

Андрей Крутов

Сверхширокополосная связь UWB.

Часть 1. Технология UWB: принципы функционирования, история развития, особенности

Практически каждый слышал о технологии сверхширокополосной связи Ultra Wideband, но не каждый может четко дать ей определение, и кроме беспроводного USB из систем UWB больше ничего в голову не приходит. Между тем та же беспроводная USB — лишь одна из множества возможных практических реализаций, использующих преимущества технологии UWB. Эта технология связи принципиальным образом отличается от традиционных радиосистем, отличается не только аппаратной реализацией, но и самими принципами функционирования. Эта статья немного восполнит отсутствие информации и познакомит читателя с электронными компонентами для UWB.

Краткое введение в технологию UWB

Сверхширокополосная связь (UWB — Ultra Wideband) представляет собой способ передачи информации, использующий высокочастотные импульсы с малой энергией. UWB имеет большой потенциал, поскольку информационная емкость UWB значительно больше в сравнении с другими текущими и развивающимися технологиями, что позволяет реализовывать более быстрореагирующие беспроводные сети с немалой в недалеком прошлом пропускной способностью (рис. 1). Движущая сила, подталкивающая исследования в области сверхширокополосной связи, очевидна — это главное приоритетное на-

правление развития всех без исключения беспроводных технологий — повышение пропускной способности беспроводного канала связи.

UWB — беспроводная технология связи, которая фундаментально отличается от всех других радиочастотных коммуникационных систем. Уникальность состоит в том, что она обеспечивает беспроводные коммуникации без использования радиочастотной несущей. Вместо этого она использует модулированные импульсы энергии длительностью менее одной наносекунды.

Исследования в области сверхширокополосной радиосвязи начались еще в 1940 году, а с 1960 по 1990 год эта технология использовалась военными в радарх, передаче изображений и высокозащищенных скрытых коммуникационных системах. Долгое время разработки финансировались правительством США, оставаясь секретными, пока информация не была опубликована для всеобщего доступа в 1994 году. С этого времени технология получила коммерческое развитие благодаря следующим разработкам:

- Федеральная комиссия по коммуникациям США (FCC — Federal Communications Commission) 14 февраля 2002 года дала ограниченное разрешение на использование сверхширокополосного оборудования. Это положило начало процессу коммерциализации технологии UWB на безлицензионной основе для трех различных категорий устройств: систем передачи изображений, передвижных радиолокационных станций и коммуникационных и измерительных систем (которые на данный момент и развиваются наиболее быстрыми темпами). Эти нормативы для обеспечения, не требующего получения лицензии функционирования устройств, были позже (13 февраля 2003 года) пересмотрены комиссией FCC и незначительно расширены.
- Движущей силой, подталкивающей развитие принципиально новой технологии сверхширокополосной связи, послужил тот факт, что достижения в области кремниевой технологии постепенно начали подходить к своему практическому пределу, и встал вопрос поиска принципиально новых решений, которые позволили бы открыть новый потенциал для дальнейшего роста. Вторым решающим фактором явился бурный рост мирового рынка беспроводных решений, требующих все большей надежности и пропускной способности от беспроводных информационных каналов связи.



Рис. 1. Сравнительная диаграмма максимальной дальности и пропускной способности различных технологий беспроводной связи

Зачем нужна сверхширокополосная связь?

UWB представляет привлекательное решение проблем для большинства исследований сегодняшней беспроводной индустрии и приложений. Рассмотрим их подробнее.

Нет ограничений ВЧ-спектра

Ограничения доступности ВЧ-спектра препятствуют эволюции и разрастанию беспроводных технологий. Технология UWB не использует ВЧ-несущие, что дает множество новых преимуществ и возможностей. С другой стороны, сегодня мы наблюдаем такую картину развития технологий аппаратного обеспечения, при которой степень интеграции однокристалльных решений значительно выше, чем было в недалеком прошлом, и постоянно растет. Поэтому предполагается, что аппаратные решения UWB должны быть больше, чем просто устройствами PHY или даже устройствами PHY+MAC. Такие аппаратные решения должны включать полный трансивер UWB вместе с гибко настраиваемым контроллером ввода-вывода в одном устройстве, позволяющий добиться легкой интеграции электронных компонентов UWB в широкий спектр приложений.

Скорость

То же самое устройство UWB можно масштабировать по критерию скорости в огромном диапазоне, что просто необходимо для приложений с очень низкой скоростью (обусловленной необходимостью поддержания низкой потребляемой мощности), таких как, например, карманные измерительные приборы.

Множество каналов

UWB может одновременно поддерживать сотни каналов (в отличие от трех в стандарте 802.11b и десяти в 802.11a). Это можно сравнить с вождением: по многорядному шоссе водить гораздо удобнее и лучше, чем по однопольной дороге.

Одновременная работа сетей

Технология UWB может функционировать как персональная сеть (Personal Area Network, PAN), локальная сеть и глобальная вычислительная сеть (Wide Area Network, WAN) одновременно. Это эквивалентно конвергенции технологий Bluetooth, 802.11 и 3G в единую сеть с одним устройством. Сегодня этот вопрос стоит очень остро и поэтому весьма актуален сейчас и будет актуален в будущем.

Меньшая цена и сложность

Устройства, использующие высокочастотный спектр, требуют реальной радиоприемной системы, и поэтому они имеют более сложную конструкцию и компоненты, их цена выше, и они потребляют значительно большую мощность. Кроме того, они менее надежны, чем устройства UWB, которые работают на уровнях ниже уровня шумов традиционных радиосистем, маломощны, нетребовательны к параметрам оборудования и нуждаются всего в нескольких внешних компонентах.

Глобальная совместимость

Вариации в назначении радиочастотного спектра в различных странах препятствуют глобальной совместимости для устройств, использующих

радиочастотный спектр. Без таких ограничений технология UWB дает предпосылки для существования в будущем глобальной совместимости.

Хорошая защищенность

Помимо специфической природы UWB-сигнала и оборудования, устройства UWB используют мощность сигнала практически на уровне шума, что обеспечивает защиту передаваемой информации — сигналы UWB практически невозможно принимать нецелевой системой, особенно на некотором удалении от функционирующего устройства. Этот факт делает связь UWB, возможно, наиболее безопасной из всех беспроводных систем связи с точки зрения защиты от несанкционированного доступа к информации.

Дешевое и точное определение местоположения

Технология UWB предлагает недорогое решение для систем определения местоположения с высокой точностью при разрешении меньше сантиметра. Это дает большой потенциал для множества приложений определения местоположения, а также короткодистанционных человеко-машинных интерфейсов.

Не требуется соблюдения условия прямой видимости

Благодаря фундаментальным физическим основам работы UWB, технология не требует соблюдения условия прямой видимости, которое является основным требованием для получения лучших характеристик распространения радиоволн, налагаемым традиционными беспроводными радиосистемами.

Сосуществование

Поскольку сигналы UWB не интерферируют как друг с другом, так и с традиционными радиочастотными несущими, технология дает огромные коммуникационные возможности посредством создания новой, обособленной коммуникационной среды, которая может мирно сосуществовать с другими функционирующими беспроводными технологиями.

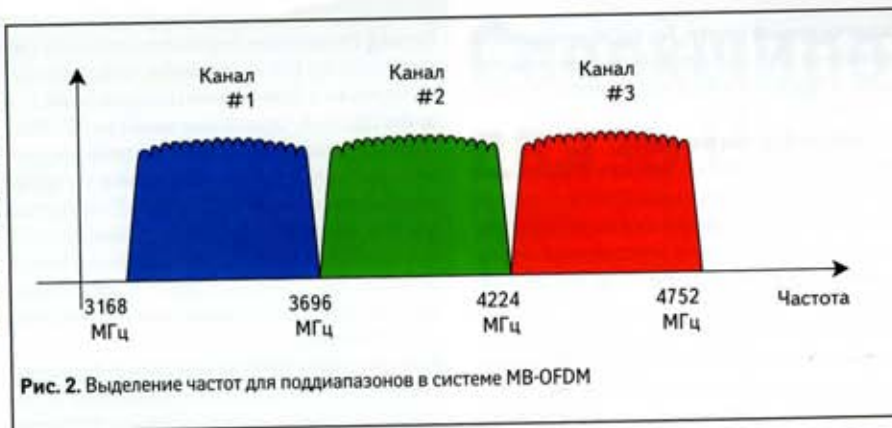
Конвергенция приложений обмена данными, развлекательных и мобильных коммуникационных систем внутри дома создает новые потребности для объединения множества разноплановых устройств в единую сетевую архитектуру, способную поддерживать и интегрировать уникальные требования каждого сектора приложений. С этой целью промышленные консорциумы, такие как альянсы Digital Living Network и WiMedia, создали, руководства по разработке и стандарты, описывающие возможности взаимодействия. Приложения Wireless 1394, Wireless USB и системы на базе IP-транспорта уже сейчас находятся на заключительной стадии разработки и основываются на технологии UWB и платформе от WiMedia. Производители микросхем и конечных продуктов потребительской электроники, персональных компьютеров и мобильных устройств в качестве оптимального решения для систем UWB поддерживают метод, называемый MB-OFDM (Multi Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing — многодиапазонное ортогональное мультиплексирование деления частоты). MB-OFDM демонстрирует некоторые технические преимущества, особенно гибкость в плане использования частотного спектра, что позволит достичь UWB повсеместного использования.

Сегодня определение сверхширокополосной системы согласно ECC — это любая технология радиопередачи с занимаемым спектром более 20% от центральной частоты или минимум 500 МГц. Понимая преимущества новой технологии, которые могут проявиться при ее использовании в потребительской электронике, в 2002 году ECC специально для этих целей лицензировала радиочастотный спектр от 3,1 до 10,6 ГГц. Дополнительный спектр доступен для использования в медицинских, научных организациях, а также для пожарных служб и служб спасения.

Радиоинтерфейс UWB для передачи информации требует использования полного диапазона шириной 7,5 ГГц или доступную его часть. FCC определила специальную минимальную ширину полосы пропускания частот размером 500 МГц при уровне -10 дБ. Эта минимальная ширина полосы частот совместно с другими требованиями FCC по существу направлена на защиту оборудования, работающего выше этого частотного диапазона. Гибкость, обеспечиваемая правилами FCC, в значительной степени расширяет возможности коммуникационных систем UWB. Разработчики свободны в использовании комбинаций поддиапазонов шириной 500 МГц внутри частотного спектра, для оптимизации качества системы, рассеиваемой мощности и сложности конструкции. Системы UWB могут поддерживать такую же низкую мощность передачи, как если бы они использовали полную полосу пропускания. Это достигается посредством чередования символов в этих поддиапазонах.

Для многодиапазонных систем информация может быть передана традиционным импульсным методом на базе одной несущей либо более сложными методами с множеством несущих. Импульсные системы на базе одной несущей передают сигнал посредством модуляции фазы очень узкими импульсами. В то время как эта улучшенная технология позволяет использовать простую конструкцию передатчика, она имеет несколько недостатков. Среди них следующие: сложно собрать достаточную энергию сигнала в типовых условиях (где присутствует множество отражающих поверхностей), используя всего одну радиочастотную цепь; требования к времени переключения могут быть очень строгими как для приемника, так и для передатчика; цепи обработки принятого сигнала очень чувствительны к флуктуациям групповой задержки, вносимым компонентами аналоговых внешних каскадов; ширина частотного спектра может специально несколько сужаться для снижения узкополосной интерференции.

MB-OFDM, напротив, передает данные одновременно при помощи нескольких несущих, разнесенных по частоте. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ) обеспечивают чуть ли не стопроцентную эффективность в энергетическом плане, в то время как сложность передатчика увеличивается совсем незначительно. Полезные свойства MB-OFDM включают высокую спектральную гибкость и высокую восприимчивость к радиочастотным помехам и эффекту многолучевого распространения. Думаю, многим известно, что методики модулирования OFDM успешно применены в других популярных высококачественных коммуникационных системах, включая Wi-Fi 802.11a/g, WiMAX 802.16a, HomePlug и международный стандарт ADSL. Основываясь на существующих конфигурациях технологии



CMOS, использование частотного спектра от 3,1 до 4,8 ГГц рассматривается как оптимальный вариант для начального развертывания. Ограничение верхнего предела также позволяет снизить взаимное влияние с устройствами в диапазоне U-NII, в котором работает оборудование 802.11a, а также упростить конструкцию радиочипов и входных аналоговых цепей. Диапазон частот от 3,1 до 4,8 ГГц может вместить три поддиапазона шириной 500 МГц (рис. 2).

Спектральная гибкость

Поскольку частотный спектр для устройств UWB является нелегитимным, все беспроводные устройства, разделяющие между собой этот спектр, должны без проблем сосуществовать друг с другом. Независимо от текущего состояния или будущего распределения частот и ограничений по излучению в различных регионах мира, MB-OFDM способна обеспечивать локальные (в географическом плане) частотные ограничения при помощи динамического отключения определенных тонов или каналов программным способом. Этой гибкости не предоставляют конкурирующие решения, что обеспечивает огромный потенциал для принятия систем UWB по всему миру.

Сложность и рассеиваемая мощность

Системы MB-OFDM специально разработаны с целью снижения сложности их реализации. Единственная цепь аналогового приемника упрощает общую архитектуру всей системы, и поэтому разрешение ЦАП/АЦП и внутренняя точность цифрового baseband-контроллера может быть существенно снижена. Относительно большие расстояния между несущими также ослабляют требования к фазовым шумам в цепях синтеза частот и улучшают устойчивость к ошибкам синхронизации. Время работы мобильных устройств является очень важным фактором. MB-OFDM способна обеспечить минимум два часа непрерывной работы от одного комплекта батарей при типовых условиях (табл.).

Безопасность

Чтобы обеспечить защищенность, эквивалентную той, которая требуется беспроводной технологии при сохранении прозрачности работы для конечного пользователя, механизмы безопасности

и защиты информации реализуются на нескольких уровнях стека протоколов. DRM (Digital Rights Management — цифровое управление правами) принимает во внимание отдельные проблемы безопасности, связанные с прикладным уровнем. Хороший потенциал DRM гарантирует его прозрачное использование в платформах UWB.

Модели использования

Возможность отображать, редактировать, слушать, обеспечивать доступ и обмен информацией между устройствами без необходимости длительной и сложной настройки специалистами раскрывает заманчивые перспективы множеству потребителей. Внутри типовой «домашней» инфраструктуры выделяются три основных категории: компьютеры, мультимедиацентры и мобильные устройства (например, телефоны). Персональные компьютеры, принтеры и другая периферия, а также модемы, шлюзы и маршрутизаторы представляют первичные элементы централизованных сетей; широкополосный развлекательный кластер обычно состоит из домашних кинотеатров с дисплеями PVR, STB и др., звукового и видеоборудования; мобильных устройств, таких как КПК, смартфоны и ноутбуки. Они могут (и должны) свободно перемещаться по всему зданию.

Конвергенция указанных видов коммуникационных систем внутри здания создает необходимость для включения этих устройств в единую сетевую архитектуру, более функциональную, чем наследуемые технологии поддержания и интегрирования каждой категории:

- Интерфейс USB изначально был разработан как проводной интерфейс для подключения периферийных устройств к персональному компьютеру. Он обычно используется для приложений в домах и офисах и ориентирован на обмен данными.
- IEEE 1394 (известный также как FireWire) был специально разработан для передачи множества потоков аудио и видео через различные типы кабелей. Используется в первую очередь в приложениях для развлечений.
- Bluetooth — низкоскоростная технология обмена данными типа «замена кабеля», широко используется в мобильных телефонах, беспроводных гарнитурах и КПК.

Таблица.

Скорость обмена данными	Потребляемая передатчиком мощность	Потребляемая приемником мощность	Потребляемая мощность в спящем режиме
110 Мбит/с	93 мВт	155 мВт	15 мкВт
200 Мбит/с	93 мВт	169 мВт	15 мкВт

Пока различные протоколы этих технологий в достаточной мере нацелены на соответствующие сегменты целевого рынка, потребителям требуется интероперабельность внутри и между этими тремя сегментами, которые сегодня часто состоят из нескольких категорий устройств. С этой целью группы разработки промышленных стандартов, такие как DLNA, пытаются определить методы достижения такой полной интероперабельности. Типовые области применения таких систем включают домашние и офисные приложения, автомобильный и промышленный сектор.

Краткий исторический экскурс

Происхождение технологии UWB берет свое начало из исследовательских работ по электромагнетизму во временной области, начавшихся в 1962 году для создания полного описания переходных процессов в некоторых классах СВЧ-цепей через их импульсную характеристику. На самом деле общая идея сверхширокополосной связи была достаточно проста. Вместо характеристики линейной стационарной системы (Linear Time-Invariant, LTI) более традиционными методами частотной характеристики (то есть измерения амплитуды и фазы в зависимости от частоты), ее можно альтернативным способом полностью охарактеризовать посредством ее реакции на импульсное возмущение $h(t)$. В частности, сигнал реакции на выходе такой системы $y(t)$ на любое произвольное входное воздействие $x(t)$ может быть однозначно определен известным интегралом свертки:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(u) \times x(t-u) du.$$

Однако эта технология не получала широкого распространения, пока не наступила эра стробоскопических осциллографов и не были разработаны методики генерации субнаносекундных импульсов, чтобы обеспечить пригодные аппроксимации к импульсным возмущениям, позволяющие напрямую наблюдать и измерять импульсный отклик СВЧ-цепей.

Методики измерения импульсов были применены к конструкции элементов широкополосной излучающей антенны, и стало заметно, что для разработки короткоимпульсных радаров и коммуникационных систем могут быть использованы те же наборы инструментов. Во время в исследовательском центре Sperry Research Center (который позже стал подразделением корпорации Sperry Rand Corp.) Росс применил эти методики к различным приложениям в радарах и связи.

Изобретение чувствительного короткоимпульсного приемника для замены громоздких стробоскопических осциллографов несколько ускорило разработку системы. В 1973 году исследовательский центр Sperry получил первый патент на связь UWB.

В течение последующих, восьмидесятих годов эта технология стала называться «сверхширокополосной». Теория UWB, методики и множество реализаций аппаратного обеспечения исследовались около 30 лет, которые можно назвать годами экстенсивного развития этой технологии. В 1989 году, например, исследовательский центр Sperry получил более 50 патентов в области, покрывающей способы генерации импульсов UWB и методы приема, а также приложения, такие как системы телекоммуникации, радары, системы позиционирования и т. д.

В 1984 году получают развитие исследования технологии UWB в области взаимного влияния друг на друга (и, соответственно, создания помех друг другу) различных UWB-систем и обеспечения минимального влияния на другие коммуникационные системы. Доктор Росс в сотрудничестве с Робертом Фонтана, президентом компании MSSl, разработали в 1986 году коммуникационную систему LPI/D, финансируемую правительством США, и выпустили ее в сентябре 1987 года. Фонтана и Росс продолжили сотрудничество при разработке системы UWB для обоих основных направлений применения сверхширокополосных систем — приложенной коммуникаций и радаров, и проработали вместе более 11 лет.

В США большинство ранних работ в области UWB (до 1994 года), в частности в области импульсной радиосвязи, осуществлялись под эгидой правительства США. Однако начиная с 1994 года большинство работ вышло за пределы этих ограничений, и разработки в области технологии UWB значительно ускорились, получив коммерческую подпитку.

UWB и помехи другим системам

Необходимо помнить, что UWB представляет собой радиочастотную технологию и поэтому, если она разработана не должным образом, без соблюдения соответствующих правил, как и любая РЧ-технология, может создавать помехи существующим системам. Кроме того, имеет место несколько способов генерации UWB-излучения. Некоторые из этих способов более расположены к генерированию побочных излучений от воздействия помех, некоторые — менее.

Например, системы UWB, которые используют импульсное возбуждение антенны, вырабатывают энергию, в которой реальное расширение частотного спектра значительно больше, чем расчетный рабочий диапазон частот антенны. Для расчетного диапазона частот можно выбрать ширину КСВН, то есть полосу частот, для которой КСВН меньше некоторого числа, скажем, 2:1: либо ширину полосы излучения, которая представляет частоту, при которой основной лепесток диаграммы направленности антенны остается в некоторых пределах, скажем, в районе 3 дБ от максимального значения. К сожалению, очень трудно в жестких пределах контролировать ширину полосы пропускания и центральную частоту таких излучений с одиночной антенной.

Современные методики, такие как используемые в текущих приборах MSSl, создают сигналы UWB посредством формирования импульсов до момента передачи антенной. Эти методики имеют значительные преимущества по контролируемости обоих параметров: частоты и ширины полосы, и могут быть использованы для того, чтобы работать за пределами ограниченных диапазонов, таких как зарезервированные для GPS и систем жизнеобеспечения.

Другие важные аспекты UWB-устройств, которые напрямую связаны с их потенциалом, включают такие параметры, как длина импульсов и вид модуляции. Конечно, системы UWB используют больший рабочий цикл, в результате получается, что передается большая средняя величина энергии. В некоторых предложенных схемах UWB множество импульсов используется для передачи одного бита информации. Это, однако, нежелательно с точки зрения дальнейшего увеличения общего количества переданной энергии и заставляет разработчика использовать меньшие скорости обмена данными для некоторой

заданной средней энергии. Кроме того, высокая частота повторения импульсов с минимальным межимпульсным возмущением имеет эффект большей концентрации этой энергии в набор спектральных линий. Когда спектральная линия снижается в полосу пропускания чувствительности приемника (что, например, имеет место быть, когда принимается сигнал от систем GPS), могут возникнуть значительные помехи, даже через «полосу пропускания» сигнала, которая может достигать сотен мегагерц.

В 2001 году NTIA продемонстрировала потенциальные возможности определенных классов UWB потребительского оборудования связи, излучающих радиочастотный сигнал в соответствии с FCC Part 15, по значительному снижению характеристик большинства правительственных и военных систем связи и радиолокационного оборудования (работающих на частотах ниже 3.1 ГГц). Именно это стало одним из главных факторов, повлиявших на длительное «торможение» в лицензировании и, как следствие, появление реально функционирующих потребительских устройств UWB.

Системы, которые NTIA определила как значительно подверженные влиянию потребительских UWB-устройств, включают бортовые приемники оборудования для измерения размеров (Distance Measuring Equipment, DME), работающие в диапазоне частот 960–1215 МГц, наземные передатчики DME (диапазон частот 1025–1150 МГц), наземные приемники системы ATCRBS¹, работающие на частоте 1090 МГц, бортовые передатчики ATCRBS (частота 1030 МГц), РЛС обзора воздушного пространства (частоты 1240–1400 МГц), наземные приемные станции спутниковой поисковой системы CAPCAT (частоты 1544–1545 МГц), бортовые РЛС обнаружения воздушных целей (частоты 2700–2900 МГц), погодные радары следующего поколения NEXRAD (2700–3000 МГц) и морские радионавигационные радары (частоты 2900–3100 МГц).

В том же, 2001, году NTIA продемонстрировала потенциал систем UWB, особенно тех, которые имеют высокие частоты повторения импульсов, в плане значительного нежелательного влияния на GPS-приемники, в случаях, когда система UWB работает в том же диапазоне частот, что и GPS (то есть 1575.42 МГц, 1227.60 МГц и 1176 МГц).

Отличия UWB и традиционных широкополосных методик, например DSSS

В отличие от традиционных сигналов с расширенным спектром (к которым относятся DSSS и FHSS), спектр для сигналов UWB генерируется напрямую, то есть без индивидуальной модуляции битов посредством разделения распространяемой последовательности, такой как код PN. Таким образом, UWB есть по существу концепция связи во временной области, в которой очень короткие радиочастотные импульсы формируют широкополосный сигнал благодаря наличию свойства масштабирования по времени преобразования Фурье функции зависимости между временем *t* и частотой *F*:

$$f(at) \Leftrightarrow \frac{1}{|a|} \times F\left(\frac{\omega}{a}\right).$$

Кроме того, сигналы DSSS или FHSS по своей природе являются сигналами с постоянной оги-

бающей. То есть их мгновенная амплитуда не изменяется со временем. Для сигнала DSSS индивидуальные биты передачи далее подразделяются на двухфазно-модулированные интервалы, в то время как для FHSS индивидуальные биты передачи далее подразделяются на отдельные частотные изменения. Как следствие, сигналы с расширенным спектром обычно имеют единичный (100%) рабочий цикл — то есть максимальный и средний уровни мощности равны. Для устройств UWB, с другой стороны, длительности импульсов крайне коротки в сравнении с временными интервалами между импульсами. Таким образом, рабочие циклы обычно составляют малую долю одного процента, и коэффициенты неравномерности могут быть несколько большими.

Если рассматривать перспективы коммуникационных систем, параметры обоих типов систем (с расширенным спектром и UWB) определяются эффективной энергией на бит к коэффициенту спектральной плотности шума *Eb/No*. При этом *No = k × Te × B*, где *k* — постоянная Больцмана, *Te* — эффективная шумовая температура системы, *B* — мгновенная ширина полосы пропускания частот. Очевидно, что более широкая полоса пропускания частот требует большей энергии для обеспечения связи. Поэтому более короткие импульсы и более высокая необходимая максимальная пиковая мощность для данного коэффициента битовых ошибок (в сравнении с системами с расширенным спектром). Аналогичные рассуждения применимы и к радарным системам.

Для сигналов с расширенным спектром *Eb* также определяется *P × T*, но *T* теперь представляет длительность бита, то есть *N × Tc*, где *N* — так называемый коэффициент расширения спектра сигнала и *Tc* — длительность кадра. Можно показать, что для равных уровней средней мощности обе системы — как системы с расширенным спектром, так и UWB — имеют равные коэффициенты битовых ошибок. Это важный момент, который часто упускают из виду в погоне за требуемыми «мегабитами на микроватт». Ведь UWB не может нарушить фундаментальные законы физики!

Однако имеется ряд очень важных преимуществ систем UWB перед системами с расширенным спектром. Среди них значительная простота реализации и низкая стоимость при крайне высокой ширине полосы пропускания частот и, соответственно, при существенно большей пропускной способности. Вторым важным преимуществом является независимость величины коэффициента битовых ошибок к изменению скорости обмена данными — для неизменной формы огибающей удвоение скорости обмена данными требует удвоения пиковой и средней мощности. И, наконец, третьим важным преимуществом является то, что существуют практически реализуемые конструкции, невосприимчивые к многолучевому распространению радиосигнала и имеющие двойное назначение (например, одновременно в коммуникационных приложениях и радаров). В следующих статьях речь пойдет о современных технологиях беспроводной связи, в которых используется (или планируется использовать) технология сверхширокополосной связи UWB, а также об эволюции элементной базы UWB и о компонентах, предлагаемых полупроводниковыми производителями уже сегодня. **BT**

¹ ATCRBS — Air Traffic Control Radio Beacon System, система радиомаяков для управления воздушным движением