX поставляется несколькими производителями и может быть установлено как в помещении (устройства размером с обычный xDSL-модем), так и вне его. Следует заметить что оборудование, рассчитанное на размещение внутри помещений и не требующее профессиональных навыков при установке, конечно, более удобно, однако способно работать на значительно меньших расстояниях от базовой станции, чем профессионально установленные внешние устройства. Поэтому оборудование, установленное внутри помещений требует намного больших инвестиций в развитие инфраструктуры сети.

В общем виде WiMAX сети состоят из следующих основных частей: базовых и абонентских станций, а также оборудования, связывающего базовые станции между собой, с поставщиком сервисов и с Интернетом. Структура сетей семейства стандартов IEEE 802.16 схожа с традиционными GSM-сетями (базовые станции

действуют на расстояниях до десятков километров, для их установки не обязательно строить вышки – допускается установка на крышах домов при соблюдении условия прямой видимости между станциями). WiMAX применяется как для решения проблемы "последней мили", так и для предоставления доступа в сеть офисным и районным сетям.

Для соединения базовой станции с абонентской используется высокочастотный диапазон радиоволн от 1,5 до 11 ГГц. В идеальных условиях скорость обмена данными может достигать 70 Мбит/с, при этом не требуется обеспечения прямой видимости между базовой станцией и приемником. Между базовыми станциями устанавливаются соединения (прямой видимости), использующие диапазон частот от 10 до 66 ГГц, скорость обмена данными может достигать 140 Мбит/с. При этом по крайней мере одна базовая станция подключается к сети провайдера с использованием классических проводных соединений. Однако, чем большее число БС подключено к сетям провайдера, тем выше скорость передачи данных и надежность сети в целом.

Bluetooth. Слово Bluetooth – перевод на английский язык датского слова: синий зуб, стандарт назван в честь Харальда I Синезубого – производственная спецификация беспроводных персональных сетей (англ. Wireless personal area network, WPAN). Такое прозвище носил король Харальд (Harald Blaatand, 940-981 гг.), правивший в X веке Данией и частью Норвегии и объединивший враждовавшие датские племена в единое королевство. Подразумевается, что Bluetooth делает то же самое с протоколами связи, объединяя их в один универсальный стандарт.

Bluetooth обеспечивает обмен информацией между такими устройствами как персональные компьютеры (настольные, карманные, ноутбуки), мобильные телефоны, принтеры, цифровые фотоаппараты, мышки, клавиатуры, джойстики, наушники, гарнитур на надежной, недорогой, повсеместно доступной радиочастоте для ближней связи. Беспроводной канал позволяет этим устройствам общаться, когда они находятся в радиусе от 1 до 200 м друг от друга (дальность сильно зависит от преград и помех), даже в разных помещениях. Стоит отметить, что компания AIRcable выпустила Bluetooth-адаптер Host XR с радиусом действия

около 30 км. Для совместной работы Bluetooth-устройств необходимо, чтобы все они поддерживали общий профиль. Профиль – набор функций или возможностей, доступных для определенного устройства Bluetooth.

Спецификация Bluetooth была разработана группой Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG), которая была основана в 1998 году. В нее вошли компании Ericsson, IBM, Intel, Toshiba и Nokia. Впоследствии Bluetooth SIG и IEEE достигли соглашения, на основе которого спецификация Bluetooth стала частью стандарта IEEE 802.15.1 (дата опубликования – 14 июня 2002 года). Однако работы по созданию Bluetooth компания Ericsson Mobile Communication начала в 1994 году. Первоначально эта технология была приспособлена под потребности системы FLYWAY в функциональном интерфейсе между путешественниками и системой. Протокол Bluetooth сейчас поддерживает не только соединение point-to-point, но и соединение point-to-multipoint.

Согласно алгоритму FHSS в Bluetooth несущая частота сигнала скачкообразно меняется 1600 раз в секунду (всего выделяется 79 рабочих каналов шириной в 1 МГц, а в Японии, Франции и Испании полоса уже – 23 частотных канала). Последовательность переключения между частотами для каждого соединения является псевдослучайной и известна только передатчику и приемнику, которые каждые 625 мкс (один временной слот) синхронно перестраиваются с одной несущей частоты на другую. Таким образом, если рядом работают несколько пар приемник-передатчик, то они не мешают друг другу. Этот алгоритм является также составной частью системы защиты конфиденциальности передаваемой информации: переход происходит по псевдослучайному алгоритму и определяется отдельно для каждого соединения. При передаче цифровых данных и аудиосигнала (64 кбит/с в обоих направлениях) используются различные схемы кодирования: аудиосигнал не повторяется (как правило), а цифровые данные в случае утери пакета информации будут переданы повторно.

Спецификации Bluetooth 1.0 (1998) и 1.0B имели плохую совместимость между продуктами различных производителей. В этих версиях спецификаций была обязательной передача адреса устройства (BD_ADDR) на этапе установления связи, что делало невозможной реализацию анонимности соединения на протокольном уровне и было основным недостатком данной спецификации. В

Bluetooth 1.1 было исправлено множество ошибок, найденных в 1.0B, добавлена поддержка для нешифрованных каналов, индикация уровня мощности принимаемого сигнала (RSSI). В версии 1.2 была добавлена технология адаптивной перестройки рабочей частоты (AFH), что улучшило сопротивляемость к электромагнитной интерференции (помехам) путем использования разнесенных частот в последовательности перестройки. Также увеличилась скорость передачи и добавилась технология eSCO, которая улучшала качество передачи голоса путем повторения поврежденных пакетов. В Host Controller Interface (HCI) добавилась поддержка трех-проводного интерфейса UART.

Bluetooth версии 2.0 появился 10 ноября 2004 г. Он имеет обратную совместимость с предыдущими версиями 1.x. Основным нововведением стала поддержка Enhanced Data Rate (EDR) для ускорения передачи данных. Номинальная скорость EDR около 3 Мбит/с, однако на практике это позволило повысить скорость передачи данных только до 2,1 Мбит/с. Дополнительная производительность достигается с помощью различных радио технологий для передачи данных. В августе 2008 года Bluetooth SIG представил версию 2.1+EDR. Новая редакция Bluetooth снижает потребление энергии в 5 раз, повышая уровень защиты данных и облегчая распознавание и соединение Bluetooth-устройств благодаря уменьшению количества шагов, за которые оно выполняется.

Bluetooth 3.0+HS спецификация 2009 года, которая поддерживает теоретическую скорость передачи данных до 24 Мбит/с. Ее основной особенностью является добавление AMP (асимметричная мультипроцессорная обработка, альтернативно MAC/PHY), дополнение к 802.11 как высокоскоростное сообщение. Две технологии были предусмотрены для AMP: 802.11 и UWB, но UWB отсутствует в спецификации. Модули с поддержкой новой спецификации соединяют в себе две радиосистемы: первая обеспечивает передачу данных в 3 Мбит/с (стандартная для Bluetooth 2.0) и имеет низкое энергопотребление; вторая совместима со стандартом 802.11 и обеспечивает возможность передачи данных со скоростью до 24 Мбит/с (сравнима со скоростью сетей Wi-Fi). Выбор радиосистемы для передачи данных зависит от размера передаваемого файла. Небольшие файлы передаются по медленному каналу, а большие – по высокоскоростному.

20 июля 2011 года, компания Apple представила новое поколение MacBook Air, а также новое поколение настольных компьютеров Mac Mini, оснащенных Bluetooth 4.0.

4 октября 2011 года компания Apple представила уже новое поколение iPhone, оснащенное Bluetooth 4.0, в котором низкое энергопотребление достигается за счет использования специального алгоритма работы. Передатчик включается только на время отправки данных, что обеспечивает возможность работы от одной батарейки типа CR2032 в течение нескольких лет! Первый чип с поддержкой Bluetooth 3.0 и Bluetooth 4.0 был выпущен компанией ST-Ericsson в конце 2009 года. Массовый выпуск Bluetooth-модулей на текущий момент не осуществлен (июль 2011 года). Стандарт предоставляет скорость передачи данных в 1 Мбит/с при размере пакета данных 8-27 байт. В новой версии два Bluetooth-устройства смогут устанавливать соединение менее чем за 5 мс и поддерживать его на расстоянии до 100 м. Для этого используется усовершенствованная коррекция ошибок, а необходимый уровень безопасности обеспечивает 128-битное AES-шифрование.

Wireless USB. Несмотря на то, что технология Wireless USB появилась сравнительно недавно, сегодня это одна из наиболее динамично развивающихся беспроводных технологий. Официально о создании Wireless USB Promoter Group впервые было объявлено на весеннем IDF 2004 в Сан-Франциско. Группа была образована семью компаниями (Agere Systems, HP, Intel, Microsoft, NEC, Philips и Samsung) с целью определения и продвижения беспроводного расширения USB. Одной из основных целей разработки, идущей на смену Bluetooth, было объявлено сохранение легкости использования и низкой стоимости проводного USB.

Для понимания сути стандарта Wireless USB придется обратиться к пониманию главного в концепции платформы сверхширокополосной (Ultra Wideband, UWB) беспроводной технологии. Что такое сверхширокополосная модуляция (UWB), многие могут примерно представить себе на примере Bluetooth. Схематически принцип UWB подразумевает генерацию передатчиком миллиардов импульсов в очень широком - порядка нескольких гигагерц, частотном спектре.

Приемная часть преобразовывает импульсы в данные путем отслеживания схожих последовательностей импульсов.

Классическое определение UWB звучит так: 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. UWB - это решение для беспроводной передачи высококачественного мультимедийного контента, например видео, между устройствами бытовой электроники и периферийными устройствами ПК. Одно из основных преимуществ технологии UWB заключается в том, что она не создает помех для других беспроводных технологий, используемых в настоящее время, таких как Wi-Fi, WiMAX и сотовой связи.

Если попробовать изложить вышесказанное более простым языком, технология UWB подразумевает передачу сигнала в широком спектре, перекрывающем частоты многих уже используемых диапазонов. Однако специфический принцип модуляции и отсутствие несущей частоты приводят к своеобразному широкополосному "размазыванию" сигнала по всему спектру - что-то вроде широкополосного "белого шума", не превышающего по уровню обычные фоновые помехи, обладающего в то же время высокой защищенностью информации из-за импульсного характера передачи.

Wireless USB относится к технологиям класса PAN (Personal Area Network). В первую очередь она предназначена для обмена данными на небольших расстояниях. Спецификация декларирует пропускную способность 480 Мбит/с на расстоянии до 3 м, 110 Мбит/с на расстоянии до 10 м.

Существующие в данный момент прототипы уже обеспечивают высокие скорости. В частности, на недавней конференции разработчиков Wireless USB демонстрировался обмен данными на скорости 480 Мбит/с между двумя ПК с использованием прототипов компаний Intel и Alereon. Пример сети этого класса - Bluetooth, правда, пропускные способности, достигаемые в рамках этой технологии, на два порядка ниже. Также немаловажным является тот факт, что Wireless USB использует в сто раз меньше энергии для передачи равного количества информации на той же битовой скорости.

В качестве потенциальных рынков для Wireless USB рассматриваются не только традиционная "вотчина" проводного USB – рынок периферии ПК, но и рынки мобильной техники, а также бытовой электроники. Нередко эта технология называется в качестве наиболее вероятного кандидата на роль основного транспорта для "цифрового дома". Для достижения наилучших результатов в этой области введена расширенная поддержка изохронного трафика (одно из основных новшеств по отношению к проводному USB), что позволит обеспечивать качественную передачу потокового аудио и видео.

HomeRF. HomeRF – технология беспроводных сетей, специально ориентированная на сети, создаваемые в домашних условиях. Главная идея HomeRF заключается в том, что у домашних пользователей нужды совершенно отличны от потребностей корпоративных пользователей. Это значит, что и решения, которые для них требуются, специально для них и разработаны. HomeRF стремится работать в этой нише рынка, поставляя устройства, которые достаточно просто устанавливаются, просты в использовании и более доступны, чем современные беспроводные решения масштаба предприятия.

HomeRF основан на нескольких существующих стандартах передачи голоса и данных и объединяет их в единое решение. Оно работает в полосе частот ISM 2,4 ГГц с использованием FHSS. Скачки по частотам происходят со скоростью от 50 до 100 раз в секунду. Избавление от интерференции происходит посредством разнесения сигналов по времени и частоте.

HomeRF использует радиопередатчики низкой мощности, которые сродни тем, что используются в персональных беспроводных сетях стандарта 802.15 на основе технологии Bluetooth. Различие между двумя технологиями заключается в том, что HomeRF ориентирована только на рынок домашних пользователей, включая SWAP (Standard Wireless Access Protocol – стандартный протокол беспроводного доступа), который в рамках HomeRF дает возможность более эффективно обрабатывать мультимедиа-приложения. Передатчики действуют на расстоянии 40-50 м от базовой станции и могут быть встроены в карточки типа Compact Flash.

ZigBee. ZigBee – название набора сетевых протоколов верхнего уровня, использующих маленькие, маломощные радиопередатчики, основанные на стандарте IEEE 802.15.4. Этот стандарт описывает беспроводные персональные вычислительные сети (WPAN). ZigBee нацелена на приложения, которым требуется длительное время автономной работы от батарей и высокая безопасность передачи данных при небольших скоростях их передачи.

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 ячеистой топологией с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Области применения данной технологии – это построение беспроводных сетей датчиков, автоматизация жилых и строящихся помещений, создание индивидуального диагностического медицинского оборудования, системы промышленного мониторинга и управления, а также при разработке бытовой электроники и персональных компьютеров.

Как ни странно, ZigBee ориентирован на применение там, где есть мощные источники энергии. Это объясняется тем, что ключевые звенья ZigBee-сетей – координатор сети и роутеры – не предназначены для работы от автономных источников. А экономичность ZigBee специалисты склонны рассматривать не в контексте отсутствия постоянных внешних источников энергии, а в том, что планируемая взрывная экспансия интеллектуальных приемопередатчиков во все возможные сферы деятельности человека может вызвать огромный рост потребления электроэнергии если не уделить должного внимания экономичности. К примеру, в характерном доме недалекого будущего предположительно будет размещаться до 100 беспроводных датчиков и исполнительных устройств. При количестве 50000 домов в городе и использовании технологии Wi-Fi энергопотребление такого города выросло бы на 3,3 мегаватта. При использовании ZigBee с передатчиками до 3 дБм и циклом работы в 0,1% от общего времени потребление выросло бы всего на 150 Вт!

Благодаря профилям, создание приложения с использованием ZigBee превращается практически из задачи программирования в задачу конфигурирования. В спецификации первых лет технологии определено три

стандартных профилях: профиль автоматизации зданий, профиль автоматизации управления бытовым освещением, профиль управление оборудованием. Спецификация допускает создание и сосуществование наряду со стандартными и частных профилей, и практически каждый изготовитель законченных ZigBee-модулей пользуется этой возможностью.

2.2. Беспроводные компьютерные сети

Беспроводные компьютерные сети – это технология, позволяющая создавать вычислительные сети, полностью соответствующие стандартам для обычных проводных сетей (например, Ethernet), без использования кабельной проводки. В качестве носителя информации в таких сетях выступают радиоволны СВЧ-диапазона.

Стандарт IEEE 802.11 определяет два режима работы сети – Ad-hoc и клиент-сервер. Режим Ad-hoc (иначе называемый «точка-точка») – это простая сеть, в которой связь между станциями (клиентами) устанавливается напрямую, без использования специальной точки доступа. В режиме клиент-сервер беспроводная сеть состоит, как минимум, из одной точки доступа, подключенной к проводной сети, и некоторого набора беспроводных клиентских станций.

Для организации беспроводной сети в замкнутом пространстве применяются передатчики со всенаправленными антеннами. Следует иметь в виду, что через стены с большим содержанием металлической арматуры (в железобетонных зданиях таковыми являются несущие стены) радиоволны диапазона 2,4 ГГц иногда могут вообще не проходить, поэтому в комнатах, разделенных подобной стеной, придется ставить свои точки доступа. Мощность, излучаемая передатчиком точки доступа или же клиентской станции, работающей по стандарту IEEE 802.11, не превышает 0,1 Вт, но многие производители беспроводных точек доступа ограничивают мощность лишь программным путем, и достаточно просто поднять мощность до 0,2-0,5 Вт. Для сравнения – мощность, излучаемая мобильным телефоном, на порядок больше (в момент звонка – до 2 Вт). Поскольку, в отличие от мобильного телефона, элементы сети расположены далеко от головы, в целом

можно считать, что беспроводные компьютерные сети более безопасны с точки зрения здоровья, чем мобильные телефоны.

Продукты для беспроводных сетей, соответствующие стандарту IEEE 802.11, предлагают четыре уровня средств безопасности: физический, идентификатор набора служб (SSID – Service Set Identifier), идентификатор управления доступом к среде (MAC ID – Media Access Control ID) и шифрование.

Технология DSSS для передачи данных в частотном диапазоне 2,4 ГГц за последние 50 лет нашла широкое применение в военной связи для улучшения безопасности беспроводных передач. В рамках схемы DSSS поток требующих передачи данных «разворачивается» по каналу шириной 20 МГц в рамках диапазона ISM с помощью схемы ключей дополнительного кода (Complementary Code Keying, ССК).

Для декодирования принятых данных получатель должен установить правильный частотный канал и использовать ту же самую схему ССК. Таким образом, технология на базе DSSS обеспечивает первую линию обороны от нежелательного доступа к передаваемым данным. Кроме того, DSSS представляет собой «тихий» интерфейс, так что практически все подслушивающие устройства будут отфильтровывать его как «белый шум».

Идентификатор SSID позволяет различать отдельные беспроводные сети, которые могут действовать в одном и том же месте или области. Он представляет собой уникальное имя сети, включаемое в заголовок пакетов данных и управления IEEE 802.11. Беспроводные клиенты и точки доступа используют его, чтобы проводить фильтрацию и принимать только те запросы, которые относятся к их SSID. Таким образом, пользователь не сможет обратиться к точке доступа, если только ему не предоставлен правильный SSID. Возможность принятия или отклонения запроса к сети может зависеть также от значения идентификатора MAC ID.

MAC ID – это уникальное число, присваиваемое в процессе производства каждой сетевой карте. Когда клиентский ПК пытается получить доступ к беспроводной сети, точка доступа должна сначала проверить адрес MAC для клиента. Точно так же и клиентский ПК должен знать имя точки доступа.

Механизм Wired Equivalency Privacy (WEP), определенный в стандарте IEEE 802.11, обеспечивает еще один уровень безопасности. Он опирается на алгоритм шифрования RC4 компании RSA Data Security с 40- или 128-разрядными ключами.

Несмотря на то, что использование WEP несколько снижает пропускную способность, эта технология заслуживает более пристального внимания. Дополнительные функции WEP затрагивают процессы сетевой аутентификации и шифрования данных. Процесс аутентификации с разделяемым ключом для получения доступа к беспроводной сети использует 64-разрядный ключ – 40-разрядный ключ WEP выступает как секретный, а 24-разрядный вектор инициализации (Initialization Vector) – как разделяемый. Если конфигурация точки доступа позволяет принимать только обращения с разделяемым ключом, она будет направлять клиенту случайную строку вызова длиной 128 октетов.

Клиент должен зашифровать строку вызова и вернуть зашифрованное значение точке доступа. Далее точка доступа расшифровывает полученную строку и сравнивает ее с исходной строкой вызова. Право клиента на доступ к сети определяется в зависимости от того, прошел ли он проверку шифрованием. Процесс расшифровки данных, закодированных с помощью WEP, заключается в выполнении логической операции «исключающее ИЛИ» (XOR) над ключевым потоком и принятой информацией.

Процесс аутентификации с разделяемым ключом не допускает передачи реального 40-разрядного ключа WEP, поэтому этот ключ практически нельзя получить путем контроля за сетевым трафиком. Ключ WEP рекомендуется периодически менять, чтобы гарантировать целостность системы безопасности.

Для вторжения в сеть необходимо к ней подключиться. В случае проводной сети требуется электрическое соединение, беспроводной – достаточно оказаться в зоне радиовидимости сети с оборудованием того же типа, на котором построена сеть.

В проводных сетях основное средство защиты на физическом и MAC-уровнях – административный контроль доступа к оборудованию, недопущение злоумышленника к кабельной сети. В сетях, построенных на управляемых коммутаторах, доступ может дополнительно ограничиваться по MAC-адресам сетевых устройств.

В беспроводных сетях для снижения вероятности несанкционированного доступа предусмотрен контроль доступа по MAC-адресам устройств и тот же самый WEP. Поскольку контроль доступа реализуется с помощью точки доступа, он возможен только при инфраструктурной топологии сети. Механизм контроля подразумевает заблаговременное составление таблицы MAC-адресов разрешенных пользователей в точке доступа и обеспечивает передачу только между зарегистрированными беспроводными адаптерами. При топологии «ad-hoc» (каждый с каждым) контроль доступа на уровне радиосети не предусмотрен.

Весьма динамично развивается в последние годы стандарт беспроводной связи Radio Ethernet. Изначально он предназначался для построения локальных беспроводных сетей, но сегодня все активнее используется для подключения удаленных абонентов к магистралям. С его помощью решается проблема «последней мили» (правда, в отдельных случаях эта «миля» может составлять от 100 м до 25 км). Radio Ethernet сейчас обеспечивает пропускную способность до 54 Мбит/с и позволяет создавать защищенные беспроводные каналы для передачи мультимедийной информации.

Данная технология соответствует стандарту 802.11, разработанному Международным институтом инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) в 1997 году и описывающему протоколы, которые позволяют организовать локальные беспроводные сети (Wireless Local Area Network, WLAN). Один из главных конкурентов 802.11 – стандарт HiperLAN2 (High Performance Radio LAN), разрабатываемый при поддержке компаний Nokia и Ericsson. Следует заметить, что разработка HiperLAN2 ведется с учетом обеспечения совместимости данного оборудования с системами, построенными на базе 802.11a.

2.3. Беспроводные персональные сети

Беспроводные персональные сети (англ. wireless personal area network, WPAN) – сети, стандарт которых обозначен как IEEE 802.15.

WPAN применяются для связи различных устройств, включая компьютерную, бытовую и оргтехнику, средства связи и т. д. Физический и канальный уровни регламентируются стандартом IEEE 802.15.4. Радиус действия

WPAN составляет от нескольких метров до нескольких десятков сантиметров. WPAN используется как для объединения отдельных устройств между собой, так и для связи их с сетями более высокого уровня, например, глобальной сетью интернет.

WPAN может быть развернута с использованием различных сетевых технологий Bluetooth, ZigBee и другими.

Работы по изучению возможности применения мобильных, сетевых коммуникаций начались еще в 1994 году. Компании IBM, Nokia, Intel и Toshiba создали консорциум для разработки стандарта беспроводной связи между ЭВМ посредством устройств с ограниченным радиусом действия.

Проект являлся конкурентом стандарта IEEE 802.11 (оба стандарта используют один и тот же частотный диапазон, одни и те же 79 каналов). Главной его целью являлось удаление любых кабелей из телефонии, а если получится, и из локальных сетей. Очевидно, что в нынешнем виде Bluetooth не может вытеснить 802.11 хотя бы из-за ограничений на максимальный размер сети. Но эта технология быстро развивается, трудно предсказать, какое место она займет в самые ближайшие годы. В 1999 году был выдан 1500-страничный документ v1.0. После этого группа стандартизации IEEE взяла этот документ за основу стандарта 802.15 (физический уровень и уровень передачи данных). В 2002 году IEEE утвердил стандарт 802.15.1. Пока стандарт 802.15 и Bluetooth не идентичны, но ожидается их объединение в самом ближайшем будущем.

Технология Bluetooth опирается на нелицензируемый (практически везде кроме России) частотный диапазон 2,4÷2,4835 ГГц. При этом используются широкие защитные полосы: нижняя граница частотного диапазона составляет 2 ГГц, а верхняя - 3,5 ГГц. Частота (положение центра спектра) задается с точностью ± 75 кГц. Дрейф частоты в этот интервал не входит. Кодирование сигнала осуществляется по двухуровневой схеме GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). Логическому 0 и 1 соответствуют две разные частоты. В оговоренной частотной полосе выделяется 79 радиоканалов по 1 МГц каждый.

Как отмечалось, ZigBee – название набора сетевых протоколов верхнего уровня, использующих маленькие, маломощные радиопередатчики, основанные на стандарте IEEE 802.15.4.

Имя бренда происходит от поведения медовых пчел, после возвращения их в улей. Сети, образованные по протоколу ZigBee начали рассматриваться с 1998, когда многие установщики осознали, что протоколы WiFi и Bluetooth стали неподходящими для многих приложений. В частности, многие инженеры увидели необходимость в самоорганизуемых сетях. ZigBee нацелен на приложения, которым требуется длительное время автономной работы от батарей и высокая безопасность передачи данных, при небольших скоростях передачи данных. ZigBee работает в промышленных, научных и медицинских (ISM-диапазон) радиодиапазонах: 868 МГц в Европе, 915 МГц в США и в Австралии, и 2,4 ГГц в большинстве стран в мире (под большинством юрисдикций стран мира). Технология определяется спецификацией, разработанной с намерением быть проще и дешевле, чем остальные персональные сети, такие как Bluetooth.

Так как ZigBee-устройство большую часть времени находится в спящем режиме, уровень потребления энергии может быть очень низким, благодаря чему достигается длительная работа от батарей. ZigBee-устройство может активироваться (то есть переходить от спящего режима к активному) за 15 мс или меньше, задержка его отклика может быть очень малой, особенно по сравнению с Bluetooth, для которого задержка, образующаяся при переходе от спящего режима к активному, обычно достигает трех секунд.

Принимая во внимание такие критерии, как цена чипов, дешевизна и скорость освоения технологии, низкое энергопотребление, помехоустойчивость можно сказать, что ZigBee нередко является сейчас лучшим выбором. Чипы для реализации ZigBee выпускают такие известные фирмы, как Texas Instruments, Freescale, Atmel, STMicroelectronics, OKI и т.д. И это гарантирует низкие цены на комплектующие для этой технологии. ZigBee – это технология, заполняющая нишу низкоскоростных беспроводных сетей с низким энергопотреблением, предназначенных для систем управления с большим количеством узлов, таких как системы освещения в зданиях, системы наблюдения за парком промышленного оборудования и т.д.

В настоящее время достаточно доступными являются модули ZigBee: ETRX2, ETRX3, выпущенные фирмой Telegesis. Для ознакомления с ними существуют стартовые наборы, включающие в себя модуль-координатор,

имеющий USB-разъем, и три других модуля, которые можно настроить на работу роутера или конечного устройства, располагающего датчиками температуры и освещенности, тестовыми кнопками и т.п.

2.4. Топологии беспроводных персональных сетей

Существуют различные топологии беспроводных сетей: кольцо, двунаправленное кольцо, дерево, звезда, многоярусная звезда и т.п. [4, 5].

В зависимости от требований приложений IEEE 802.15.4 LR-WPAN может работать в рамках одной из двух топологий: звезда (star) или peer-to-peer (P2P).

При этом существуют три различных типа устройств сети, задействованные в сети: координатор, маршрутизатор и конечное устройство, представленные на рис. 10.

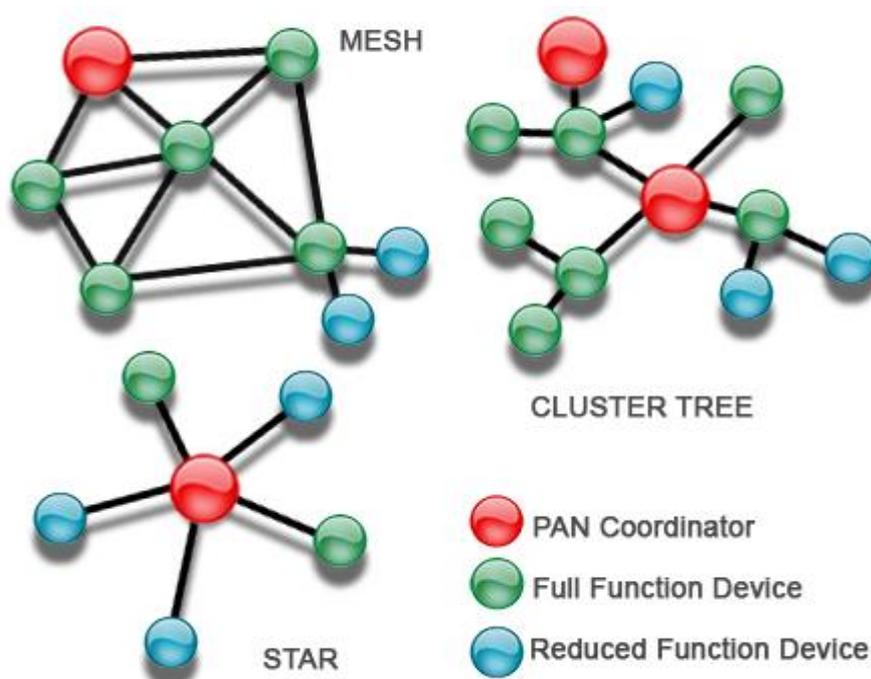


Рисунок 10. Типичные топологии сети и принятые обозначения.

Координатор (ZC) – наиболее ответственное устройство (Coordinator), формирует пути древа сети и может связываться с другими сетями. В каждой сети есть один координатор ZigBee. Он и запускает сеть от начала. Он может хранить

информацию о сети, включая хранилище секретных паролей производства компании Trust Centre.

Маршрутизатор (ZR) – маршрутизатор (Full Function Device) может выступать в качестве промежуточного звена, передавая данные с других устройств. Он также может запускать функцию приложения.

Конечное устройство (ZED) – его функциональная нагруженность позволяет ему обмениваться информацией с материнским узлом (с координатором или с маршрутизатором).

Конечное устройство (Reduced Function Device) не может передавать данные с других устройств. Такое отношение позволяет узлу львиную часть времени пребывать в спящем состоянии, что обеспечивает экономию энергоресурса батарей.

ZED требует минимального количества памяти, и поэтому может быть дешевле в производстве, чем ZR или ZC. По названной причине его называют также редуцированным (Reduced Function Device).

Процесс формирования сети происходит следующим образом. Даже если все устройства ZigBee включены и могут вести общение друг с другом, сеть не возникнет, пока не появится устройство, взявшее на себя роль координатора. Координатор единственный, кто может инициировать начало формирования сети. Координатор начинает с определения уровня энергии на всех доступных частотных каналах. Выбирается канал с наименьшим уровнем энергии. Выбрав канал, координатор определяет наличие в нем других работающих ZigBee сетей и их идентификаторы через общение с узлами этих сетей. Затем координатор случайным образом выбирает идентификатор для своей сети из диапазона 0x0000-0x3FFE так, чтобы он не совпал с идентификаторами других сетей в том же частотном диапазоне.

Сетевой 16-битный адрес координатора всегда равен 0x0000. Теперь координатор разрешает присоединяться к своей сети другим устройствам. Другие устройства же, до этого момента сканировавшие запросами эфир на предмет доступных сетей, получают, наконец, ответ от координатора о том, что они могут присоединиться к его сети. Присоединение начинается по принципу дерева.

Присоединив некоторое количество первых конечных устройств и роутеров, координатор отказывается присоединять непосредственно к себе остальных, оставшиеся вынуждены искать уже присоединившиеся к координатору роутеры (конечные устройства не могут никого присоединять) и присоединяться к ним. Таким образом, начинает ветвиться дерево присоединений. Из кандидатов в родительские узлы предпочтение отдается тем, от кого меньше всего остается переходов к координатору.

В случае звездообразной топологии коммуникации устанавливаются между отдельными устройствами и центральным контроллером, называемым координатором PAN. Координатор PAN может быть ориентирован также на вполне определенные приложения, но он может использоваться для инициации, завершения или маршрутизации коммуникаций в сети. Сетевое устройство обычно ассоциируется с одним из приложений и в процессе коммуникаций является либо отправителем, либо получателем данных.

Топология peer-to-peer (P2P) также работает с координатором PAN. Она отличается от звезды тем, что любые сетевые устройства могут обмениваться друг с другом, если существуют соответствующие каналы.

Топология P2P позволяет формировать более сложные сетевые конфигурации. Выделяют древовидные (кластерное дерево: cluster tree) и ячеистые (смешанная: mesh) структуры. Сеть P2P может быть в принципе самоорганизующейся и самовосстанавливающейся. Эта топология позволяет организовать и многошаговые маршруты доставки сообщений от одного сетевого устройства другому. Такие функции могут быть добавлены на более высоком уровне и не являются частью данного стандарта. Приложения, типа промышленного управления и мониторинга, сети беспроводных сенсоров, интеллектуальное сельское хозяйство и безопасность делают данную технологию крайне привлекательной.

Координатор PAN может быть запитан от сети переменного тока, в то время как прочие устройства часто питаются от батарей. Приложения, предпочитающие звездообразную топологию, включают в себя домашние системы автоматизации, периферийные устройства персональных компьютеров, игрушки и игры, а также различные устройства, связанные с заботой о здоровье.

2.5. Адресация в персональных сетях

Поскольку предусматривается совместное сосуществование разных сетей ZigBee на одном частотном канале, то для их различения введен 16-битный идентификатор сети (Personal area network ID, PAN ID).

Все устройства, работающие в сети любой топологии, снабжаются уникальными 64-битными адресами. Этот адрес может использоваться для прямых коммуникаций в пределах PAN.

Но передача такого длинного идентификатора довольно накладна, и диапазон адресов, предоставляемый такой длиной идентификатора, явно избыточен. В ZigBee введен короткий 16-и битный сетевой адрес устройства, назначаемый единым координатором сети при ее организации.

Спецификация предполагает возможность одной сетью решать множество прикладных задач не связанных друг с другом. Для возможности различения пакетов по приложениям, для которых они предназначены, используются 8-и битные номера конечных точек. Приложения надо понимать в широком смысле, это может быть просто управление лампочкой, или канал для передачи данных во внешний шлюз сети другого типа, или контур управления отоплением помещения и т.д.

Для того, чтобы лучше понимать состав сервисов стека и для чего они могут служить, на рис. 11 представлена структура адресации в ZigBee.

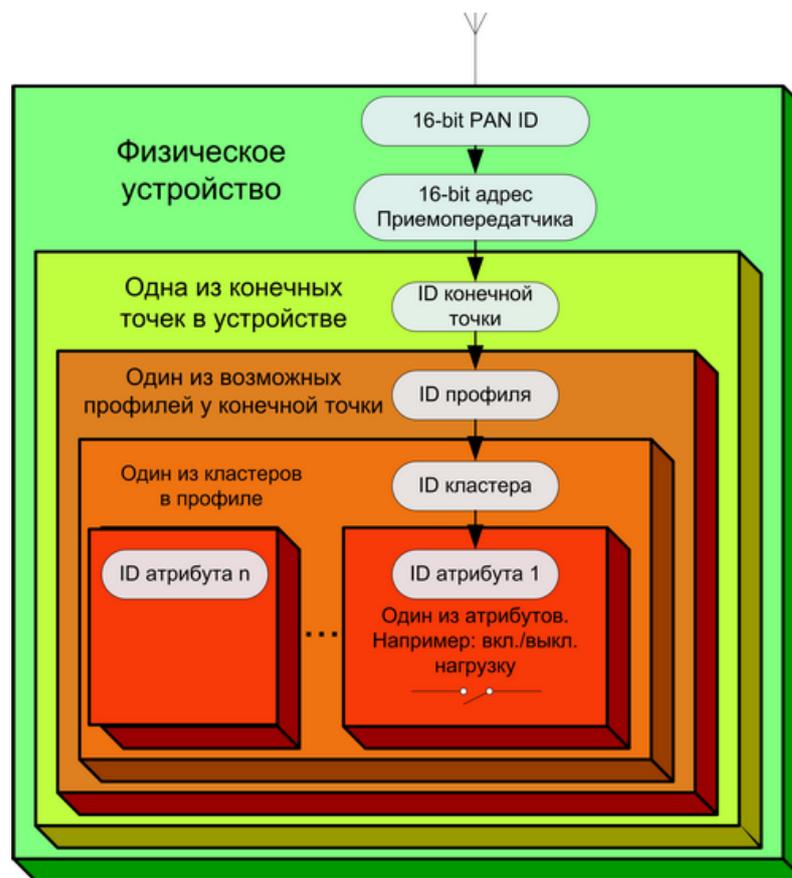


Рисунок 11. Структура адресации в ZigBee.

С тем, чтобы обеспечить полную совместимость устройств разных производителей и их способность взаимодействовать в рамках единого распределенного приложения, было введено понятие профилей, которые различаются в пакетах с помощью 16-битного идентификатора. Профиль описывает ряд технических параметров, соглашений о структурах данных и форматах сообщений которых жестко должны придерживаться изготовители, чтобы их изделия были совместимы по этому профилю.

Кластеры – некоторая абстракция, контейнер для атрибутов. Кластеры введены с целью облегчения администрирования групп родственных атрибутов. Допустим, вместо того, чтобы каждый раз перечислять атрибуты, можно просто ссылаться на них, используя номер кластера. Идентификатор кластера имеет длину 8 бит. И, наконец, конечная точка путешествия – атрибут. Как видно из рисунка, иногда смысл его очевиден.

Глава 3. Технология ZigBee

3.1. Профили приложений технологии ZigBee

Реализация ZigBee-устройств существенно зависит от профиля их приложения. Текущий список профилей приложений, опубликованных альянсом или уже находящихся в работе, следующий:

- домашняя автоматизация;
- рациональное использование энергии (ZigBee Smart Energy 1.0/2.0);
- автоматизация коммерческого строительства;
- телекоммуникационные приложения;
- персональный, домашний и больничный уход;
- игрушки.

Протоколы ZigBee разработаны для использования во встроенных приложениях, требующих низкую скорость передачи данных и низкое энергопотребление. Созданная в итоге сеть потребляет (на уровне конечных устройств) настолько мало, что индивидуальные устройства, согласно данным сертификации ZigBee, позволяют питающим их энергобатареям работать два года.

Сеть может использоваться в промышленном контроле, встроенных датчиках, сборе медицинских данных, оповещении о вторжении или задымлении, строительной и домашней автоматизации и т.п.

Радиоразработки, используемые в ZigBee, тщательно оптимизированы и обеспечивают низкие цены большого числа продукции этой линейки. Хотя радиопередатчики сами по себе недороги, процесс квалификации ZigBee включает в себя полную проверку требований на физическом уровне.

Такая подробная доводка физического уровня имеет многочисленные преимущества, так как все радио, полученные из этого набора полупроводниковых элементов, будут обладать теми же RF-характеристиками.

С другой стороны, если физический уровень будет не сертифицирован, неправильное функционирование может уменьшить длительность работы батарей в других устройствах, включенных в сеть ZigBee. Если есть несколько аналоговых

каскадов, где возможно используются цифровые контуры, желательно отключать питание сенсоров.

3.2. Протоколы и лицензии технологии ZigBee

Протоколы построены на относительно недавно разработанном алгоритме AODV (протокол динамической маршрутизации для мобильных ad-hoc сетей (MANET) и других беспроводных сетей) и NeuRFon, предназначенными для образования ad-hoc сетей (децентрализованная беспроводная сеть, образованная случайными абонентами) или узлов. В большинстве случаев сеть является скоплением скоплений. Она также может принимать форму сети или одиночного скопления. Текущие профили получаются из протоколов ZigBee и поддерживают сети с включенными или отключенными маячками. В сетях с отключенными маячками (где количество маячков составляет 15) используется механизм доступа к каналам.

В этом типе сети маршрутизаторы ZigBee обычно поддерживают свои приемники включенными, что требует более мощной энергоподдержки. Однако это позволяет работать разнородным сетям, в которых некоторые устройства продолжительно принимают, пока другие только передают, в то время, когда определяются внешние сигналы. Типичный пример разнородной сети – это беспроводной ламповый выключатель.

Спецификация ZigBee доступна для широкой публики при условиях некоммерческого использования.

Входной уровень членства в альянсе ZigBee, называемый Adopter, обеспечивает доступ к еще не опубликованным спецификациям и разрешает создавать продукты для коммерческого использования спецификации. Регистрация в ходе использования спецификации ZigBee требует от коммерческого разработчика присоединения к альянсу ZigBee: “Ни одна часть этой спецификации не может быть использована для производства продуктов или продажи без членства в альянсе ZigBee”. Происходят ежегодные конфликты по поводу оплаты с общей публичной лицензией GNU. Согласно пункту 2-b: “Вы должны быть уверены в том, что любая работа, которую вы распространяете или публикуете,

если вся эта работа или ее часть содержит программу или извлечена из программы или из любой ее части, вся эта работа должна быть лицензирована как целое без передачи третьим лицам, согласно условиям данной лицензии”.

С тех пор как лицензия GPL не делает различий между коммерческим и некоммерческим использованием невозможно выполнить лицензирование стека ZigBee согласно GPL или совместить выполнение ZigBee с лицензионным кодом GPL. Требование к разработчику присоединиться к альянсу ZigBee также вступает в конфликт с другими лицензиями свободного программного обеспечения.

3.3. Топология беспроводной сети ZigBee от Telegesis

В таблице 1 приведен обзор устройств сети Telegesis на основе модулей ETRX357.

Таблица 1. ZigBee-устройства

Тип устройства	Наименование	ZigBee наименование
COO	Координатор	ZigBee Coordinator координатор (ZC)
FFD	Маршрутизатор	ZigBee Router (ZR)
ZED	Конечное устройство (не спящее)	ZigBee End Device (ZED)
SED	Спящее конечное устройство	ZigBee End Device (ZED)
MED	Мобильное конечное устройство	ZigBee End Device (ZED)

Наименования "полнофункциональное устройство" (FFD) и "редуцированное устройство" (RFD) устарели, хотя эти аббревиатуры встречаются в технических описаниях.

Сеть состоит из координатора (ZC), который создает сеть, маршрутизаторов-роутеров (ZR) и конечных устройств (ZED). Координатор совмещает в себе функции маршрутизатора, каждый маршрутизатор поддерживает до 16-ти конечных устройств (до 32 в серии ETRX3) в любом сочетании спящих и мобильных (подвижных). Мобильное устройство может исчезнуть из сети ввиду его перемещения, в остальном же оно сходно со спящим. В состоянии низкого

энергопотребления вводятся только *спящие* конечные модули. Координатор и маршрутизаторы поддерживают связность такой сети. Сообщения конечных устройств не буферизируются, отсылаются в сеть немедленно.

По умолчанию модуль присоединяется к PAN как маршрутизатор, но путем изменения содержимого регистра S0A его можно сделать конечным устройством. Невозможно сменить роль координатора или трост центра. В соответствии с ZigBee PRO стандартом доступна сеточная, но не древовидная структура.

Структура сети Telegesis показана на рис. 12. Она включает три типа узлов: координатор, маршрутизаторы и конечные узлы (спящие и мобильные).

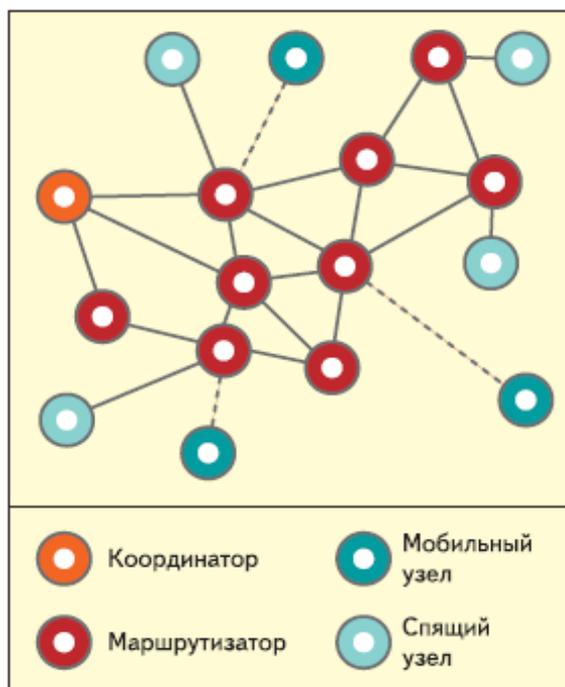


Рисунок 12. Топология сети Telegesis.

Уникальной функцией координатора является задача образования сети, которая заключается в сканировании эфира и выборе наименее загруженного частотного канала. Маршрутизаторы в простейшем случае должны иметь стационарное питание и стационарное положение в пространстве. Они ретранслируют пакеты данных от других узлов и сами могут быть источниками информации.

Сток (улей, слив, sink) – частная особенность Telegesis-модулей. Когда узел определяется как сток установкой 4-го бита регистра **S10**, его адрес транслируется остальной части сети.

Важной особенностью технологии ETRX для систем коммерческого учета является возможность защиты передаваемых данных. Шифрование данных осуществляется при помощи алгоритма AES-128 с симметричным ключом, как во время передачи данных в сети, так и во время ее образования. Предварительное занесение ключей шифрования во все узлы позволяет, с одной стороны, не допустить в сеть посторонние устройства и подменить передаваемые данные, а с другой стороны – делает невозможной расшифровку информации, полученной путем прослушивания эфира.

3.4. Стандарт 802.15.4, отличия от других беспроводных сетей

Стандарт IEEE 802.15.4 описывает беспроводные персональные вычислительные сети и оговаривает следующие параметры радиосети – диапазон частот, тип модуляции, структуру пакетов, правила формирования контрольной суммы, способы предотвращения коллизий и т.д. Стандарт определяет нижние слои протокола – физический слой PHY, и контроль доступа MAC, часть ссылки на слой данных DLL (рис. 13).

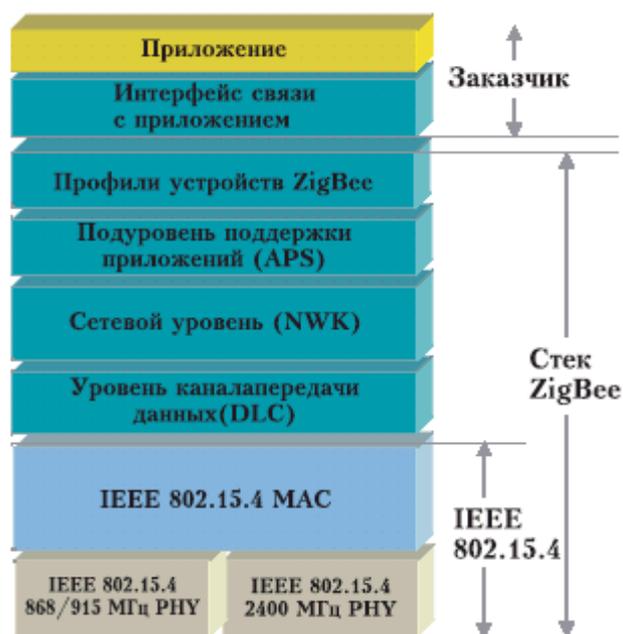


Рисунок 13. Архитектура IEEE 802.15.4.

Стандарт был создан в мае 2003, а летом 2003 главный поставщик ячеистых сетей Philips Semiconductors прекратил инвестиции. Однако Philips Lighting продолжил участие со стороны данной корпорации, которая осталась покровителем (промоутером) в составе совета директоров альянса ZigBee. О создании альянса

ZigBee было объявлено в 2004. Уже в следующем году число его членов удвоилось и выросло до более чем 100 компаний в 22 странах.

Архитектура IEEE 802.15.4 определяет ряд уровней, призванных упростить стандарт. Каждый уровень ответственен за одну часть стандарта и предоставляет услуги вышерасположенному уровню. Интерфейсы между уровнями определяют логические связи, описанные в данном стандарте.

Устройство LR-WPAN представляет уровень РНУ, оно включает в себя радиочастотный (RF) трансивер с низкоуровневым механизмом управления, и субуровень MAC, который обеспечивает доступ к физическому каналу для всех типов передачи.

Стандарт определяет работу на частотах 2,4 ГГц (в мире, не лицензированная частота), 915 МГц (Американский континент) и 868 МГц (Европа) диапазон ISM.

На частоте 2,4 ГГц есть 16 каналов ZigBee (рис. 14), каждый канал требует ширины диапазона в 5 МГц. Основная частота для каждого канала может быть рассчитана по формуле как $FC = (2405 + 5 * (ch - 11))$ МГц, где $ch = 11, 12, \dots, 26$.

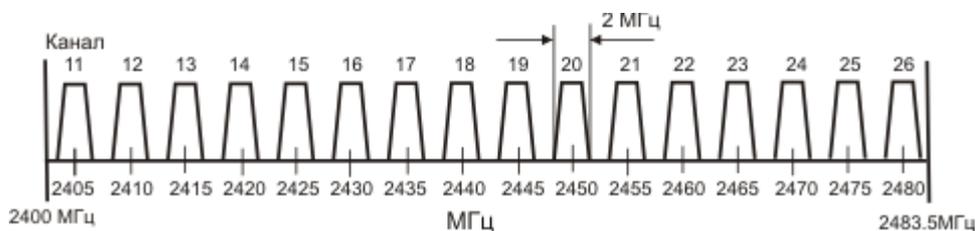


Рисунок 14. Каналы ZigBee на частоте 2,4 МГц.

Трансивер, это особое устройство радиомодуля, когда часть элементов передатчика используется при построении приемника (частичное совмещение). Именно миниатюрные трансиверы открыли возможность построения компактных беспроводных систем.

Для организации полноценной сети ZigBee к трансиверу необходимо добавить микроконтроллер, в который должен быть загружен набор управляющих программ, так называемый стек протоколов ZigBee.

Реализуя управляющую программу, основной модуль (координатор) при создании сети выбирает наименее зашумленный канал из отмеченной на рисунке гребенки, позволяя, тем самым, добиться эффективной радиосвязи.

Благодаря таймерам, конечные модули (экономящие электроэнергию) не спят непрерывно, периодически проверяя наличие им сообщений и запросов от управляющего центра, и формируют реакции, что гарантирует надежность передачи сообщений, при том, что энергия на поддержание сети расходуется порциями.

Собственно, это и является достижением рассматриваемой технологии, поскольку радиопередатчик и микроконтроллер при непрерывной их работе потребляют такие энергоресурсы, что это противоречит использованию батарей.

3.5. Оборудование и назначение

Все требуемые характеристики, в большей или меньшей степени, реализуются в микросхеме приемопередатчика (трансивера). Трансиверы, отвечающие стандарту 802.15.4, могут использоваться как самостоятельные устройства, если разработчику нужно организовать связь точка-точка или звезда.

Расстояние передачи модулей ZigBee – от 10 до 75 м и свыше 1500 м для Zigbee pro, хотя оно сильно зависит от отдельного оборудования. Максимальная выходная мощность радиоканала в основном составляет 0 дБм (1 мВт).

Радиоканал использует широкополосную модуляцию с прямым расширением спектра, которая управляется цифровым потоком в модуляторе. Двоичная фазовая манипуляция используется на полосах в 868 и 915 МГц, а офсетная квадратурная фазовая манипуляция, передающая по 2 бита в символе, используется на полосе 2,4 ГГц. В чистом виде, при передаче через воздух, скорость передачи данных составляет 250 кбит/с для каждого канала в диапазоне 2,4 ГГц, 40 кбит/с для каждого канала в диапазоне 915 МГц и 20 кбит/с в диапазоне 868 МГц.

Для организации полноценной сети ZigBee необходимо добавить микроконтроллер, в который должен быть загружен набор управляющих программ, так называемый стек протоколов ZigBee. К управляющему контроллеру

выдвигаются определенные требования – память программ должна быть не менее 64 Кбайт, если устройство будет исполнять роль координатора, для окончного устройства достаточно 4 Кбайт программной памяти.

Радиомодуль также можно использовать отдельно с любым процессором и микроконтроллером. Как правило, производители радиомодулей предлагают также стек программного обеспечения ZigBee, хотя доступны и другие независимые стеки.

Органом, обеспечивающим и публикующим стандарты ZigBee, является альянс ZigBee. Он публикует профили приложений, что позволяет производителям изначальной комплектации создавать совместимые продукты.

Концерн RF4CE (радиочастоты для бытовой электроники) согласился работать с альянсом ZigBee для совместного распространения стандартизированной спецификации, предназначенной для радиочастотного дистанционного управления. ZigBee RF4CE был разработан для широкого употребления в дистанционно управляемых аудио/видео продукции, такой как телевизоры и телеприставки. Это обещает множество преимуществ по сравнению с существующими техническими решениями для дистанционного управления, включая расширение связей.

Глава 4. Современные реализации сетей на основе технологии ZigBee

4.1 Ведущие производители оборудования ZigBee.

На сегодняшний день трансиверы стандарта 802.15.4 выпускают производители: Freescale, Chipcon, Ember, Jennic, UBEC, OKI (CompX). Все трансиверы работают в общем диапазоне частот от 2400 до 2483 МГц, имеют 16 каналов передачи с шагом 5 МГц, обеспечивают скорость в радиоканале 250 Кбит/сек и используют расширение спектра кодовой последовательностью. Трансивер 86RF210 от Atmel и ZMD44101 от ZMD Group работают только в диапазоне 868/915 МГц.

Freescale и Chipcon – безусловные лидеры в производстве приемопередатчиков стандарта 802.15.4. Они регулярно объявляют о новых разработках в этой области. Chipcon уже успел продать более 1 млн. своих чипов.

Компания Ember лицензировала свой чип EM2420 у компании Chipcon. Это «брат-близнец» трансивера CC2420. Ember ориентирован на продажу своих чипов OEM-производителям аппаратуры в совокупности со своими программными наработками – стеками EmberNet, EmberZNet, EmberZNet v2. Одна из первых реально работающих сетей 802.15.4 развернута в Корее – это система сбора показаний бытовых счетчиков электроэнергии. В данной сети из 250 узлов используются чипы и стек от Ember.

Jennic позиционирует себя как первого производителя интегрированного ZigBee чипа (трансивер и управляющий микроконтроллер в одном корпусе).

О чипе компании UBEC довольно мало информации, хотя UBEC и является членом ZigBee альянса. Трансивер UBEC uz2400 анонсирован в сентябре 2004 года, а в сентябре 2005 года Microchip объявил, что его версия стека ZigBee будет поддерживать этот чип. Что касается чипа ML7065, то в действительности это совместная разработка с компанией CompuX, которая представляла ранее этот чип как CX1540.

Компания CompuX разработала также отладочные средства для этого трансивера. Документацию по чипу CX1540 еще можно найти в Интернете, однако сайт CompuX уже не доступен, т.к. фирма CompuX была приобретена компанией Integration Associates (fabless компания из силиконовой долины, член альянса ZigBee).

Как правило, в продаже имеются чипы ZigBee, объединяющие в себе радиомодули и микроконтроллеры с размером Flash-памяти от 60К до 128К таких производителей, как Jennic JN5148, Freescale MC13213, Ember EM250, Texas Instruments CC2430, Samsung Electro-Mechanics ZBS240 и Atmel ATmega128RFA1.

4.2 Примеры реализации сетей – приложения

Примерами реализации сетей в рамках проектов "Умный дом", "Управление движением" и т.п. являются пособия научно-производственного института

"Учебная техника и технологии" Южно-Уральского государственного университета [11].

Типовой комплект учебного оборудования "Сенсорные сети ZigBee в системах умного дома" приведен на рис. 15. Основой для передачи данных в рамках комплекса является сенсорная сеть ZigBee.



Рисунок 15. Типовой комплект учебного оборудования.

В состав комплекса входят ноутбук, ZigBee-модем Telegesis ETRX2USB, и модули:

- модуль «Электросчетчик» – 1 шт.;
- модуль «Освещение» – 1 шт.;
- модуль «Датчики» – 1 шт.;
- модуль «Электропитание» – 1 шт.

Фирма – член международной ассоциации разработчиков и производителей учебной техники "Worlddidac" (Швейцария, Базель). Лабораторный комплекс предназначен для проведения лабораторно-практических работ для студентов высших, средних специальных и профессионально-технических учебных заведений с целью ознакомления с современными технологиями автоматизации систем учёта и сбережения электроэнергии.

На рис. 16 показан один из модулей комплекта. С системой поставляется программное обеспечение для управления системой и учебно-методическое пособие (2 комплекта).



Рисунок 16. Модуль освещения

Помимо этого стенда, фирма имеет в наличии широкий ассортимент (более 900 наименований) информационных средств, учебно-лабораторного оборудования и наглядных пособий для начального профессионального образования, школ, техникумов, колледжей и высших учебных заведений.

География клиентов обширна: от Краснодара до Архангельска, от Калининграда до Камчатки. Разнообразие продукции позволяет оборудовать со сдачей «под ключ» аудитории, кабинеты и лаборатории современными информационными средствами и комплексами, учебно-лабораторным оборудованием и наглядными пособиями.

Следующий типовой комплект учебного оборудования "Сенсорные сети ZigBee в системах автоматического управления" тоже заслуживает внимания. Комплект предназначен для проведения лабораторно-практических работ для студентов высших, средних специальных и профессионально-технических учебных заведений с целью изучения всех аспектов технологии сенсорных сетей ZigBee и получения навыков в их настройке.

В качестве автоматизируемой системы используется модель железнодорожного участка пути (рис. 17, 18).



Рисунок 17. Внешний вид комплекса



Рисунок 18. Поезд, подъезжающий к шлагбауму

В состав комплекса входят стол-основа, ноутбук с приемопередатчиком ZigBee, отладочный модуль, два переходника USB-UART, комплект проводов.

Также прилагаются следующие изделия:

- макет поезда – 2 шт.;
- макет железной дороги;
- макет железнодорожного полотна;

- десять рельсовых модулей с ZigBee Telegesis ETRX-2;
- две железнодорожных стрелки, управляемые рельсовыми модулями;
- двенадцать фонарей для освещения железнодорожного полотна;
- два шлагбаума, управляемые с рельсового модуля;
- два семафора, управляемые рельсовыми модулями.

В перечень лабораторных работ входят: знакомство с теорией и основой работ сенсорных сетей ZigBee, управление портами ввода-вывода модуля ETRX-2, аналогово-цифровое и цифро-аналоговое преобразование в модуле ETRX-2, датчики температуры и освещенности, энергопотребление модулей, выполнение операций над макетом, управление макетом с помощью AT-команд и т.п.

Цифровая метеостанция. Комплект из многофункциональных беспроводных погодных датчиков Oregon WMRS200 (рис. 19) позволяет ознакомиться с технологией построения метеостанций для прогноза погоды на сутки или 12 ч в радиусе 30 км.



Рисунок 19. Беспроводные погодные датчики Oregon WMRS200

Цифровая метеостанция обеспечивает беспроводную передачу данных на 100 м (от датчиков на USB-устройство, подключенное к ПК).

4.3. Модули фирмы Telegesis

Комплект для изучения технологии ZigBee от фирмы Telegesis (рис. 20) содержит три отладочных платы с разъемом для присоединения съемных модулей

ETRX3 и USB-интерфейсом для реализации шлюза ZigBee-USB [12,13]. В набор также входят 8 съемных модулей с различным типом используемой антенны и максимальной выходной мощностью, а также ZigBee модуль ETRX2USB.

Разнообразие составляющих данного комплекта, позволяет быстро и в полном объеме ознакомиться с возможностями встраиваемых радиомодулей серии ETRX3 для реализации ZigBee-устройств.



Рисунок 20. Комплект для изучения технологии ZigBee

Комплект для изучения технологии ZigBee содержит три отладочных платы с разъемом для присоединения съемных модулей ETRX3 и USB-интерфейсом для реализации шлюза ZigBee-USB.

Сток (улей, слив, sink) - особенность Telegesis-модулей. Когда узел определяется как сток установкой 4-го бита регистра S10, его адрес транслируется остальной части сети. Другие узлы могут отправлять сообщения на сток-узел с помощью AT-команд или различных встроенных функций. Это упрощает разработку прикладного программного обеспечения, поскольку нет нужды знать EUI64-адрес стока заранее. Устройства узнают о стоке, когда, во-первых, они получают регулярные трансляции из стока, во-вторых, их принуждают послать запрос на адрес стока установкой бита 8 конфигурационного регистра S10, первое сообщение в сток теряется, и, в-третьих, при использовании специализированной AT + SSINK команды.

Координатор беспроводной сети ZigBee. Прилагается ZigBee-модуль с интерфейсом USB-ETRX357USB, три miniUSB-кабеля, две полуволновые антенны и кабельные сборки к ним с разъемом U.F.L, две четвертьволновые антенны и кабельные сборки к ним с разъемом U.F.L. Для использования координатора следует скачать с сайта Telegesis.com его драйвер и установить на компьютер, после чего новому устройству (рис. 21), вставленному в USB-разъем будет присвоен номер COM-порта.



Рисунок 21. ZigBee модуль ETRX2USB

Этот номер виден в стандартной программе Windows, обзоревающей свойства аппаратуры системы. Он применяется для связи с модулем через терминал – специальную программу, обменивающуюся через выделенный COM-порт кодами символов (при **19200** бод). Для того, чтобы координатор воспринимал последовательность символов как текстовую команду, необходимо, чтобы она завершилась кодом перевода каретки (кодом клавиши Enter). Терминальные программы содержат окно для ввода таких текстов и окно, на котором отображаются присылаемые в ответ символы. С их помощью удобно изучать координатор в работе.

Например, команда **ATI** (с кодом перевода каретки CR) USB-координатор отвечает: **TELEGESIS ETRX3 R304X 0021ED00000468C9 OK.**

Сообщается номер модуля ETRX, номер прошивки R304X и фабричный номер устройства 0021ED00000468C9. Это первая команда, с которой стоит начинать диалог.

ATS04? возвращает прописанный заводом в регистре **S04** номер **0021ED00000468C9**. Аналогично читается любой другой регистр модуля.

В набор входят 8 съемных модулей (рис. 22) с различным типом используемой антенны и максимальной выходной мощностью. Разнообразие составляющих данного комплекта, позволяет быстро и в полном объеме ознакомиться с возможностями встраиваемых радиомодулей серии ETRX3 для реализации ZigBee-устройств.



Рисунок 22. Модуль ETRX3

В составе по два модуля: ETRX35x+CB с интегрированной антенной, ETRX35xHR+CB с разъемом U.FL для присоединения внешней антенны, ETRX35x-LR+CB со встроенным усилителем и с интегрированной антенной, ETRX35xHR-LR+CB со встроенным усилителем и с разъемом U.FL для присоединения внешней антенны.

На отладочной плате предусмотрено питание модуля шнуром от блока питания, от USB кабеля или от батарей, переключение - джампером power. Модуль, будучи не подключенным к сети, начинает искать сеть.

Если пренебречь возможностями беспроводного доступа, конечное устройство можно настраивать через USB-кабель заранее, не включая координатор

и не присоединяя FFD-модуль к сети. При этом придется выяснить номер COM-порта, присвоенный Windows проводному каналу связи. В этом режиме регистры модуля читаются и перезаписываются точно так же, как и регистры координатора.

ATS0A=4000:password назначает модуль спящим устройством **SED**.

Если проблемы питания пользователя не волнуют, то можно он употребить код **8000**, в этом случае модуль интерпретируется как конечное устройство **ZED**. Это и стоит делать на первых порах. Пароль (**password**) – заводской, он хранится в отведенном для пароля регистре, его можно при желании сменить. Вид модуля на отладочной плате приведен на рис. 23.



Рисунок 23. Модуль на отладочной плате

Ножки **PC7, PC6, ... , PC0, PB7, PB6, ... , PB0, PA7, PA6, ... , PA0** образуют в двоичном представлении число, используемое для реконфигурации значений на выходах микроконтроллера с помощью регистра **S18**. Не все из них определены как выходы, и только часть снабжена светодиодами.

Рядом с микроконтроллером расположена пара светодиодов на выходах: **PA7** – красный, **PA6** – зеленый. В сброшенном состоянии выходов регистра (нулевом) они горят. Команда, передаваемая через координатор,

ATREMS:E627,18=00000040 отключает зеленый светодиод **PA6**, другой код **00000080** – красный **PA7**, **000000C0** - оба этих светодиода.

На монтажной плате установлено еще два зеленых светодиода: LED2 связан с PC0, LED1 связан с PB6. Их тоже можно включать и выключать, переворачивая биты S18.

ATREMS:E627,18=00004000 отключает зеленый светодиод LED1, 00010000 - зеленый светодиод LED2.

Регистр S19 содержит стартовое значение регистра S18, изменение его битов приведут к изменению свечения светодиодов после отключения и включения модуля. Пара соседних регистров S16-S17 служат для назначения и инициализации конфигурации входов-выходов микроконтроллера на старте, по умолчанию S17=000142CC. Функционально часть светодиодов (рис. 24) служит, отражая подачу питания на плату, часть связана с некоторыми фабрично заложенными реакциями. В режиме сна для экономии батарей их все стоит отключить.

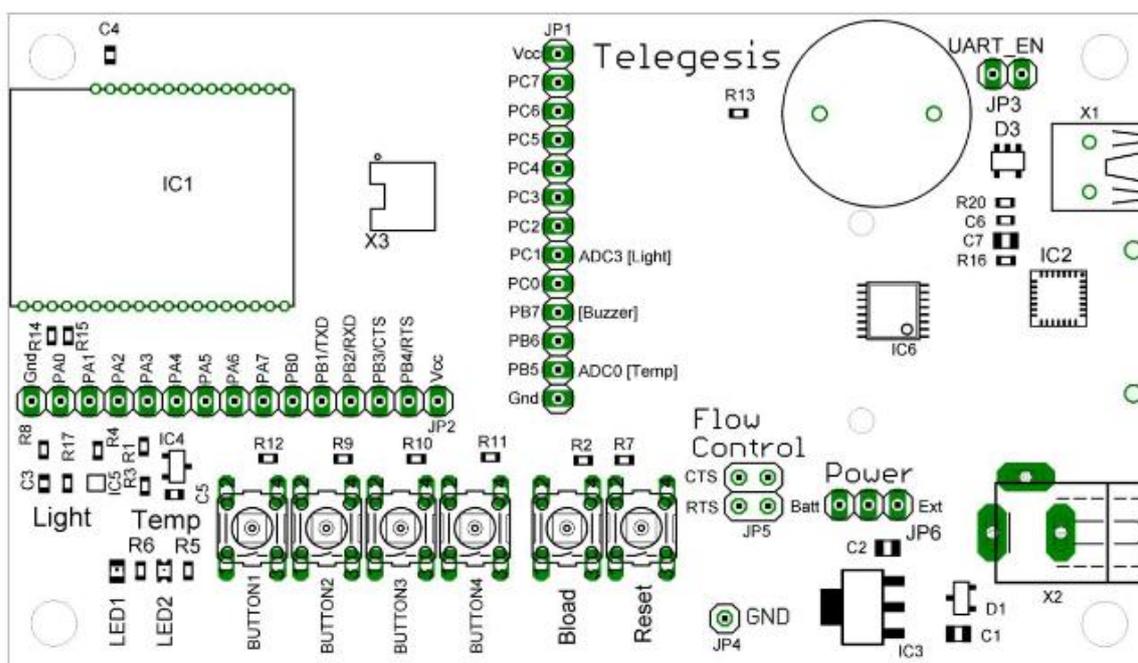


Рисунок 24. Схема отладочной платы с датчиками и светодиодами

На рис. 24 помечены только зеленые светодиоды основания, радиомикросхема расположена в ее гнездах, работу отражает зеленый и красный светодиоды (см рис. 22).

Описание ножек платы вынесено в специальную справочную таблицу 2.

Под платой находится батарейный отсек, куда вставляются две пальчиковые минибатарей. Кроме того, плату можно питать от блока питания или по шнуру USB.

Для переключения питания имеется джампер Power, при соединении питающей линии загораются все четыре светодиода основной платы и насадки с микросхемой.

На плате имеется удобный для испытаний функционал, в частности, кнопки и штекеры, для подключения цифровых или аналоговых датчиков (или эффекторов).

Процессор микроконтроллера можно перепрограммировать или использовать предустановленное программное обеспечение [14].

Таблица 2. Выводы ETRX35х: по определению **S17=0142CC**, альтернативные установки содержит **S15=00000600**.

Имя	Индекс	Ножка	S17	Основная функция	Альтернатива	S15
PC7	17	4	In			
PC6	16	3	In			
PC5	15	2	In		Активировать TX_active ETRX357	
PC4	14	24	In			
PC3	13	23	In			
PC2	12	22	In			
PC1	11	26	In		ADC3 (датчик света)	
PC0	10	27	Out	LED		
PB7	F	28	In		ADC2, PWM	
PB6	E	29	Out	Кнопка 4, LED, IRQ3	ADC1	
PB5	D	30	In		ADC0 (датчик температуры)	
PB4	C	8	In			
PB3	B	6	In			
PB2	A	18	In		RXD	*
PB1	9	17	Out		TXD	*
PB0	8	25	In	Кнопка 3, IRQ2		
PA7	7	5	Out	LED		
PA6	6	16	Out	LED		

Имя	Индекс	Ножка	S17	Основная функция	Альтернатива	S15
PA5	5	15	In	Загрузка (Bootload)		
PA4	4	14	In			
PA3	3	12	Out	Питание датчика		
PA2	2	11	Out	Питание датчика		
PA1	1	10	In	Кнопка 2, IRQ1		
PA0	0	9	In	Кнопка 1, IRQ0		

Конечные узлы не ретранслируют сообщений и поэтому могут переходить в режимы пониженного энергопотребления, что дает им возможность функционировать от батарей до нескольких лет. Конечные узлы общаются со всей сетью через свой "родительский" маршрутизатор. Выбор "родителя" осуществляется автоматически во время образования сети. Если впоследствии "родительский" узел по каким-либо причинам перестанет функционировать, "дочерний" конечный узел найдет себе другой "родительский" маршрутизатор.

Библиографический список

1. Остроумов Б.А. Михаил Александрович Бонч-Бруевич // Радио. 1967. № 4. – С. 5.
2. Попова Ю. Рупор революции // Энергия промышленного роста. 2009. № 8. – С. 34.
3. Информационный ресурс сети Интернет <http://cao-ntcr.mipt.ru/vesti.htm> (к 75-летию начала аэрологических наблюдений в России) – последнее обращение 27.01.2012.
4. Семенов Ю.А. Протоколы и ресурсы Интернет. – М.: Радио и связь, 1996. – 320 с.
5. Информационный ресурс сети Интернет <http://book.iter.ru> (Семенов Ю.А. Telecommunication technologies - телекоммуникационные технологии) – последнее обращение 27.01.2012.
6. Варгаузин В.А. Сетевая технология ZigBee // ТелеМультиМедиа. 2005. № 6. – С. 29-32.
7. Варгаузин В.А. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4 // ТелеМультиМедиа. 2005. № 6. – С. 23-27.
8. Пушкарев О.И. Кирпичики для построения сети ZigBee // Беспроводные технологии. 2006. № 1. – С. 34-38.
9. Пушкарев О.И. ZigBee-модули XBee: новые возможности // Беспроводные технологии. 2008. № 4. – С. 22-25.
10. Соколов М.А. Программно-аппаратное обеспечение беспроводных сетей на основе технологии ZIGBEE/802.15.4 // Электронные компоненты. 2004. № 12. С. 80-87.
11. Информационный ресурс сети Интернет <http://www.labstend.ru> (Сайт научно-производственного института "Учебная техника и технологии" Южно-Уральского государственного университета) – последнее обращение 27.01.2012.
12. Кривченко Т.И. Zigbee-модемы ETRX компании Telegesis // Беспроводные технологии. 2006. № 2. – С. 28-30.

13. Кривченко Т.И. Zigbee-модемы ETRX2 компании Telegesis: Что нового? // Беспроводные технологии. 2007. № 2. – С. 28-30.
14. Солодунов С. Средства разработки Ember для быстрой реализации проектов ZigBee // Беспроводные технологии 2011. № 3. – С. 55-61.
15. Информационный ресурс сети Интернет <http://ru.wikipedia.org/wiki/Zigbee> (набор сетевых протоколов ZigBee) – последнее обращение 27.01.2012.