

Использование сверхширокополосных сигналов для персональных беспроводных компьютерных сетей.

М. Ю. Лях

О. Б. Семенов

Содержание

(Для перехода к соответствующему разделу нажмите на номер страницы)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ.	3
ВВЕДЕНИЕ	3
Сущность технологии СШП (UWB)	4
РЕГЛАМЕНТИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ДИАПАЗОНОВ ДЛЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ СВЯЗИ	4
РАЗРАБОТКА СТАНДАРТОВ UWB-СИСТЕМ ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ	5
ОБЗОР ПОДХОДОВ КОРПОРАЦИИ INTEL К СТАНДАРТИЗАЦИИ UWB СИСТЕМ В РАМКАХ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ IEEE 802.15.3a	6
СОВМЕСТИМОСТЬ С ДРУГИМИ СИСТЕМАМИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ	11
Выводы	11
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	12

ОТКАЗ ОТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ. МАТЕРИАЛЫ ПРЕДОСТАВЛЯЮТСЯ ПО ПРИНЦИПУ "КАК ЕСТЬ", БЕЗ КАКИХ-ЛИБО ЯВНЫХ ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫХ ГАРАНТИЙ, ВКЛЮЧАЯ, В ЧИСЛЕ ПРОЧЕГО, ГАРАНТИЙ В ОТНОШЕНИИ ИХ РЫНОЧНЫХ КАЧЕСТВ, НЕНАРУШЕНИЯ ПРАВ НА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНУЮ СОБСТВЕННОСТЬ ИЛИ ПРИГОДНОСТИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В ТЕХ ИЛИ ИНЫХ КОНКРЕТНЫХ ЦЕЛЯХ. НИ ПРИ КАКИХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ КОРПОРАЦИЯ INTEL ИЛИ ЕЕ ПОСТАВЩИКИ НЕ НЕСУТ КАКОЙ-ЛИБО ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА УЩЕРБ (ВКЛЮЧАЯ, В ЧИСЛЕ ПРОЧЕГО, УПУЩЕННУЮ ВЫГОДУ, ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИОСТАНОВКИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИЛИ ПОТЕРЮ ДАННЫХ), ВЫТЕКАЮЩИЙ ИЗ ФАКТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ, ЛИБО НЕВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАТЬ, ЧТО РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ И НА ТЕ СЛУЧАИ, КОГДА КОРПОРАЦИЯ INTEL БЫЛА ПРЕДУПРЕЖДЕНА О ВОЗМОЖНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ТАКОГО УЩЕРБА. УЧИТЫВАЯ, ЧТО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО, ДЕЙСТВУЮЩЕЕ В РЯДЕ ЮРИСДИКЦИЙ, НЕ ДОПУСКАЕТ ОГРАНИЧЕНИЯ ИЛИ ОТКАЗА ОТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ПОБОЧНЫЙ ИЛИ КОСВЕННЫЙ УЩЕРБ, ИЗЛОЖЕННОЕ ВЫШЕ ПОЛОЖЕНИЕ МОЖЕТ К ВАМ НЕ ОТНОСИТЬСЯ. КОРПОРАЦИЯ INTEL И ЕЕ ПОСТАВЩИКИ НЕ ГАРАНТИРУЮТ ТОЧНОСТИ ИЛИ ПОЛНОТЫ ТЕКСТОВОЙ ИЛИ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ, ССЫЛОК И ИНОГО СОДЕРЖАНИЯ МАТЕРИАЛОВ. КОРПОРАЦИЯ INTEL ВПРАВЕ В ЛЮБОЕ ВРЕМЯ И БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УВЕДОМЛЕНИЯ ВНОСИТЬ ЛЮБЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В УКАЗАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, А РАВНО И В ПРОДУКЦИЮ, ОПИСАНИЕМ КОТОРОЙ ОНИ СЛУЖАТ. КОРПОРАЦИЯ INTEL НЕ БЕРЕТ НА СЕБЯ КАКИХ-ЛИБО ОБЯЗАТЕЛЬСТВ ПО ОБНОВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ.

Примечание: Корпорация Intel не контролирует содержание сайтов других компаний и не может нести ответственности за продукцию и услуги других компаний. Все ссылки, выводящие Вас за пределы Web-сайта Intel, предоставляются только для Вашего удобства.

Использование сверхширокополосных сигналов для персональных беспроводных компьютерных сетей.

М.Ю. Лях

О.Б. Семенов

Введение

Интерес к применению сверхширокополосных (СШП, английская аббревиатура UWB — ultra-wideband) электромагнитных сигналов возник еще в 1960х годах, когда появились первые работы по генерации и распространению ультракоротких импульсов и шумоподобных сигналов [1, 2, 7]. В последующие годы была выдвинута идея использования импульсов длительностью порядка наносекунды для радиолокации с высоким разрешением [3]. Развитие приемо-передающей техники в 1960–1970х годах (в основном в США и СССР) привело к созданию генераторов и приемников ультракоротких импульсов, а также эффективных широкополосных антенн [4, 5]. С этого времени началось создание коммерческих радиолокационных систем на сверхширокополосных сигналах. Первые работы в области использования СШП сигналов для систем связи появились в начале 70х годов прошлого века [6].

Разработки в области сверхширокополосной связи в последующее время носили скорее академический и экспериментальный характер. Данная технология использовалась только в ограниченном круге приложений. С развитием элементной базы микроэлектроники появилась возможность создания коммуникационных систем с достаточно ограниченным покрытием, обеспечивающих высокую пропускную способность для применения в персональных компьютерных сетях. Развитие данной области подогревается возникшим в последнее время интересом к передаче больших потоков мультимедийной информации (скорости порядка сотен мегабайт/с) для персональных или корпоративных целей, чего не могут пока обеспечить существующие беспроводные методы передачи информации как для локальных сетей (WLAN, стандарт IEEE 802.11), так и для персональных сетей (WPAN, стандарт Bluetooth). При этом одно из потенциальных применений — обеспечение беспроводной передачи данных между базовым узлом (например, персональным компьютером) и его периферийными устройствами (клавиатура, мышь, принтер и т.д.). В этом случае сверхширокополосный канал связи играет роль заменителя кабельного соединения, который должен предоставлять передачу данных на скоростях в достаточно широком диапазоне — от относительно низких (порядка 100 Кб/с для беспроводной мыши) до высоких (больше порядка 100 Мб/с для скоростного обмена файлами в сети, передачи потоковой аудио и видео информации в реальном времени) с сохранением низкого уровня задержек и стабильной синхронизации. Кроме того, UWB-канал, поддерживающий прямое соединение между компьютерами (peer-to-peer), может служить для обмена информацией в сетях с архитектурой «ad-hoc». Оценки показывают [8], что применение сверхширокополосных систем в персональных сетях потенциально может обеспечить загруженность сети на порядки выше, чем существующие на сегодняшний день узкополосные беспроводные технологии (например, Bluetooth).

Многообещающие возможности СШП сигналов для персональной беспроводной связи вызвали интерес к применению этой технологии у ряда крупных компаний, в том числе корпорации Intel которые проводят самостоятельные исследования в этой области.

Целями данной статьи являются:

- краткое введение в технологию СШП с иллюстрацией возможности ее использования для проектирования физического уровня систем персональной беспроводной сети на примере технических решений, предлагаемых компанией Intel в качестве одного из претендентов в комитете IEEE 802.15.3a (будущий стандарт высокоскоростной персональной беспроводной сети);
- краткий обзор действующих в различных регионах тенденций по распределению частотного диапазона, который может быть использован для построения персональных беспроводных сетей, в различных регионах;
- обозначение некоторых проблем и трудностей при массовом внедрении технологии СШП для построения персональных беспроводных сетей.

Сущность технологии СШП (UWB)

В ранних работах по сверхширокополосной связи (см. [9]) было предложено использовать импульсную модуляцию с ультракороткими импульсами гауссовой формы, осциллограмма которого может быть записана в виде:

$$u_g(t) = A \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{T_p} \right)^2 \right] \exp \left[-2\pi \left(\frac{t}{T_p} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где A — амплитуда сигнала, T_p — его длительность. Заметим, что такая форма сигнала обеспечивает нулевую постоянную составляющую. Спектр такого импульса имеет вид

$$U_g(f) = A\sqrt{2\pi}T_p(T_p f)^2 \exp \left[-\frac{\pi}{2}(T_p f)^2 \right], \quad (2)$$

представленный на рис.1 для импульса длительностью 1 нс. Модуляция сигнала может осуществляться либо изменением амплитуды импульса (включение/выключение или изменение знака на противоположный), либо смещением центра импульса внутри периода повторения импульса T_r .

Достоинством такого канала связи является то, что за счет изменения длительности импульса T_p можно

управлять шириной спектра сигнала, а за счет уменьшения периода повторения импульсов T_r можно снижать уровень усредненной спектральной плотности мощности (СПМ) сигнала, чтобы не создавать помех другим приемным системам, чьи диапазоны перекрывает спектр импульса (например диапазоны GPS, ISM и/или U-NII). Множественный доступ в такой системе реализуется за счет расширения прямой последовательностью, либо временным сдвигом импульсов в псевдослучайной последовательности. Таким образом, технология UWB позволяет одновременно обеспечить высокую пропускную способность, слабое влияние на системы узкополосного типа и большое число пользователей в ограниченной области пространства (например, одном помещении).

Несмотря на очевидные плюсы описанной технологии, она не избавлена и от ряда существенных недостатков. К основным из них можно отнести негибкость управления спектром излучаемого сигнала (положение границ занимаемой частотной полосы определяется только одним параметром — T_p), необходимость подавления на входе приемника узкополосных сигналов, являющихся помехами для UWB-устройства. Кроме того, очевидно, что спектр периодического импульсного сигнала отличается от спектра одного импульса, т.е. в СПМ передаваемой последовательности возникают острые и высокие максимумы на частотах, кратных $1/T_r$, которые, возможно, будут нарушать установленные предельные уровни средней СПМ для таких сигналов. Заметим, что в UWB-системе для обеспечения требуемой мощности излучения (с целью снижения вероятности ошибок передачи) необходимо использовать импульсы с весьма высоким пиковым значением, что приводит к трудностям проектирования как передающего, так и приемного тракта.

Таким образом, для обеспечения устойчивой скоростной передачи данных описанная СШП система требует некоторого усложнения, которое позволило бы более эффективно управлять спектром излучения. Тем не менее, для совершенствования системы требуется знание конкретных физических условий распространения волн, и, в первую очередь, разрешенный диапазон частот и предельное значение средней СПМ.

Регламентирование частотных диапазонов для сверхширокополосной связи

Обширные возможности, которые открываются при использовании сверхширокополосных систем связи, привели к тому, что заинтересованные компании, уже зарекомендовавшие себя на рынке радиолокационных

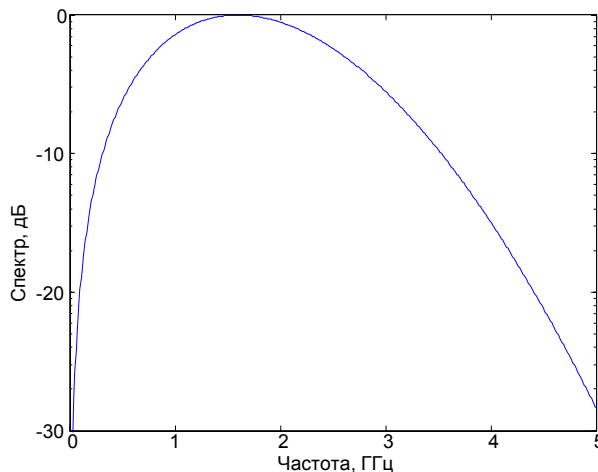


Рис. 1. Спектр гауссова импульса (1) длительностью 1 нс

импульсных устройств (Time Domain, US Radar и др.), обратились в Федеральную комиссию по связи США (FCC) для выработки правил использования сверхширокополосных сигналов без дополнительного лицензирования устройств. В 1999–2000 гг. FCC совместно с Национальным управлением по телекоммуникациям и информации (NTIA) начала исследование с целью определить диапазон частот для такого рода устройств.

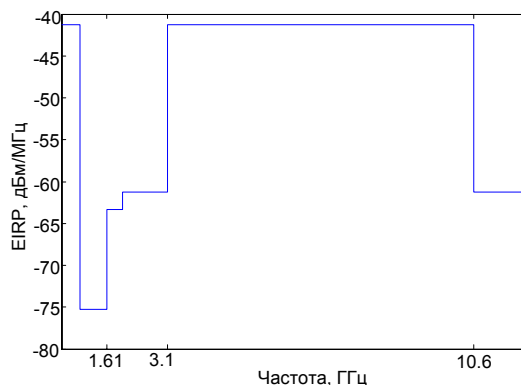
Задачей такого исследования было совместно с правительственными органами, основными заинтересованными компаниями и различными сообществами (общественной безопасности, транспортной безопасности, системы глобального позиционирования) выработать правила использования сверхширокополосных сигналов без создания помех существующим системам связи, мониторинга и навигации. Для этого были произведены измерения допустимого уровня СШП помех для систем поиска и спасения (~406 МГц, ~1544 МГц), безопасности воздушного транспорта (960–1370 МГц, 2700–2900 МГц), глобального позиционирования и различных навигационных и метеорологических радарных установок. В результате проведенных исследований FCC выработало спектральные маски для эффективной изотропно-излучаемой мощности (EIRP) при использовании переносных и комнатных систем СШП связи (февраль 2002 г.) [10], изображенные на рис.2а,б соответственно. Таким образом, максимально допустимым уровнем спектральной плотности мощности передатчика является $-41,3$ дБм/МГц ($7,4 \cdot 10^{-5}$ мВт/МГц), разрешенным в диапазонах ниже 960 МГц и 3,1–10,6 ГГц.

В настоящее время соответствующие регулирующие органы в Европе и Японии разрабатывают правила использования СШП сигналов с учетом особенностей местной радиообстановки, при этом полагая упомянутое решение FCC за основу [10]. Следует подчеркнуть, что распределение спектров в указанных регионах отличается от США лишь деталями, что позволяет использовать правила, принятые FCC, за отправную точку.

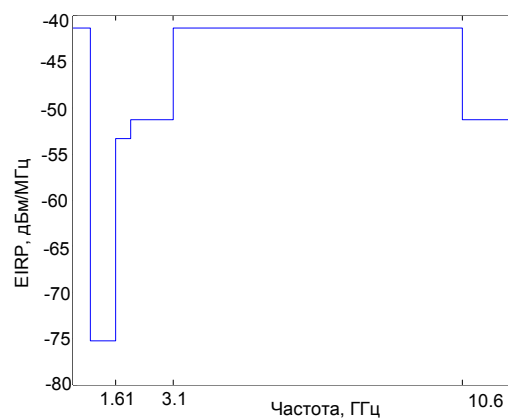
Разработка стандартов UWB-систем для персональных сетей

В конце 2002 года рабочая группа 802.15 [11] американского Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE), проводящая открытую стандартизацию систем беспроводных коммуникаций для персональных компьютерных сетей, выпустила запрос на предложения стандарта нового (альтернативного) физического уровня для беспроводных персональных сетей (WPAN) на основе технологии UWB с высокой пропускной способностью, обеспечиваемой на сравнительно небольших расстояниях (порядка 5–10 м). Ожидаемые технические характеристики такой системы помимо высокой пропускной способности: обеспечение связи на больших расстояниях при пропускной способности меньшего уровня, низкое энергопотребление, обеспечение множественного доступа и возможность последующего наращивания частотного диапазона по мере расширения спектральной маски для UWB-передатчиков. Рабочей группой 802.15.3а, продвигающей UWB-системы, были разработаны технические требования, накладываемые на соответствующие адаптеры, а также критерии и процедура принятия решения по стандартизации. В настоящее время группа рассматривает предложения более 20 компаний, отбирая те, которые наиболее полно удовлетворяют достаточно жестким требованиям:

1. Скорость передачи для отдельного соединения вплоть до 500 Мб/с, высокая пропускная способность (до 1,5 Гб/с на узле), большое число конечных устройств.



а)



б)

Рис.2. Спектральные маски диапазона, разрешенного для использования СШП связи в США.
а — для мобильных устройств;
б — для комнатных устройств

2. Средняя эффективная изотропно-излучаемая мощность согласно маске FCC.
3. Безопасность передачи данных.
4. Электромагнитная совместимость ячейки сети (пиконета) по крайней мере с 3 другими ячейками.
5. Низкий уровень задержек для обеспечения передачи мультимедийной информации в реальном времени, удовлетворение требованиям QoS (Quality of Service).
6. Электромагнитная совместимость с иными системами WPAN, WLAN и другими системами электросвязи.
7. Устойчивость в условиях многолучевого распространения (в помещении).

Кроме того, группой разрабатываются модели каналов для различных физических реализаций UWB-сетей и возможные конкретные приложения.

Обзор подходов корпорации Intel к стандартизации UWB систем в рамках рабочей группы IEEE 802.15.3a

Очевидно, что классическая технология передачи данных в широкой полосе частот, описанная выше, не способна удовлетворить техническим требованиям, поставленным рабочей группой IEEE 802.15.3a. Чтобы обеспечить работу беспроводной сети на том уровне, который диктуется современными задачами, необходимы кардинально новые подходы к UWB-технологии. Кроме того, для удовлетворения требованиям низкого энергопотребления и дешевизны серийных UWB-адаптеров имеется тенденция к изменению взгляда на генерацию и модуляцию сигналов с целью реализации всей приемо-передающей цепочки на одном КМОП-чипе. Такая задача, несомненно, под силу лишь крупной компании, имеющей большие достижения в микропроцессорной технике, которой, по существу и является компания Intel.

Отметим, что основным аспектом рационализации использования частотного диапа-зона является переход к многополосной системе, предполагающей разбиение всего разрешенного диапазона на поддиапазоны шириной больше порядка 500 МГц, модуляцию сигнала внутри поддиапазона и определенное переключение между поддиапазонами. Ниже приводится описание двух различных решений, основанных на многополосном разбиении выделенного диапазона. Первое из решений, на базе импульсного подхода, было доведено до практической реализации в виде действующего в реальном масштабе времени прото-типа, публичную демонстрацию которого компания Intel провела в апреле этого года на Intel Developer Forum в г. Токио. Второе решение, на базе подхода с использованием модуляции со многими ортого-нальными поднесущими (подобный тип модуляции используется в xDSL-технологиях и в локальных сетях, отвечающих протоколу 802.11a), в настоящее время поддерживается альянсом из многих известных компаний и может рассматриваться как наиболее вероят-ный кандидат на будущий стандарт IEEE 802.15.3a для беспроводных персональных се-тей следующего поколения. Создание мощной группы поддержки этого решения в коми-тете 802.15 произошло летом 2003 года в результате напряжённой работы и многочислен-ных рабочих заседаний, дискуссий и встреч в рамках рабочей группы 802.15.3a.

Решение, основанное на импульсном подходе

Как нетрудно видеть из рис.1, использование в UWB-системе импульса гауссовой формы не позволяет эффективно использовать разрешенный спектральный диапазон (ср. с рис.2). В предложенном стандарте для более эффективного использования диапазона передача данных осуществляется широкополосными радиоимпульсами, осциллограмму которых можно представить в виде:

$$u_p(t) = \frac{1}{2} [1 - \cos(2\pi f_s t)] \cos(2\pi f_c t) \text{ при } 0 < t < 1/f_s. (3)$$

Характерная временная форма и спектральная полоса такого сигнала приведен на рис.3.

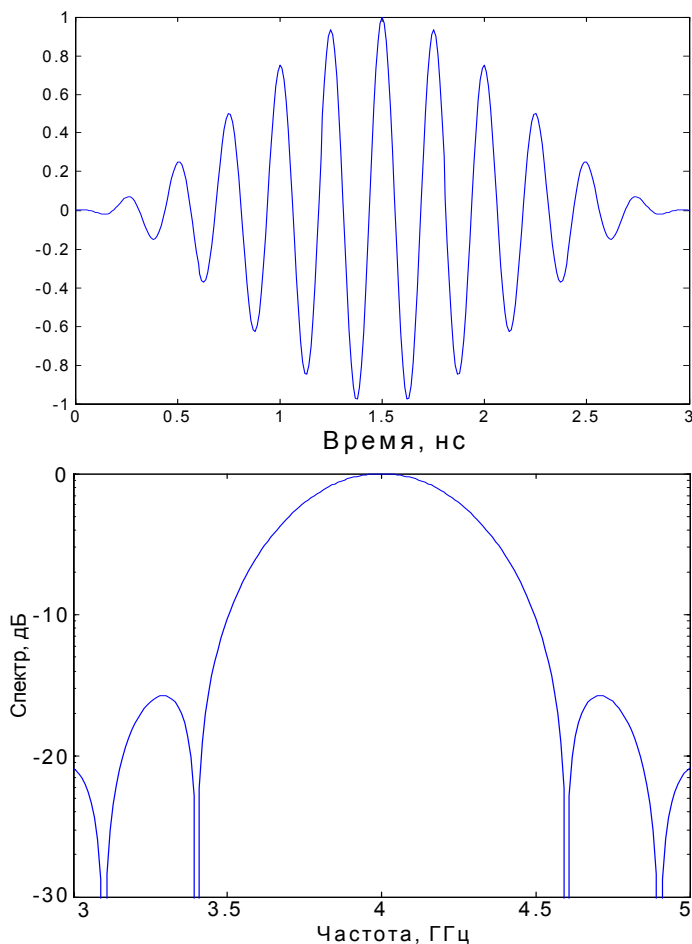


Рис. 3. Временная форма и спектр импульса (3) длительностью 3 нс с центральной частотой 4 ГГц

Частотная полоса, занимаемая импульсом, управляется двумя параметрами: f_c — центральная частота импульса, а f_s — величина порядка ширины спектра импульса. Кроме того, вся используемая полоса 3,1–10,6 МГц разбивается на поддиапазоны ~ 700 МГц, и в каждом поддиапазоне выбираются свои параметры импульса, для того чтобы соседние поддиапазоны не перекрывались. Модуляция сигнала производится в нескольких поддиапазонах, для более эффективного использования разрешенной частотной полосы (см. рис. 4).

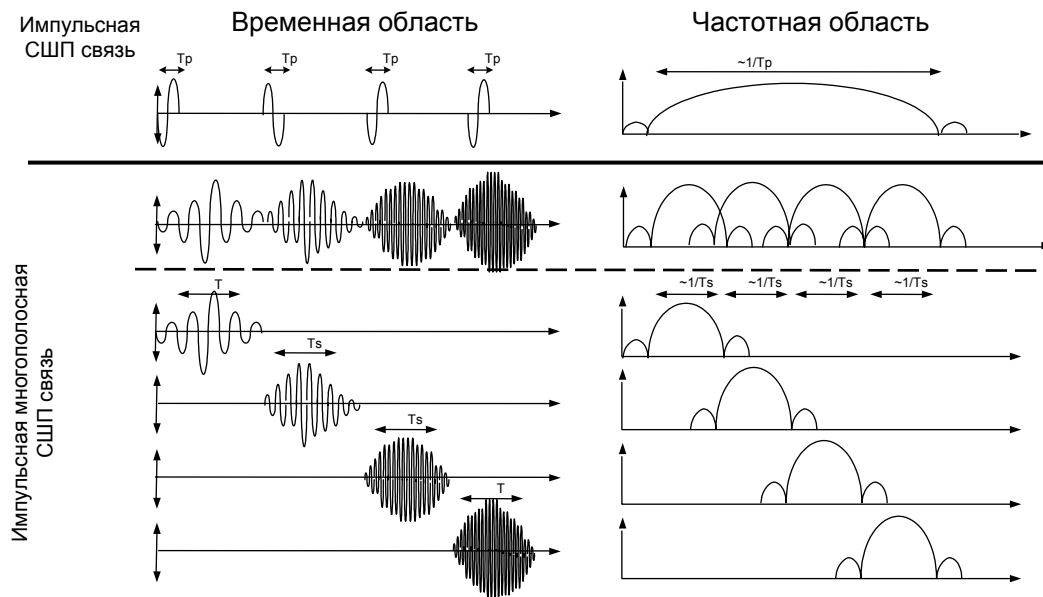


Рис. 4. Иллюстрация работы многополосной системы при импульсном подходе по сравнению с «классической» СШП системой

Разделение на поддиапазоны предоставляет возможность динамически управлять спектром сигнала, исключая те поддиапазоны, в которых возможна нежелательная интерференция с мощными узкополосными сигналами, а также удовлетворять ограничениям, накладываемым на излучаемый спектр сигнала правилами, действующими в определенной стране или регионе. Важным преимуществом предлагаемого подхода является меньший пик-фактор излучаемого сигнала при той же излучаемой мощности, что упрощает реализацию приемного и передающего тракта на КМОП-структурах. [13].

Упрощенные блок-схемы передатчика и приемника устройства дискретного канала импульсной многополосной UWB-связи изображены на рис.5 [12].

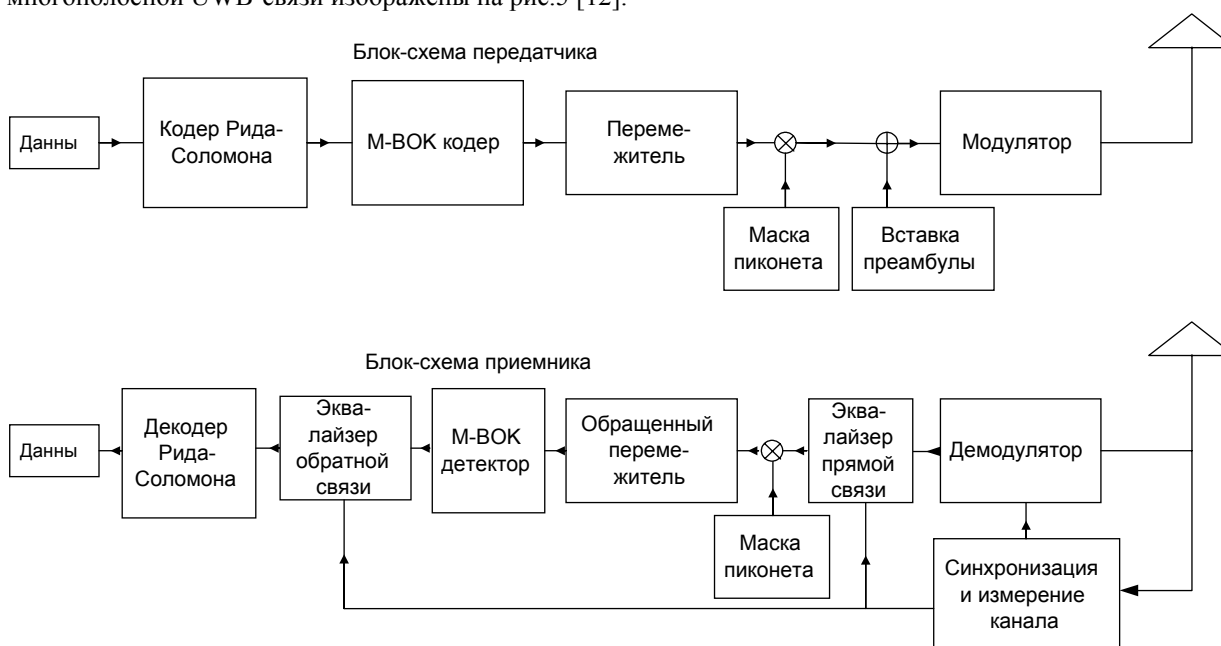


Рис.5. Блок-схема приемо-передатчика устройства импульсной многополосной системы СШП связи

Передатчик. Кодирование канала, как показано на рисунке, осуществляется кодером Рида-Соломона с изменяемыми параметрами, зависящими от режима передачи. Затем производится М-нарное (М зависит от режима работы устройства) двоичное ортогональное кодирование битовой последовательности (М-ВОК) и производится ее временное перемежение. Блок перемежителя в условиях малого отношения сигнал/шум представляется необходимой составляющей для минимизации вероятности приема ошибочных битов. Блок «маска пиконета» (пиконет, или пикосеть, — элементарная ячейка локальной сети, в которой все конечные устройства соединены с базовым узлом) производит расширение кода прямой последовательностью для разделения различных пиконетов, причем внутри пиконета последовательность одна и та же, но с разным начальным сдвигом. Затем к кодовой посылке добавляется преамбула, назначение которой — проверка незанятости канала, идентификация канала и синхронизация часов на передающем и принимающем устройствах. Затем производится модуляция сигнала квадратурной или бинарной фазовой манипуляцией, причем центральная частота импульсов f_c после передачи каждых N импульсов¹ «перескакивает» на середину следующего поддиапазона, а по достижении последнего поддиапазона — на первый (см. рис.6). В этом случае биты исходной последовательности оказываются «размазанными» по всему частотному диапазону, что существенно повышает надежность приема. При невозможности или нецелесообразности передачи в той или иной полосе (например, плохая помехо-сигнальная ситуация, действующие ограничения регламента на использование данного частотного диапазона или небольшая требуемая скорость передачи), данная полоса просто исключается из цикла. Протокол использования полос принадлежит уже более высокому уровню сети (не физическому), и здесь не обсуждается.

Приемник. Принимающее устройство восстанавливает посланную последовательность по принятому СШП сигналу. Для этого оно, во-первых, по принятой преамбуле синхронизирует свои такты с тактами передатчика;

во-вторых, определяет свойства физического канала (также по принятой преамбуле), что позволяет сделать выводы о возможных замираниях в канале и его многолучевости, в соответствии с чем управлять параметрами эквалайзеров прямой и обратной связи. Для обеспечения устойчивой работы системы в условиях многолучевости аналоговый вход может быть оснащен RAKE-приемником [14]. Такой приемник представляет собой набор корреляторов, на которых входной сигнал сравнивается с импульсом, смещенным на промежутки времени, соответствующие величинам

задержек по разным лучам, и сумматор сигналов, полученных на выходе корреляторов. Использование RAKE-приемника позволяет накапливать энергию импульса по частям, пришедшим к приемному устройству различными путями.

Задача оптимизации приема оказывается весьма сложной и многосторонней, она сводится к обсуждению многих физических, технических и экономических компромиссов (см., напр., [13]), что, естественно, выходит за рамки данного обзора.

В табл.1 приведены результаты расчета потенциальной пропускной способности предложенной UWB-системы при различных режимах работы с учетом физических свойств канала и приемно-передающего тракта. Средняя излучаемая мощность соответствует максимуму, разрешенному правилами FCC.

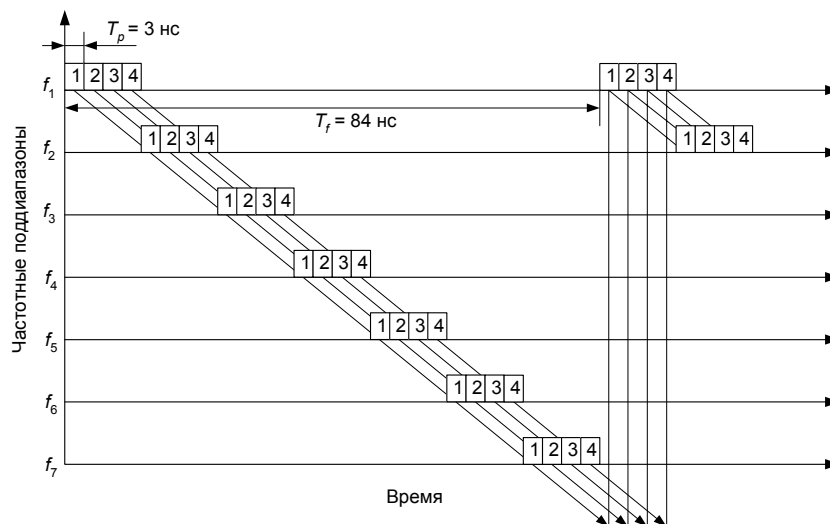


Рис. 6. Схема переключения поддиапазонов

¹ В предложенной системе число импульсов до смены поддиапазона $N = 4$

ТАБЛИЦА 1

Параметры M-ВОК кода	Параметры кода Рида-Соломона	Число используемых поддиапазонов	Пропускная способность, Мбит/с	Резерв канала передачи при различных кодах в дБ, на удалении 4 и 10 м	
				4 м	10 м
3/3	221/255	13	1073	0,2	—
3/3	221/255	7	577	4,0	—
3/4	221/255	7	433	5,2	—
4/8	221/255	7	288	8,0	—
5/16	221/255	7	180	11	3
6/32	221/255	7	108	14,3	6,3
6/64	221/255	7	54	17,3	9,3
6/128	221/255	7	27	20,3	12,3

Как видно из представленных результатов, предложенная архитектура позволяет обеспечивать как высокую пропускную способность на малых расстояниях, так и более низкую пропускную способность на больших расстояниях. Кроме того, за счет динамического управления спектром, а именно за счет выбора числа используемых одновременно поддиапазонов, можно эффективно управлять пропускной способностью каждого соединения.

Как уже было упомянуто выше, компанией Intel была создана экспериментальная установка, на которой была достигнута скорость передачи данных свыше 220 Мбит/с.

Решение, основанное на уплотнении с ортогональным частотным разделением (OFDM)

Альтернативным подходом к использованию многополосного разбиения диапазона и эффективному использованию полосы поддиапазона представляется получающее в настоящее время большое распространение уплотнение сигнала с ортогональным частотным разделением (OFDM). Сущность данного подхода заключается в то, что OFDM-модуляция сигнала производится в полосе порядка 500 МГц, а затем с помощью аналогового гетеродина переносится на центральную частоту того поддиапазона, в котором в данный момент ведется передача.

Блок-схема приема-передающего тракта предложенного решения изображена на рис.7 [15].



Рис.7. Блок-схема приема-передающего устройства многополосной UWB-системы на основе OFDM-подхода

В данной схеме используется сверточное кодирование сигнала и квадратурная фазовая манипуляция поднесущих. В блоке быстрого 128-точечного обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ) производится формирование OFDM-символа длительностью 240 нс, спектр которого занимает 528 МГц. Далее производится добавление в начало символа циклического префикса длительностью 60 нс для обеспечения устойчивости системы в многолучевой среде. Затем формируется пакет, состоящий из синхронизирующей преамбулы и некоторого числа информационных OFDM-символов, переносящих до 4095 байт данных. Генератор несущей переключается по частотам поддиапазонов в соответствии с маской пикосети. В приемной части устройства после фильтрации и усиления производится перенос сигнала в низкочастотную область, синхронизация, удаление циклического префикса и быстрое преобразование Фурье (БПФ). Эквалайзер обратной связи позволяет частично восстановить искажения сигнала, связанные с замираниями в канале (определяются по преамбуле), а схема восстановления несущей исправляет последствия несовпадения частот гетеродинов в приемном и передающем устройствах (допускается до 40 ppm относительной разницы частот). Полученный символ декодируется и поступает на вход верхних уровней. Достоинствами такой архитектуры является, во-первых, присущая OFDM-системам устойчивость к многолучевому распространению [16], а значит отсутствие острой необходимости в дополнительных входных цепях типа RAKE. Во-вторых, требуемая точность синхронизации приемного и передающего устройств ниже, чем в импульсном решении, что существенно сказывается на сложности входного тракта и на времени, затрачиваемом на синхронизацию. В-третьих, ортогональное частотное разделение позволяет увеличить гибкость спектральной приспособляемости системы за счет включения/выключения отдельных поднесущих. К недостаткам данного подхода можно отнести требование высоких вычислительных ресурсов для осуществления быстрого Фурье-преобразования и относительно высокое отношение пиковой мощности к средней излучаемой мощности в OFDM-символе. Тем не менее, как показывают оценки, последняя система позволяет обеспечить большую пропускную способность по сравнению с импульсным подходом при той же используемой полосе, и является более устойчивой в многолучевой среде. В июле 2003 года ряд компаний внесших свои предложения в комитет 802.15.3а объединились, чтобы выдвинуть единое совместное предложение на основе OFDM-подхода. Среди компаний-участников такие лидеры Hi-Tech индустрии как Texas Instruments, корпорация Intel, Time Domain, Panasonic, Samsung, Sony и другие. В процессе принятия окончательного стандарта предстоит провести еще ряд исследований, направленных на повышение эффективности системы, но весьма вероятно, что принцип OFDM станет базовым для данного стандарта.

Совместимость с другими системами беспроводных сетей

Как уже было упомянуто выше, при наличии паразитного узкополосного канала связи слабый СШП сигнал будет подавляться более сильным узкополосным, попадающим в диапазон приемника. В этом случае возникает необходимость использования в UWB-системе компонент (фильтров), способных работать в линейном режиме при высоких входных мощностях. Для решения проблемы электромагнитной совместимости (в смысле устойчивости UWB-сети к воздействию узкополосных систем) возможны различные подходы в зависимости от разных факторов. Это является серьезной задачей, стоящей перед разработчиками будущей рабочей системы. Во-первых, при установке UWB-сети в стационарных условиях с известными и неизменными параметрами узкополосных помех можно за счет программного управления UWB-адаптером исключить те поддиапазоны, в которых имеет место интерференция. Во-вторых, следует обеспечить адаптеру возможность определять наличие помех и исключать соответствующий поддиапазон динамически, в реальном времени. С другой стороны, при совместном использовании адаптеров 802.11a и UWB на одном узле (например, в ноутбуке, подключенном в локальную беспроводную сеть и соединенном с периферийными устройствами посредством персональной беспроводной сети) СШП приемник будет находиться под сильным воздействием мощной узкополосной помехи. В этом случае возникает необходимость применения дополнительных средств, скажем, режекторных фильтров, что может существенно повысить себестоимость UWB-адаптера.

Выводы

Подытоживая сказанное, подчеркнем, что применение СШП сигналов для создания систем WPAN массового использования представляется весьма перспективным и многообещающим подходом. Это утверждение подкрепляется тем количеством проектов построения UWB-систем от крупных компаний, основательно зарекомендовавших себя на рынке сетевых технологий, которое было подано в комитет IEEE 802.15.3a. Проведенные к настоящему моменту исследования показывают возможности путей для создания беспроводной сети с небольшим покрытием и с высокой пропускной способностью, работающей в сложных физических

условиях (помехи, многолучевость и т.д.). Большой шаг в развитии технологии СШП связи сделал переход к многополосному подходу, благодаря которому можно


- изменять характеристики СШП канала;
- легко масштабировать пропускную способность;
- адаптироваться к новым стандартам использования СШП связи, динамически исключая или добавляя частотные диапазоны;
- использовать UWB-сеть совместно с другими беспроводными сетями.

Кроме того, малые пиковые и средние мощности, требуемые для передачи информации в СШП системе, позволяют реализовать СВЧ часть аппаратуры на КМОП-архитектуре. Такой подход может позволить интегрировать весь UWB-приемопередатчик на одной микросхеме, что значительно уменьшит его стоимость. Однако, для создания коммерческого продукта требуется отыскание компромиссов, учитывающих как потребности в скорости передачи данных, так и другие актуальные параметры, как стоимость устройства, энергопотребление, мобильность, электромагнитная совместимость и др.

Обратная связь

[Сообщите нам](#)  Ваше мнение об этой статье.

Дополнительная информация

1. В. Черноусов. Нестационарное излучение антенных систем // Радиотехника и электроника, 1965. Т.1. С.1446–1452.
2. G.F. Ross. A Time Domain criterion for the design of wideband radiating elements // IEEE Trans. Antennas Propagat., 1968. V.16. P.355.
3. P. Van Etten. The present technology of impulse radars // Int. Radar Conf. Proc., Oct, 1977. P.535–539.
4. А. Найденов. Преобразование спектра наносекундного импульсного передатчика. М.: Наука, 1978.
5. A.M. Nicholson. Advances in subnanosecond pulse technology // Physics & Electronics Dept, Royal Radar Establishment, sem., Malvern, 1972.
6. G.F. Ross. Transmission and Reception system for generating and receiving base-band duration pulse signals for short base-band pulse communication system. U.S. Patent 3728632, 17 Apr. 1973.
7. T.W. Barrett. History of UltraWideBand (UWB) Radar & Communications: Pioneers and Innovators // Progress In Electromagnetics Symposium 2000, Cambridge, MA, July 2000.
8. D. Leeper. A Long Term View of Short Range Wireless // IEEE Computer, 2001. No.6.
9. XtremeSpectrum Inc. A Tutorial on Ultra Wideband Technology // IEEE 802.15 Working Group, submission, Mar. 2000.
10. FCC 02-48 First Report and Order in the Matter of Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-wideband Transmission systems, adopted Feb. 14, 2002.
11. <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/> .
12. Intel Corporation. Intel's Multi-band UWB PHY Proposal for IEEE 802.15.3a // IEEE 802.15.3a Working Group, submission, Mar. 2003.
13. V.S. Somayazulu, J.R. Foerster, S. Roy. Design challenges for very high data rate UWB systems // Conference Record of the Thirty-Sixth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2002. V.1. P.717.
14. J.G. Proakis. Digital Communications. New York: McGraw-Hill, 1995.
15. Texas Instruments et al. Multi-band OFDM Physical Layer Proposal. // IEEE 802.15.3a Working Group, submission, Jul. 2003.
16. J. Heiskala, J. Terry. OFDM Wireless LANS: A Theoretical and Practical Guide. Indianapolis: Sams Publishing, 2002.

—Конец статьи из журнала *Technology@Intel*—