

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

OVERCOMING A WIDE ARRAY OF ULTRA WIDE BANDWIDTH TEST CHALLENGES

Джонатан Мис (Jonathan Mees), Tektronix, Inc.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Беспроводная связь с использованием ультраширокой полосы частот (Ultra Wide Bandwidth — UWB) — быстро развивающаяся технология, обещающая совершить настоящую революцию в технике маломощной ближней беспроводной связи. UWB связь быстро стала ведущей технологией в таких областях, как реализация сертифицированных беспроводных шин USB или ближняя подповерхностная радиолокация. Уст-



нериваться различными способами, их название отражает именно общую черту — очень широкую полосу частот, занимаемую спектром этих сигналов, а отнюдь не их структуру или способ модуляции. Сигналами UWB являются сигналы, у которых относительная ши-

Существует теорема Шэннона-Хартли, которая в значительно упрощённом изложении гласит, что есть только два пути повышения пропускной способности при передаче информации по беспроводному каналу: расширение частотного спектра радиосигнала (W) или использование более сложной многоуровневой модуляции, что при заданной достоверности передачи требует повышения отношения сигнал/шум (S/N). За счёт использования UWB сигналов повысить пропускную способность гораздо проще, нежели использовать виды модуляции более высокого порядка. Но ещё важнее то, что расширение частотного спектра сигналов позволяет передавать их при малых отношениях сигнал/шум, близких к порогу теплового шума, а это, в свою очередь, позволяет избежать нежелательных помех сигналам других беспроводных каналов передачи.

Поскольку для UWB сигналов требуются многие гигагерцы спектра радиочастот, координация новых каналов передачи с существующими уже не может сводиться к традиционному частотному разделению каналов. При нынеш-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ UWB СИГНАЛА

Сигналом UWB считается любой сигнал с шириной спектра на уровне -10 дБ от максимума спектральной характеристики (в этой части спектра сосредоточено около 90 % спектральной мощности) более 20 % от частоты модуляции (рис. 1).
Относительная ширина спектра сигнала $= (F_H - F_L) / ((F_H + F_L) / 2) > 0,20$ или 20%.

ройства UWB связи отличаются от узкополосных устройств и имеют массу специальных требований к проведению испытаний. Большая ширина спектра сигналов, малая длительность импульсов и спектральная плотность мощности сигнала, соизмеримая с уровнем теплового шума — все это чрезвычайно затрудняет тестирование UWB устройств. К счастью, теперь эти трудности могут быть уверенно преодолены при помощи усовершенствованного контрольно-измерительного оборудования и специализированного программного обеспечения. В настоящей статье рассматриваются преимущества UWB технологий и связанные с ними трудности тестирования UWB устройств, а также рассказывается о том, как специалисты по беспроводной связи могут воспользоваться этими преимуществами для преодоления трудностей.

НЕМНОГО ОБЩЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Первоначально UWB связь носила другие названия: импульсная радиосвязь, связь в полосе модулирующего сигнала, передача без несущей, импульсная модуляция. Лишь в конце 1980-х гг. к этому необычному классу сигналов, ширина спектра которых значительно расширилась, начал применяться термин «UWB». Технологии UWB связи включает в себя широкий набор как типов сигналов, так и технических решений. Порой UWB сигналы различных типов настолько отличаются друг от друга, что общим у них является только огромная ширина спектра.

Поскольку UWB сигналы могут ге-

рина занимаемой ими полосы частот превышает 20 %. Найти таким сигналам отдельное место в современном переполненном радиоспектре невозможно, поэтому приходится занимать этими сигналами уже выделенные для использования диапазоны, что создаёт потенциальную опасность взаимных помех.

Тем не менее, UWB быстро получает признание, как технология, обес-

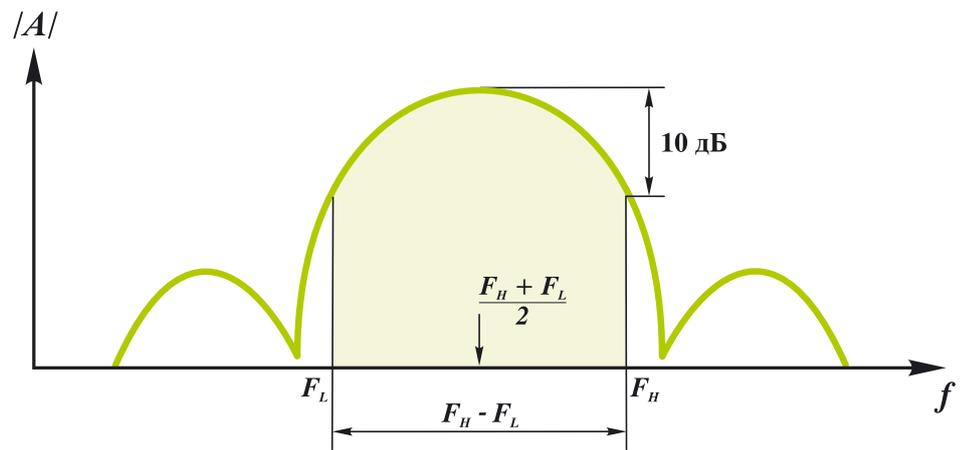


Рис. 1. Сигнал UWB

печивающая непревзойдённые характеристики во многих приложениях беспроводной связи ближнего действия. Применение UWB сигналов в беспроводной связи обусловлено именно их очень широким спектром, что сегодня и требуется для высокоскоростной передачи данных, например, при беспроводной передаче видеoinформации.

ней «перенаселённости» эфира нет участков спектра с шириной, достаточной для того, чтобы разместить там диапазоны для сверхширокополосной связи какого-то узкого назначения. Отсюда следует, что необходимы меры по снижению помех существующим каналам связи от UWB сигналов.

Например, чтобы UWB сигналы могли нормально сосуществовать с дру-

гими сигналами в одном и том же участке диапазона частот, их спектральная плотность мощности должна быть чуть выше порога теплового шума. Это возможно, если передатчик UWB сигналов имеет малую мощность, распределённую по полосе частот шириной во много гигагерц. Ограничение мощности передатчика позволяет избежать помех существующим узкополосным сигналам, но дальность действия такого передатчика невелика. К счастью, присутствующая UWB сигналам избыточность обеспечивает им высокую помехозащищённость от воздействия мощных узкополосных сигналов. И эта же избыточность позволяет UWB устройствам стабильно работать в условиях многолучевого распространения сигнала.

делают технологию UWB связи единственно возможной для обслуживания периферийных устройств компьютеров, которым так не хватает пропускной способности традиционных каналов передачи данных. Эта технология идеальна для решения проблем связи внутри помещений, где много отражённых сигналов и источников радиопомех. Малая спектральная плотность мощности UWB сигналов и особенности их распространения весьма подходят для систем связи с малой вероятностью обнаружения и повреждения сигнала (Low Probability of Detection and Interference — LPD/LPI), а также систем военного назначения.

Кроме того, малая длительность импульса многих UWB сигналов поз-

лов позволяет также обнаруживать приёмопередатчики более точно, чем обычными средствами. Точность на коротких расстояниях достигается за счёт малой ширины локационных импульсов.

Высокая пропускная способность канала связи, малая излучаемая мощность (при которой не требуется разрешение на работу в эфире), очень высокая устойчивость в условиях многолучевого распространения сигнала, малая восприимчивость к помехам, высокое разрешение при использовании для радиолокации и другие возможности — таковы важнейшие свойства, которые делают UWB сигналы идеальными для беспроводной связи ближнего действия. Однако эти преимущества достигаются ценой целого ряда технических проблем.

ПРОБЛЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

Существует несколько различных способов генерации UWB сигналов. Тремя наиболее распространёнными способами модуляции UWB сигналов являются: псевдослучайная перестройка во времени (TH-UWB), прямая последовательность (DS-UWB) и многодиапазонное мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (MB-OFDM). Последний способ был выбран компаниями альянса WiMedia в качестве стандартного для высокоскоростной передачи мультимедийных данных. Сигнал WiMedia составлен путём мультиплексирования 128 ортогональных частотно разделённых несущих, при этом используется либо квадратная фазовая манипуляция (QPSK), либо двойная модуляция (DCM) каждой несущей. Такой вид модуляции позволяет довести скорость передачи данных до 480 Мбит/с, а в отдельных случаях даже превысить 1 Гбит/с.

Многообразие UWB сигналов порождает множество сложностей при создании соответствующей контрольно-измерительной аппаратуры. Для генерации и анализа сверхширокополосных тестовых сигналов требуются высокопроизводительные генераторы сигналов произвольной формы (AWG) и цифровые осциллографы реального времени с очень широкой полосой пропускания и плоскими АЧХ и ФЧХ в этой полосе. Последнее обеспечить достаточно трудно, однако, в противном случае короткие импульсы UWB сигналов будут искажаться цепями генераторов и других контрольно-измерительных приборов, а искажение импульсов приведёт к искажению спектральных характеристик UWB сигналов.

В случае узкополосных сигналов контрольно-измерительные приборы обычно подбираются таким образом, чтобы их полоса пропускания была значительно шире полосы частот измеряемого сигнала и в этой полосе АФЧХ этих приборов можно считать практи-

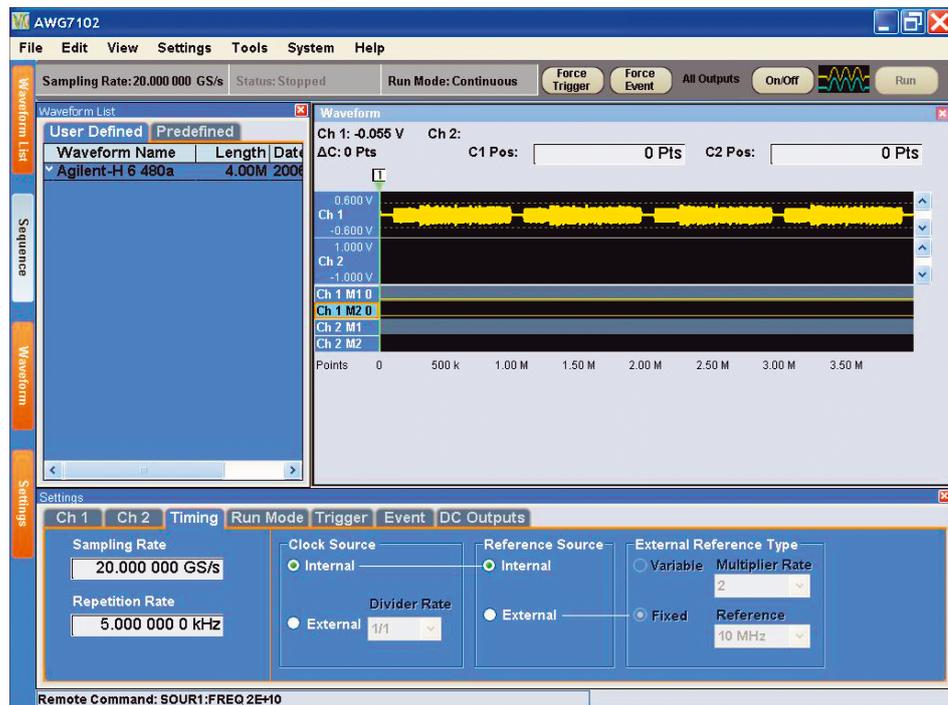


Рис. 2. Некоторые генераторы сигналов произвольной формы с частотой дискретизации 20 ГГц могут непосредственно генерировать многие UWB сигналы

При многолучевом распространении сигнала происходит наложение на полезный сигнал его множественных отражений, результатом чего будут многочисленные частотные провалы и полное пропадание отдельных частотных составляющих сигнала. В узкополосных сигналах такое явление, называемое замиранием, поражает полностью весь сигнал, в то время как в UWB сигналах, именно в силу их широкополосности, это приводит лишь к снижению мощности сигнала на несколько процентов. Подобным же образом мощная узкополосная помеха поражает UWB сигнал не полностью, а в узком диапазоне частот, тем самым лишая UWB сигнал лишь незначительной части его первоначальной мощности.

Высокая пропускная способность канала с UWB сигналами, малая зависимость от наличия многолучевого распространения и устойчивость к помехам

воляет при применении в радиолокации добиться исключительно высокой разрешающей способности при обнаружении объектов. Например, при облучении двух близко расположенных друг от друга объектов локационными импульсами большой ширины, отражённые импульсы могут перекрываться, что создаёт искажённую картину. Использование узких импульсов даёт четкий эхо-отклик.

Сверхкороткие UWB импульсы по своей природе как нельзя лучше подходят для исследования слабым сигналом близко расположенных объектов малого размера, находящихся на небольшом удалении от источника сигнала. Определённые преимущества даёт применение UWB сигналов в подповерхностных радарх и специальных радарх, предназначенных для применения на малых расстояниях внутри помещений. Техника кодирования передаваемых UWB сигнала-

чески плоской. Но для работы с UWB сигналами традиционное радиоизмерительное оборудование не подходит.

Например, для простейших измерений спектральной плотности мощности UWB сигнала необходима разрешающая способность по частоте 50 МГц, что могут обеспечить очень немногие анализаторы спектра.

Кроме того, для UWB сигналов применяется частотно-временное кодирование, а тестирование устройств с такими сигналами без соответствующего специального оборудования весьма проблематично. При эксплуатации и испытаниях UWB устройств значительные трудности представляют собой и генерация UWB сигнала, и испытания на эффективную помехоустойчивость, и измерение параметров спектра и модуляции.

ГЕНЕРАЦИЯ UWB СИГНАЛОВ

Для генерации UWB сигналов требуется специальное оборудование. Рабочая полоса частот такого оборудования должна быть без преувеличения огромной, не менее 1,5 ГГц для большинства UWB сигналов, в то время как у большинства лабораторных генераторов сигналов она ограничена несколькими десятками или сотнями мегагерц.

В зависимости от вида модуляции UWB сигнала требуются разные способы его генерации. Генерация сигнала TH-UWB и DS-UWB обычно осуществляется непосредственно генератором модулирующего сигнала, который в этом случае должен иметь полосу в несколько гигагерц. Сигналы MB-OFDM после модуляции обычно преобразуются в более высокие частоты соответствующего диапазона. При этом ширина полосы модулирующего сигнала меньше, чем в предыдущих случаях, но зато требуется достаточно сложный преобразователь частоты или модулятор.

Современные генераторы сигналов произвольной формы могут справиться с существующими трудностями: их отдельные модели имеют частоту дискретизации до 20 ГГц и позволяют формировать модулирующий сигнал до 5 ГГц при четырехкратной передискретизации. Универсальные генераторы сигналов произвольной формы позволяют получить непосредственно модулирующий сигнал или снять сигнал с выходов I-Q для подачи на внешний модулятор с последующим преобразованием в более высокую частоту. При глубине динамического диапазона 8-10 бит передовые генераторы сигналов произвольной формы могут непосредственно генерировать UWB сигналы с частотами до 5 ГГц без использования дополнительных внешних устройств. Для диапазонов 2-5 верхней

части спектра частот, используемых приложениями WiMedia, UWB сигнал может быть получен с использованием внешнего I-Q-модулятора и преобразователя с повышением частоты.

Отдельные генераторы сигналов произвольной формы имеют также дифференциальные выходы, которые можно напрямую подключать к балансным усилителям и смесителям, имеющим улучшенные шумовые характеристики и ослабляющим синфазные сигналы. А поскольку множество UWB сигналов формируется цифровыми методами при помощи алгоритмов программного обеспечения, гибкость памяти генератора сигналов произвольной формы, позволяющая извлекать откуда любую форму сигнала, является для многих специалистов в области UWB техники особенно привлекательной.

В некоторых генераторах имеется возможность загрузки файлов многих распространённых форматов, напри-

вать такие устройства. Трудной задачей может оказаться оптимизация помехоустойчивости, поскольку в каналах UWB связи редко встречается только один узкополосный источник помехи и требуется проведение комплексных испытаний в широком спектре частот.

Моделирование «забития» широкого диапазона частот мощными помехами может оказаться довольно дорогостоящей задачей. Традиционный подход к такому моделированию заключается в объединении нескольких источников сигналов с целью генерирования реальной картины помех, но он обычно требует значительных затрат на эти источники.

Более удобным для создания тестовых сигналов помех представляется подход, основанный на сочетании широкой полосы частот генератора сигналов произвольной формы и специфических прикладных программ, например, программы «Multi-Channel I-Q» (MCIQ), обеспечивающей синтез всего спектра частот одним источником (генератором).

Сложная комбинация узкополосных помех может быть сгенерирована случайным образом и сохранена в памяти генератора сигналов произвольной формы. Воспроизводя всю эту комбинацию одновременно с генерацией полезного UWB сигнала, можно легко получить представление о помехоустойчивости UWB устройств.

Таким образом, один широкополосный генератор сигналов произвольной формы может заменить множество отдельных дорогостоящих генераторов сигналов, имитирующих источники помех, что является гораздо более эффективным и гибким решением при тестировании UWB устройств на помехоустойчивость.

ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ МАСОК UWB СИГНАЛОВ

Необходимость измерений спектральных масок UWB сигналов ставит перед разработчиками и испытателями новых устройств ряд необычных задач.

Прежде всего, из-за высокой степени интеграции элементов UWB устройств спектральные измерения зачастую можно производить только на выходе антенны или тракта РЧ. Однако доступные для подключения измерительных приборов внутренние контрольные точки могут или отсутствовать вообще, или сигнал в них не соответствует сигналу в антенне. Кроме того, при мощности излучаемого UWB сигнала менее -41 дБм/МГц уровень сигнала в антенне редко превышает 500 мВ (пик-пик) и только, если сигнал принимается во всем диапазоне частот, а не в узкой полосе в несколько мегагерц.

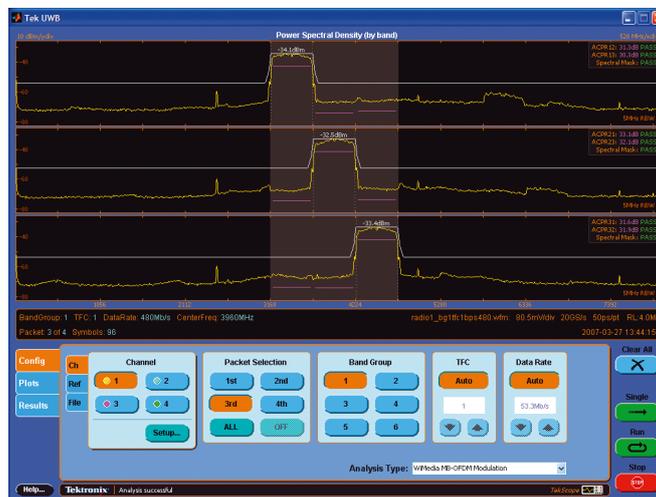


Рис. 3. Измерения маски спектра и АСРР для каждой полосы частот в группе полос WiMedia производятся одновременно на сигнале реальном времени

мер, .pat, .seq, .wfm, MATLAB®, MathCAD® и Excel®. Чтобы получить желаемый тест-сигнал, достаточно загрузить в генератор код для генерации UWB сигнала, часто даже без преобразования его формата.

ЭФФЕКТИВНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ

Испытания UWB приёмников на помехоустойчивость до настоящего времени представляют для специалистов значительные трудности. В огромной полосе частот, занимаемой UWB сигналом, может находиться большое количество потенциальных источников узкополосных помех. Кроме того, серьезные проблемы могут вызвать источники внутриполосных и близлежащих внеполосных помех.

При недостаточной селективности фильтров промежуточной частоты (ПЧ) в UWB устройствах может потребоваться еще более широкая полоса частот, в которой необходимо тести-

Сигналы UWB занимают участки спектра радиочастот шириной от 3,1 ГГц до 10,6 ГГц и даже больше, что значительно шире полосы частот, которую может захватить за один приём обычный анализатор спектра. Некоторые осциллографы реального времени, например, осциллографы серии DPO/DSA 70000, могут захватить весь UWB спектр как одиночный когерентный сигнал. При этом частота дискретизации РЧ сигнала составляет 50 ГГц, а период выборки — 20 пс. Часть из этих мощных осциллографов имеет специализированное программное обеспечение для спектрального анализа UWB сигналов, с помощью которого измерения спектральных масок производятся автоматически в каждом отдельном диапазоне сигналов WiMedia. Такое программное обеспечение автоматически идентифицирует частотно-временной код сигнала и подбирает соответствующие ему маски спектра. Затем программа определяет, попадает ли сигнал в каждую из трёх масок спектра и измеряет коэффициент мощности соседнего канала (ACPR) отдельно для каждой полосы частот в группе полос одиночного сигнала.

ИЗМЕРЕНИЯ МОДУЛЯЦИИ UWB СИГНАЛА

После того, как достигнуты требуемые спектральные характеристики UWB сигнала, следующей измерительной задачей обычно является оптимизация модуляционных характеристик. Модуляция MB-OFDM, используемая для UWB сигналов WiMedia, достаточно сложна и достижение требуемых её характеристик представляет собой целую группу непростых задач.

В отличие от многих видов узкополосной модуляции, где высокое качество сигнала достигается за счёт высокого качества характеристик компонентов в узком частотном диапазоне, UWB сигнал может искажаться из-за сверхшироких частотных характеристик компонентов. Например, неравномерность АЧХ, изменения времени группового запаздывания, случайные скачки частоты — всё это может ухудшить характеристики канала UWB связи. Чтобы выявить эти и другие проблемы в многополосном сигнале, нужны приборы с техническими возможностями, гораздо более широкими, чем просто захват и измерение временных характеристик сигнала.

Прежде всего, для демодуляции UWB сигнала необходимо знать, в какой группе диапазонов он находится (таких групп — 6 в диапазоне частот 3,1...10,6 ГГц), его частотно-временной код (один из 10 возможных его разновидностей) и скорость передачи данных (одно из 8 возможных значений). К счастью, осциллографы DPO/DSA 70000 с

программным обеспечением для анализа UWB сигналов позволяют определить частотно-временной код и скорость передачи данных, а также некоторую другую информацию, методом посимвольного анализа радиочастотного сигнала.

Определение амплитуды вектора ошибок (EVM) UWB сигнала нельзя смешивать с обычными вычислениями. Процесс вычисления этого параметра включает в себя первоначальную оценку канала (Channel Estimation) связи с использованием CE символов; оценку и коррекцию фазовых и временных характеристик с использованием контрольных сигналов, а также оценку ухода частоты. Фазовая ошибка оценивается с помощью контрольного сигнала, временная ошибка исправляется. Если для анализа фазовой ошибки

совпадений с маской спектра в пределах группы диапазонов и за пределами этой группы, что значительно ускоряет и упрощает трудоёмкий процесс измерений.

Технология UWB даёт массу преимуществ для самых различных применений беспроводной связи. Высокая скорость передачи данных, нечувствительность к помехам, простая архитектура аппаратной части — это лишь часть преимуществ, благодаря которым UWB устройства распространяются всё шире. Способы модуляции TH-UWB, DS-UWB и MB-OFDM придают новые качества технике высокоскоростной передачи данных на короткие расстояния и технике ближней радиолокации.

Несмотря на то, что проблемы выполнения измерений UWB сигналов чаще всего достаточно трудноразрешимы (в частности, требования к измерениям в очень широкой полосе частот и в реальном времени исключают использование подавляющего большинства измерительных приборов), в настоящее время появилось несколько образцов усовершенствованного измерительного оборудования, которые позволяют специалистам по беспроводной связи справляться со сложностями в этой относительно новой области. Некоторые генераторы сигналов произвольной формы способны вырабатывать и UWB сигналы, и широкополосные тестовые спектры помех. Осциллографы реального времени хорошо сочетаются с этими генераторами сигналов произвольной формы благодаря



Рис. 4. Функция UWB анализа обеспечивает собой полный набор измерений и диаграмм для каждого пакета данных

применяется специальный фильтр СРЕ (общей фазовой ошибки), то сигнал на его выходе используется для коррекции ошибки по фазе. Для каждой поднесущей сигнала данных и контрольного сигнала вычисляется евклидово расстояние до ближайшей комбинационной точки. После этого вычисляется и отображается значение амплитуды вектора ошибок. Осциллографы DPO/DSA70000 с функцией UWB анализа имеют полосу частот, достаточно широкую для идентификации UWB сигналов с модуляцией MB-OFDM во всех группах диапазонов WiMedia, что обеспечивает детальное измерение параметров модуляции и упрощает процесс тестирования UWB устройств, причём такая методика может использоваться повсеместно.

Для каждого пакета данных быстро рассчитывается и документируется величина амплитуды вектора ошибки, пикового значения амплитуды вектора ошибки, скорость передачи данных, центральная частота, количество символов данных, группа диапазонов, частотно-временной код, общая фазовая ошибка, 6 значений ACPR, количество

исключительно широкой полосе пропускания, уникальному набору возможностей по измерению модуляции UWB сигналов и программному обеспечению для анализа наиболее распространённых сигналов WiMedia. Наличие таких мощных измерительных приборов теперь значительно облегчает эффективное и всестороннее тестирование UWB устройств.

Ultra Wide Bandwidth (UWB) wireless is a rapidly growing technology that promises to revolutionize low power, short-range wireless applications. UWB radios present a variety of specialized test demands. Wide signal bandwidths, short duration pulses and low transmit Power Spectral Densities make UWB testing difficult. However, advanced test instruments and dedicated measurement software now offer solid solutions to UWB test challenges. This article discusses how wireless engineers can maximize the advantages of UWB technologies while overcoming test complexities.