

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ

ЧТО ЭТО ТАКОЕ

Н.Щербак

В течение последних 30 лет в научно-технической литературе идет активное обсуждение технологии так называемых сверхширокополосных (UltraWideBand – UWB) сигналов. Многие считают ее одним из наиболее важных изобретений последнего времени, сравнивая с созданием телефона или с развитием полупроводниковой технологии. Безусловно, здесь немало преувеличений, однако многочисленные публикации привлекают внимание к ней десятков инвесторов и разработчиков. Уже в течение нескольких лет не ослабевают интерес к этой технологии со стороны военных кругов. Фундаментально отличающаяся от современной техники модулированных ВЧ-сигналов, UWB-передача информации предлагает достаточно уникальные возможности, которые максимально использует сверхширокополосная радиолокация.

В соответствии с определением сверхширокополосных (UltraWideBand – UWB) сигналов, введенным экспертами DARPA МО США и уточненным FCC (Федеральной комиссией по связи)*, сверхширокополосный радиолокатор – это радиолокатор, у которого ширина спектра сигнала значительно больше 25% от центральной частоты. Излучение в таком радиолокаторе происходит в виде одиночных импульсов или нескольких периодов колебания на центральной частоте. В типовых случаях длительность импульса находится в пределах от 100 пс до 1,5 нс, центральная частота – в диапазоне от 650 МГц до 5 ГГц, а ширина спектра – до нескольких гигагерц [1, 2]. Для UWB-радиолокаторов характерно не только использование сверхкоротких импульсов, но также очень низкий уровень излучаемой мощности. Тем не менее, при уровнях средней мощности излучения в несколько милливольт можно достичь рабочей дальности от нескольких метров до нескольких километров.

UWB-радиолокаторы вызывают к себе большой интерес, и развитие сверхширокополосной радиолокации идет интенсивно. Перечисленные ниже потенциальные информационные преимущества UWB-радиолокаторов перед радиолокаторами, использующими “узкополосные” сигналы, основаны именно на работе со сверхкороткими импульсами и, соответственно, в сверхширокой полосе:

– широкая полоса UWB-радиолокаторов обеспечивает им более высокую разрешающую способность по дальности и точность измерения расстояния до цели. Высокое пространственное разрешение предоставляет еще и возможность для выделения цели из фоновых помех. Так, сообщалось о многообещающих результатах при ис-

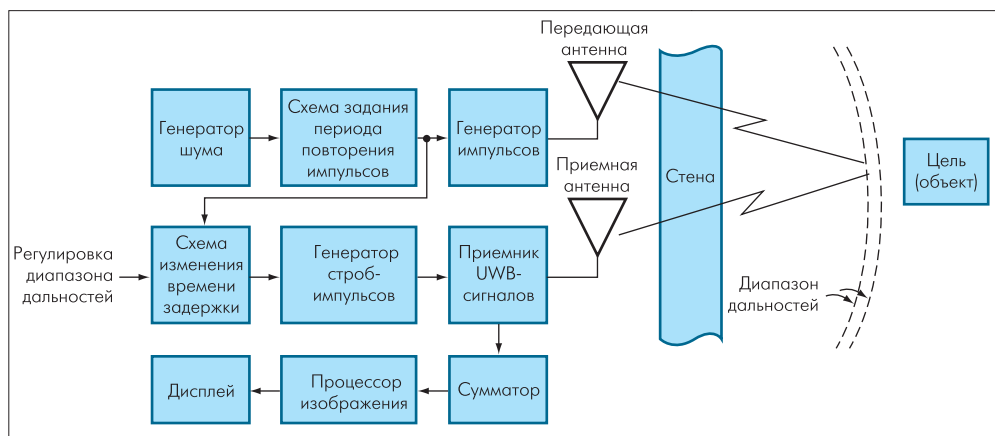
пользовании UWB-радиолокатора с синтезированием апертуры, который позволил получить изображения отражателей, скрытых под покровом леса. Для традиционной радиолокации такое обнаружение представляет серьезную проблему, особенно в отношении целей с малой эффективной площадью рассеяния (ЭПР) на малой высоте или целей на поверхности суши или моря [3];

– UWB-радиолокаторы способны распознавать тип и форму цели, поскольку принятый эхо-сигнал несет информацию не только об объекте в целом, но и об его элементах. Протяженность пикосекундного импульса в пространстве ct (где c – скорость света, t – длительность импульса) намного меньше длины цели, и в этом случае цель является уже не точечным отражателем, как для традиционного радиолокатора, а матрицей отражающих элементов (микро-целей). Зондирующий сигнал UWB-радиолокатора, поочередно отражаясь от отдельных элементов, образует импульсную последовательность, параметры которой зависят от геометрии объекта и импульсных характеристик цели. Эта последовательность, называемая “портретом цели”, представляет собой распределение отраженной мощности во времени. В результате ЭПР также становится зависимой от времени и эта зависимость (форма портрета) изменяется при смене ракурса наблюдения за целью. Амплитуда импульсов, составляющих портрет, зависит от ЭПР соответствующих отражающих элементов, а их полярность – от магнитной проницаемости материала элементов;

– обеспечивается электромагнитная совместимость UWB-радиолокатора с обычной узкополосной РЛС. При совместной работе этих радаров в полосу частот узкополосного попадает лишь небольшая часть энергии сигнала UWB-радиолокатора. Поскольку их полосы частот отличаются на три порядка, за время действия UWB-радиолокатора помеха, возникающая от него в приемнике узкополосной РЛС, не успевает достичь заметной величины. Кроме того, при равной мощности излучения обоих радаров удельная мощность на единицу частоты у UWB-радиолокатора примерно на три порядка ниже, т.е. в приемник узкополосной РЛС попадет лишь тысячная доля энергии сверхширокополосного сигнала. При обратном влиянии от помех эффективно защищает частотная режекция, вырезающая из спектра сигнала UWB-радиолокатора полосу частот, занимаемую сигналом узкополосной РЛС. При совместной работе двух или нескольких UWB-радиолокаторов возможно временное разделение сигналов. Из-за малой длительности сверхширокополосного сигнала и сважности, достигающей 10^7 , помеха от соседнего локалатора занимает очень малый участок;

– существенное уменьшение ЭПР пассивных помех – дождя, тумана, аэрозолей и т.п. – облегчает наблюдение цели на их фоне;

См. также: ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №4, с.8–15.



широкополосных сигналов чрезвычайно низкой мощности строились на очень дешевых компонентах. Специально созданные антенны, новые схемные решения, сопряжение с компьютером, обработка сигналов позволили создать новое поколение очень компактных радиолокационных систем, которые с успехом используются для дистанционного зондирования в военном деле, на транспорте, в медицине, а также для исследования окружающей среды.

Рис. 1. Блок-схема UWB-радиолокатора

– реализация UWB-радиолокаторов осуществляется очень простыми и дешевыми аппаратными средствами. В частности, приемная аппаратура обычно строится по схеме прямого преобразования (без канала ПЧ, вернее, с использованием так называемой гомодинной архитектуры). К тому же различные радиолокационные приложения используют одни и те же базовые схемы передатчика и приемника [4–6].

Преимущества UWB-радиолокаторов особенно важны при их применении в военных системах для распознавания и получения изображений целей и их селекции, обеспечения скрытой от систем РЭБ работы и низкой вероятности перехвата сигналов, предотвращения поражения со стороны противорадиолокационных управляемых ракет. Кроме того, они успешно используются для определения местоположения; предупреждения о возможности столкновения; точного измерения расстояния; обнаружения несанкционированного проникновения; обнаружения объектов в почве (зарытых мин, в том числе пластиковых), в стенах, за лиственным покровом и пр.; медицинского диагностирования. Одобренные Федеральной комиссией по связи радиолокационные устройства уже обнаруживают дыхание или другого типа движение сквозь стены.

Развитие UWB-технологии продолжается и сегодня, причем усовершенствования касаются отдельных аппаратных средств и подсистем, а не общих концепций [4.]

Основные разработчики UWB-аппаратуры – фирма Time Domain, Ливерморская национальная лаборатория (LLNL), фирмы Multispectral Solutions, McEwan Technologies, Калифорнийский университет. Различную UWB-аппаратуру предлагают также компании Aether Wire & Location, QDS и др.

MIR-ТЕХНОЛОГИЯ

В 1994 году в Ливерморской национальной лаборатории Томасом Мак-Эваном был разработан миниатюрный радиолокатор MIR (Microwave Impulse Radar – микромощный импульсный радиолокатор). За несколько лет после разработки опытного образца быстро был пройден путь от лабораторной концепции до реализации в многочисленных системах, создаваемых по заказу правительственных агентств и для коммерческого применения. Аппаратные средства генерации и приема сверх-

сверхширокополосный радиолокатор с селекцией целей по дальности. Его потенциальная разрешающая способность по дальности 1 см, а дальность в воздухе – около 50 м. Типовая схема MIR-радиолокатора содержит передатчик с генератором импульсов и приемник с генератором строб-импульсов, работа которого синхронизируется сигналом с передатчика (рис. 1) [1]. Передатчик обеспечивает передачу сверхкоротких импульсов длительностью примерно 200 пс с временем нарастания 50 пс. Номинальная частота повторения импульсов 2 МГц. Полоса спектра сигнала порядка 1–4 ГГц. Приемник принимает эхо-сигналы только от объектов, находящихся в пределах задаваемого передатчиком диапазона расстояний – от нескольких сантиметров до десятков метров. В качестве передающей антенны используется несимметричный вибратор из одного провода длиной всего 4 см. Антенна больших размеров может увеличить дальность и направленность действия, а также повысить проникновение UWB-импульсов в различные вещества (такие, как вода, снег, грязь).

Период повторения зондирующих импульсов преднамеренно рандомизируется относительно номинального значения с помощью генератора шума. Это обеспечивает эффективное снижение помех от функционирования другой передающей аппаратуры (связных станций, телевизионных передатчиков и пр.), работу без взаимных помех нескольких радиолокаторов, находящихся на небольшом расстоянии друг от друга, и, кроме того, “сглаживание” спектра излучения, вследствие чего сигнал MIR-радиолокатора напоминает фоновый шум, который трудно обнаружить другими датчиками.

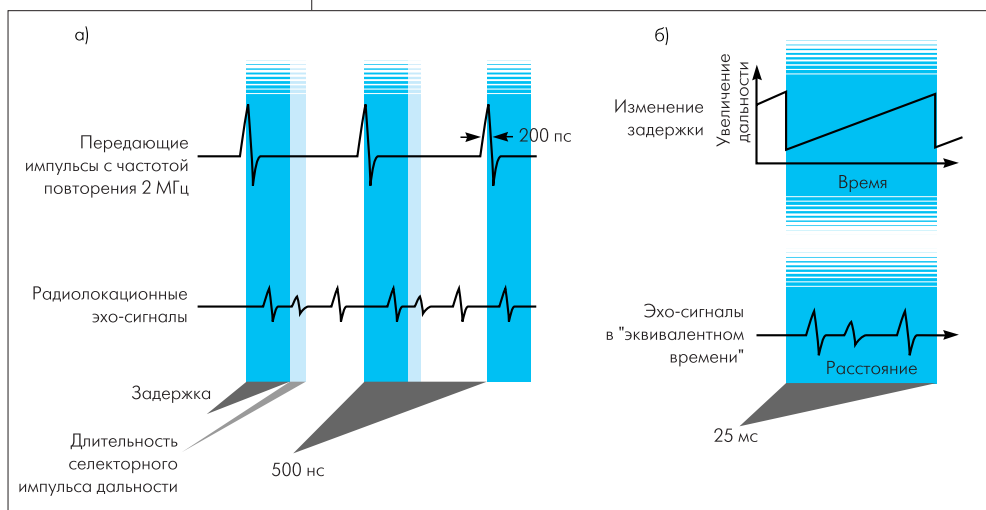


Рис.2. Эпюры, характеризующие работу MIR-радиолокатора: а) последовательность передающих импульсов и эхо-сигналов; б) задержка строб-импульса

Селекция по дальности в MIR-радиолокаторе происходит следующим образом. В момент излучения зондирующего импульса по сигналу от передатчика срабатывает схема задержки селекторного импульса дальности, по окончании которой строб-импульс отпирает приемник для приема лишь тех эхо-сигналов, которые соответствуют узкому временному “окну” (рис.2а). Этим предотвращается прием нежелательных сигналов. Изменение времени задержки относительно зондирующего импульса происходит по пилообразному закону. В результате появляется возможность регистрировать все эхо-сигналы в “эквивалентном масштабе времени”, который коррелируется с расстоянием до объекта (рис.2б). Структура импульсов в “эквивалентном масштабе времени” точно соответствует исходной структуре в реальном времени и при этом ее легко индентифицировать на экране осциллографа или передавать в компьютер. Такой стробоскопический метод используется в высотомерах, устройствах измерения уровня жидкости в резервуарах, а также во всех MIR-приложениях с формированием изображений.

Усреднение по тысячам импульсов повышает отношение сигнал/шум, а пороговая схема с выбираемым уровнем порога позволяет обнаруживать любое перемещение объекта и включать тревожную сигнализацию.

MIR-технология имеет ряд достоинств при изготовлении различных датчиков:

- как и для всех UWB-радиолокаторов, эхо-сигналы несут гораздо больше информации, чем узкополосные сигналы, а сверхширокая полоса спектра обеспечивает высокую разрешающую способность и точность определения дальности. Аппаратура менее восприимчива к помехам, возникающим от работы других радиолокаторов;
- чрезвычайно низкие требования к электропитанию – средний потребляемый ток составляет всего лишь несколько микроампер;
- средняя СВЧ-мощность, составляющая всего лишь несколько десятков микроватт, не представляет опасности для здоровья оператора (мощность излучения – меньше одной тысячной мощности излучения мобильного телефона);
- малая стоимость аппаратных средств благодаря использованию устаревших компонентов;
- малые размеры (печатная плата – около 4 см²);
- высокое проникновение зондирующего сигнала в большинство материалов низкой проводимости, что обеспечивает “видение сквозь стены”, бетон и другие препятствия, включая человеческую ткань;
- точная установка дальности действия, что снижает вероятность ложных тревог;
- скрытность работы MIR-датчика вследствие рандомизации периода повторения импульсов.

Достоинства MIR-технологии открывают возможности для создания многочисленных дешевых систем для обнаружения перемещения, измерения расстояния, получения изображений. Во многих случаях они имеют преимущества перед обычными пассивными и активными ИК-датчиками, УЗ-, сейсмическими и СВЧ-доплеровскими устройствами. Так, на работу многих “обычных” датчиков неблагоприятное воздействие оказывают условия окружающей среды, повышая уровень ложных тревог. Пассивные ИК-датчики могут срабатывать при наличии источника света или тепла. СВЧ-доплеровские датчики создают взаимные помехи, используют дорогостоящие компоненты, их сигналы имеют ограниченное проникновение вглубь материала.

Для коммерческого применения уже существуют автомобильные MIR-датчики (для помощи при парковке, обнаружения возможности столкновения, круиз-контроля, приведения в действие воздушных подушек безопасности, электронного указателя уровня различных жидкостей), датчики систем безопасности (для обнаружения несанкционированного проникновения и перемещения, контроля доступа, мониторинга за перемещением детей, периметровой охраны, автосигнализации при краже транспорта), датчики средств промышленной автоматизации и т.п.

Важное применение MIR-технологии – в “электронных измерителях уровня” жидкости, не имеющих движущихся деталей. В таком измерителе зондирующий сигнал распространяется не по воздуху, а по металлическому проводу, и измеряется время прохождения электромагнитных импульсов, отраженных от поверхности жидкости. Разрешающая способность прибора – меньше 1 мм, точность измерений – в пределах 0,1%.

MIR-РАДИОЛОКАТОРЫ ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАСТИЛОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ

В этом направлении UWB-радиолокации достигнут значительный прогресс, что способствует развитию всей сверхширокополосной техники.

С 1995 года Федеральное управление автомобильных дорог США финансирует работы по подповерхностному радиолокационному зондированию для неразрушающего контроля настила мостов. Необходимость в средствах такого контроля вызвана тем, что 40% автомобильных мостов, которых в США свыше 578 тысяч, имеют конструктивные дефекты или функционально устарели в результате повреждений, вызываемых коррозией внутренней арматуры. Эти повреждения скрыты слоями бетона (около 5 см) и асфальтового покрытия (5–10 см).

По контракту с Федеральным управлением лаборатория LLNL разработала радиолокационную систему контроля бетона и внутренней арматуры мостов с формированием изображения – HERMES (High-speed Electromagnetic Roadway Mapping and Evaluation System), использующую MIR-технологии. Система HERMES устанавливается на автомобиле и предназначена для сбора данных на скорости движения транспортного потока. Бортовое оборудование состоит из решетки 64 MIR-модулей, собирающих необходимые данные для построения трехмерного изображения внутренней структуры настила моста, аппаратных средств для воспроизведения изображения необработанных данных в реальном времени, для сбора данных и управления, а также из подсистемы хранения дан-

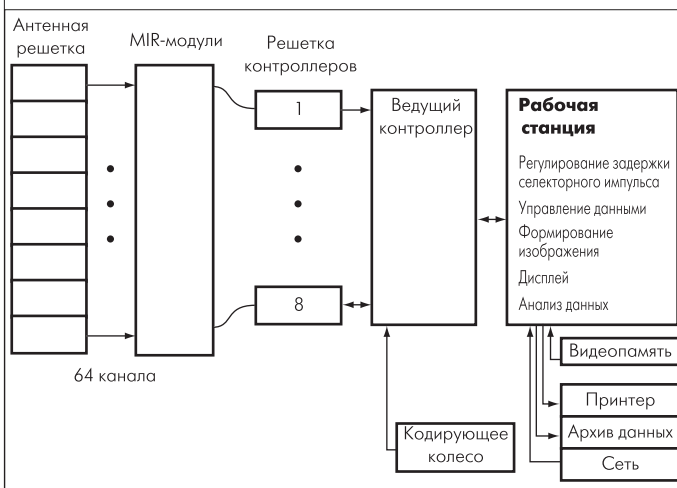


Рис.3. Блок-схема системы HERMES

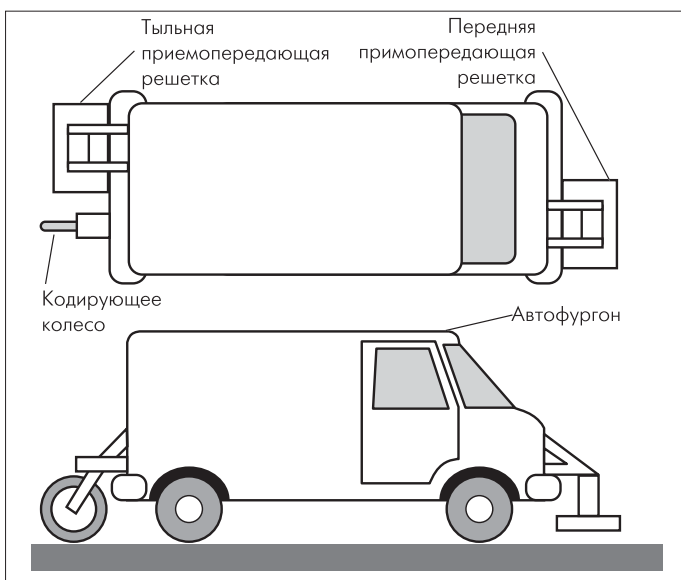


Рис.4. Расположение системы HERMES на автомобиле

ных (рис.3). Каждый MIR-модуль представляет собой радиолокационный дальномер с регулируемой селекцией по дальности [1,7–9].

Технические характеристики модуля:

Общие размеры (масса)	..... 5 x 10 x 5 см, (<0,25 кг)
Электропитание	..... 6–12 В, <25 мА
Максимальная дальность	..... 3 м на воздухе, от 0,2 до 0,5 м – в бетоне

Передатчик

Частота повторения импульсов	..... 5 МГц
Фронт импульса	..... ~100 пс
Ширина спектра импульса	..... от 0,8 до 4,0 ГГц
Излучаемая мощность	..... <2 Вт (пиковая), <1 мВт (средняя)
Антенна	..... несимметричный вибратор с резонатором, ширина луча 120°

Приемник

Тип	..... с регулировкой задержки селекторного импульса
Ширина полосы пропускания	..... ~5 ГГц
Коэффициент шума	..... ~25 (без малошумящего усилителя)
Общий коэффициент передачи	..... >95 дБ
Максимальная скорость обновления данных	..... ~18000 регистраций/с
Аналоговое выходное напряжение	..... ±2 В
Антенна	..... несимметричный вибратор с резонатором, ширина луча 120°

Решетки MIR-модулей длиной в 1 м монтируются впереди и сзади автомобиля и смещены относительно друг друга, так что при одном проходе автомобиля обеспечивается перекрытие участка полотна моста двухметровой ширины (рис.4). После сбора радиолокационных данных с помощью бортовой рабочей станции осуществляются обработка сигналов и восстановление изображения. Для получения двух- и трехмерного изображения в лаборатории LLNL разработаны программные средства с использованием алгоритмов дифракционной томографии.

Проведение контроля покрытия моста требует высокого разрешения как по дальности, так и в перпендикулярном направлении. Первое достигается благодаря сверхширокому спектру. Фронт импульса в 100 пс обеспечивает разрешение в бетоне около 2 см. Хотя такое разрешение и превышает толщину типового отслоения, экспериментально показано, что в бетоне можно надежно обнаруживать и более тонкие слои. Высокочастотные составляющие MIR-импульса не проникают в бетон в достаточной степени (на частоте 3 ГГц типичные значения потерь от 20 до 40 дБ/м), но и конструк-

Историческое решение FCC по UWB-технологии

Хотя средний уровень мощности излучения UWB-устройств и невысок, до недавнего времени для использования UWB-аппаратуры в США требовалось специальное разрешение (лицензия) Федеральной комиссии по связи (FCC), что в течение многих лет затрудняло развитие данной технологии. Наиболее стойкий противник использования UWB-аппаратуры без лицензий – авиация, поскольку существует опасение, что работа большого числа UWB-передатчиков в районе аэродрома сможет повысить общий уровень фонового шума и, в частности, затруднить прием сигналов системы GPS [17].

Однако в середине февраля 2002 года FCC одобрила коммерческое использование некоторых типов UWB-продукции. Принятое Предписание включает стандарты, устанавливающие меры защиты действующих и планируемых для установки радиосистем, в особенности систем безопасности. Эти стандарты – первые осторожные шаги в направлении утверждения UWB-технологии. Поскольку производство UWB-устройств еще не налажено и их влияние на работу других радиосистем практически не выявлено, при определении ограничений на UWB-излучение FCC приняла консервативное решение. В частности, требуется избегать частот, используемых военными и компаниями, предоставляющими услуги по определению местоположения. В ближайшие 6–12 месяцев комиссия намерена продолжить рассмотрение стандартов и выпустить дополнительные рекомендации, которые расширят стандарты на использование дополнительных типов продукции и технологии.

Предписание устанавливает технические стандарты для трех типов UWB-устройств, исходя из их потенциальной возможности создавать помехи. Это – системы формирования изображения, в том числе радиолокаторы подповерхностного зондирования, “видения сквозь стену” и обзорные, медицинские приборы; транспортные радиолокаторы; коммуникационные и измерительные системы.

По системам формирования изображения работа устройств регулируется частью 15 Правил, устанавливающей ограничения по частоте и мощности излучения:

- радиолокаторы подповерхностного зондирования и системы формирования изображения стены должны работать на частотах ниже 960 МГц или в диапазоне 3,1–10,6 ГГц;
- радиолокаторы “видения сквозь стену” – ниже 960 МГц или в диапазоне 1,99–10,6 ГГц;
- коммуникационные и измерительные системы, медицинские приборы – в диапазоне 3,1–10,6 ГГц;
- обзорные радиолокаторы – в диапазоне 1,99–10,6 ГГц;
- транспортные радиолокаторы – в полосе 24 ГГц, их направленные антенны – на центральной частоте 24,075 ГГц.

Что касается допустимой мощности излучения, то даже по мнению некоторых членов комиссии, ограничения чрезмерно строгие. И такие фирмы, как Florian Wireless и Time Domain уже заявили, что разрабатываемая ими UWB-аппаратура для спасателей (некоторые образцы уже готовы для проведения испытаний) не будет достаточно мощной и поэтому не сможет широко использоваться. По словам представителя компании Time Domain, мощность сигнала теперь должна быть в 1000 раз меньше, чем у выпускаемой в настоящее время UWB-аппаратуры. В 2000 г. Time Domain не получила разрешения FCC на продажу для правоохранительных органов 2500 комплектов своей UWB-аппаратуры Radar Vision, которая позволяет “видеть сквозь стены”. Принятое ныне решение оставляет данный запрет в силе, поскольку выходная мощность этой аппаратуры превышает предельно допустимое значение [18,19].

тивные дефекты, представляющие интерес, обычно глубоко не входятся.

Разрешение в перпендикулярном направлении достигается путем формирования большой апертуры и заполнения ее большим числом MIR-датчиков. Поскольку MIR-модули дешевы и компактны, это сделать нетрудно. Разрешающая способность определяется длиной волны, дальностью, диаграммой направленности антенны отдельного модуля, расстоянием между соседними модулями, а также общими размерами апертуры. Большая апертура может быть реальной или синтезироваться путем сканирования устройства с меньшей апертурой (отдельной антенны или небольшой решетки) до полного перекрытия необходимой апертуры. В экспериментах была синтезирована апертура 0,8 м при использовании одного MIR-модуля и при этом достигалось разрешение менее 5 см на глубине 12 см (на 5 см ниже асфальта и на 7 см – бетона). Технические требования к системе HERMES приведены в таблице.

Технические требования к системе HERMES

Режим контроля	Максимальная скорость, км/ч	Глубина контроля, см	Разрешение в направлении, перпендикулярном движению, мм	Интервал пространственно-временного квантования, мм	Скорость реконструкции изображения, м/ч
Быстрая инспекция	35	40	64	64	60
Ограниченная глубина	17	16	16	16	30
Детализированная оценка	9	40	16	16	15

Экономические расчеты по применению системы HERMES говорят о возможной ежегодной экономии в миллионы долларов. По прогнозу, к 2005 году система HERMES станет коммерческим изделием и изменит способы проверки мостов [1, 10].

Для более детального обследования отдельных частей полотна моста в лаборатории LLNL разработан радиолокатор под названием PERES (Precision Electromagnetic Roadway Evaluation System), смонтированный на роботизированной тележке. PERES регистрирует данные на выбранном участке при развертывании одного приемопередающего MIR-модуля. Изображение внутренней структуры настила реконструируется по данным синтезированной апертуры с использованием дифракционной томографии [8,9].

MIR-РАДИОЛОКАТОРЫ ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МИН

Решение актуальнейшей проблемы поиска зарытых в землю мин* особенно затруднено в отношении противопехотных мин, которые в значительной степени изготовлены из пластмасс и покрыты неотражающей резиновой оболочкой. Такие мины практически невозможно обнаружить с помощью металлоискателя.

На основе MIR-модулей и высококачественной системы формирования изображения в лаборатории LLNL разработана радиолокационная система подповерхностного зондирования для обнаружения мин LANDMARC (Land-Mine Detection Advanced Radar Concept). Система LANDMARC построена на передающих и приемных модулях, которые размещаются независимо друг от друга и снабжены отдельными антеннами. Рабочая ширина спектра зондирующего импульса простирается от 1 до 5 ГГц, частота повторения импульсов 10 МГц, пиковая мощность 1 Вт, частота сканирования 40 Гц.

Опытный образец LANDMARC содержит несколько MIR-модулей, которые могут монтироваться в ручном устройстве (рис.5) либо на

небольшой роботизированной тележке. В любом варианте матрица MIR-модулей проходит над землей на высоте 10 см. Принимаемые радиолокационные сигналы обрабатываются бортовым компьютером для измерения изменений в диэлектрических и проводящих характеристиках подповерхностных слоев. В течение нескольких секунд с помощью алгоритмов реконструкции необработанные радиолокационные данные преобразуются в двух- и трехмерное томографическое изображение высокого разрешения под-



Рис.5. Ручной вариант системы LANDMARC

поверхностных слоев. В ручном устройстве изображение индицируется на шлемном экране оператора. Результаты полевых испытаний опытного образца LANDMARC показали, что система легко отличает пластиковые противопехотные мины от окружающей почвы [11].

Другой вариант радиолокатора подповерхностного зондирования для обнаружения неметаллических мин создается в шведском институте оборонных исследований FOA. Это портативный импульсный радиолокатор с длительностью импульса 0,3 нс, частотой повторения импульсов 250 кГц, пиковой мощностью 18 Вт и шириной спектра 0,3–3 ГГц. Такая широкая полоса означает, что по эхосигналу может быть выделена информация об ЭПР цели, которая зависит от формы цели, материала и структуры поверхности. Алгоритмы обнаружения и классификации зарытых в земле объектов позволяют использовать ЭПР, чтобы отличить мину от булыжника или металлического фрагмента корпуса взорвавшейся бомбы.

Разрабатываемый радиолокатор состоит из приемопередающей аппаратуры, процессора сигналов, батареи питания, размещаемых в заплечном ранце, и штанги с антенной и ручкой управления. Антенна содержит две скрещенные пары симметричных вибраторов. Такая конфигурация сводит к минимуму помеховые отражения от наземной поверхности. Первые испытания этого радиолокатора проводились в лаборатории над заполненным песком ящиком размерами 4x4x1,5 м [12].

БОРТОВОЙ UWB-РАДИОЛОКАТОР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВЕСНЕННЫХ ПРОВОДОВ

Фирма Multispectral Solutions, выпускающая разнообразную UWB-аппаратуру, предложила в рамках программы Hummingbird UWB-радиолокатор для беспилотного вертолета корпуса морской пехоты США. Радиолокатор предназначен для обнаружения подвешенных проводов и других небольших объектов в городских условиях и представляет собой усовершенствованный вариант с повышенной чувствительностью ранее разработанного UWB-радиовысотомера высокой точности.

Блок-схема радиолокатора приведена на рис.6. Приемник содержит антенну, полосовой фильтр для ограничения спектра помех, малошумящий усилитель с высоким коэффициентом передачи, детектор на туннельном диоде и цифровой процессор сигналов. В передатчике зондирующие импульсы проходят через полосовой фильтр на отдельную передающую антенну.

Детектирование наносекундных и субнаносекундных сигналов осуществляется с помощью прямосмещенного туннельного диода, работающего на краю области отрицательного сопротивления, бла-

*См. также: ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 1997, №3–4, с.51–54; 2000, №2, с.54–57; 2002, №1, с.54–58.

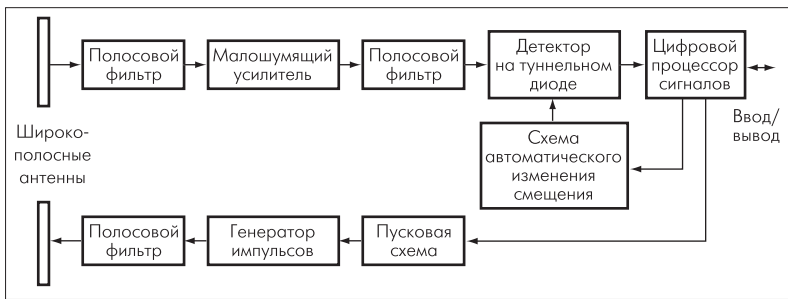


Рис.6. Блок-схема UWB-радиолокатора фирмы Multispectral Solutions

годаря чему ведет себя как чувствительный к заряду прибор. Когда накопленный заряд превышает регулируемый порог, туннельный диод “срабатывает” и формирует на своем выходе измеряемое напряжение. Для поддержания чувствительности приемника на постоянном уровне при наличии флуктуаций температуры прибора и мощности питания, а также внутренних и внешних шумов и помех, используется схема автоматической регулировки смещения туннельного диода.

В опытном образце радиолокатора длительность импульса составляла 2,5 нс, ширина спектра – 400 МГц, коэффициент заполнения импульсов 0,0025% и средняя мощность – всего лишь 25 мкВт. Поскольку детектор на туннельном диоде открывается лишь на короткий интервал времени, соответствующий конкретной дальности, и существует автоматическая регулировка его смещения, такой радиолокатор характеризуется относительно высокой помехоустойчивостью. При лабораторных испытаниях он продемонстрировал уровень сигнал/помеха в 20 дБ при работе в его полосе частот станций помех непрерывного излучения и станций заградительных шумовых помех.

Техническое задание на радиолокатор для вертолета требует, чтобы его масса не превышала 2,3 кг, минимальная дальность обнаружения составляла 75 м, время реакции – не менее 5 с при скорости полета вертолета 15 м/с, минимальная длина обнаруживаемого объекта в горизонтальной или вертикальной плоскости – 0,3 м. Радиолокатор должен также обеспечивать предотвращение столкновений с препятствиями спереди, сзади и по бокам беспилотного вертолета.

При проведении сравнительных испытаний РЛС непрерывного излучения мм-диапазона волн, лазерный дальномер сканирующего типа и стереометрический лазерный дальномер оказались слишком тяжелыми и объемными и не соответствовали техническим требованиям. В то же время UWB-радиолокатор массой примерно 1,4 кг продемонстрировал дальность обнаружения различных объектов, включая автомобили, небольшие деревянные здания, металлические вышки, деревья, в 30–90 м [13].

UWB-РАДИОЛОКАЦИОННАЯ АППАРАТУРА КОМПАНИИ TIME DOMAIN

Запатентованная фирмой Time Domain технология PulsON, использующая сверхширокополосную архитектуру с позиционно-импульсной модуляцией (Time-Modulated UWB – TM-UWB), находит применение, помимо связи, локальных сетей, радиотелефонов, систем безопасности, также в радиолокации и для определения местоположения [1, 14]. Многочисленные опытные образцы TM-UWB-аппаратуры, созданные по этой технологии, содержат радиолокаторы малой дальности и локальные системы точного определения местоположения. Одно из первых изделий фирмы – обзорный радиолокатор для помещений – готово для продажи в США. Важной областью применения TM-UWB-радиолокации считается обнаружение и визуализация объектов “сквозь стену”.

TM-UWB-передатчики излучают “гауссовы” моноциклы с точно регулируемым интервалом между импульсами. При длительности моноцикла от 0,2 до 1,5 нс интервал составляет от 25 до 1000 нс. Ширина спектра такого сигнала превышает 2 ГГц, в результате чего при длительности импульса 500 пс TM-UWB-радиолокатор имеет разрешение менее 9 см.

Благодаря позиционно-импульсной модуляции сигнала “псевдослучайным кодом” его частотный спектр рандомизируется, что делает зондирующий сигнал в частотной области неотличимым от белого шума, т. е. его невозможно обнаружить и невозможно осуществить радиоперехват даже на небольшом расстоянии от передатчика, если не используется корреляционный приемник. В корреляторе приемника принимаемый сигнал умножается на “эталонное” (template) колебание с последующим интегрированием результата, и выходное напряжение коррелятора служит мерой относительных временных позиций принятого моноцикла и эталона. Весь процесс происходит в течение длительности импульса, т. е. за время меньше 1 нс.

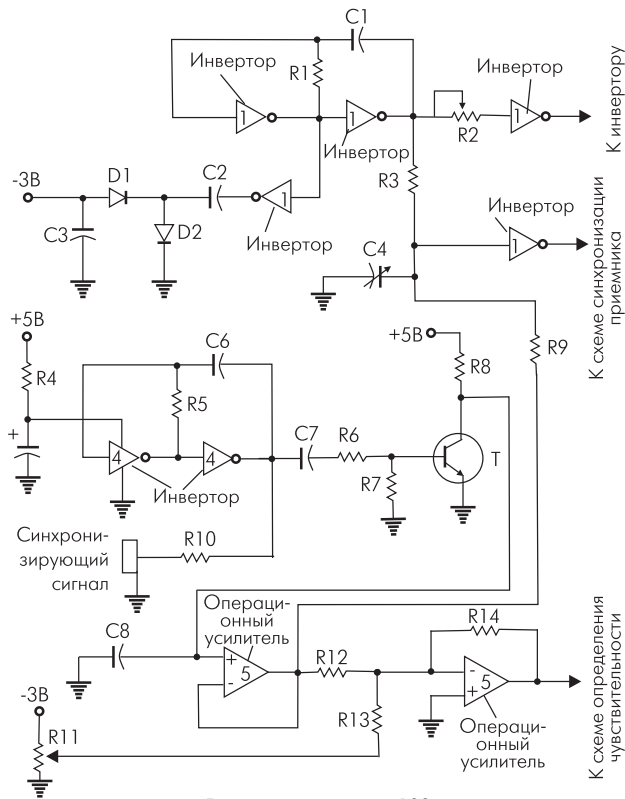
Радиолокатор, построенный по технологии TM-UWB, позволяет упростить последетекторную обработку сигналов, что особенно важно для радиолокатора с синтезированием апертуры (PCA). Если в обычном узкополосном PCA необходимо прямое и обратное быстрое Фурье-преобразование для удаления доплеровских частотных смещений и очистки получающегося в результате изображения, то в радиолокаторе технологии TM-UWB, вследствие высокого разрешения по времени, необходимость в сложной машинной обработке отпадает. Поэтому PCA на основе такой технологии может обеспечить исключительно высокую разрешающую способность при существенно меньшей стоимости.

В типовом случае TM-UWB-аппаратура значительно проще обычной аналогичного назначения, что обеспечивает ее невысокую стоимость. Если первые опытные образцы радиолокаторов фирмы Time Domain создавались на дискретных компонентах, то последний образец использует две специализированные SiGe IC (таймер и коррелятор), разработанные фирмой.

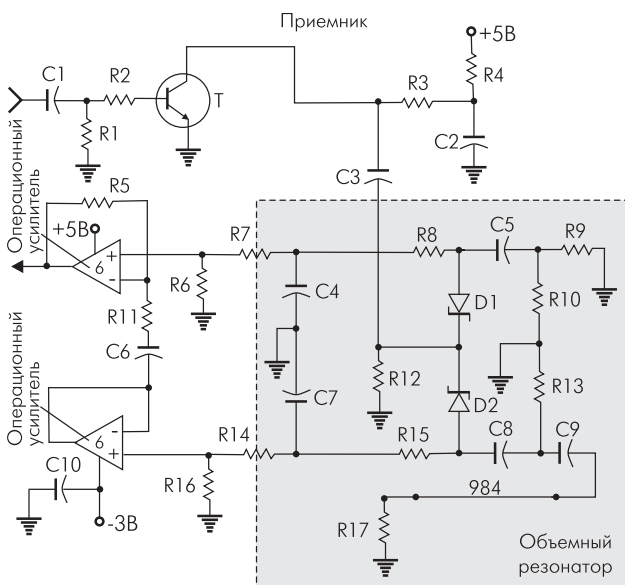
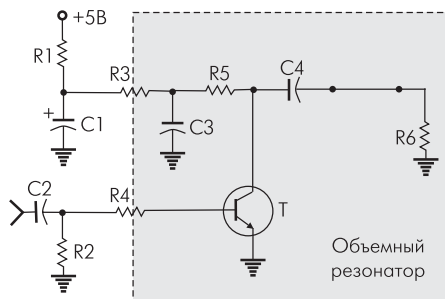
TM-UWB-аппаратуру можно использовать и для измерения расстояния по методу, аналогичному тому, что применяется в глобальной навигационной системе GPS. Однако, если приемники системы GPS позволяют измерять время с точностью 20 нс, то точность измерения TM-UWB-радиостанцией на три порядка выше, что при измерении расстояния обеспечивает субсантиметровую разрешающую способность. С помощью сети опорных TM-UWB-радиостанций пользователи могут точно определять свое местоположение в пределах зданий и других участков с мешающими отражениями, где приемники GPS не могут эффективно работать из-за многолучевого распространения радиосигналов [14].

Принципиальные схемы различных узлов UWB-радиолокатора лаборатории LLNL [20]

Генератор прямоугольных колебаний, задающих частоту повторения зондирующих импульсов (2 МГц)



Генератор импульсов 100 пс



В заключение следует сказать, что несмотря на интенсивное развитие, сверхширокополосная радиолокация содержит еще множество нерешенных проблем. В первую очередь это касается научных основ – до сих пор отсутствует систематизированная теория. Одну из трудностей представляет аналитическое описание принятого широкополосного сигнала, который имеет сложную форму. Другая состоит в вычислительной части радара (как аппаратной, так и программной), являющейся достаточно сложной, причем в первую очередь из-за высокой информативности принимаемого сигнала. В то время как в UWB-радаре по сравнению с узкополосным разрешение увеличивается примерно на три порядка, соответственно во столько же раз растет и объем памяти системы обработки. Далее, хотя предполагалось, что UWB-радиолокаторы смогут лучше обнаруживать малозаметные цели, пока никто еще не внес полной ясности в эту проблему [4].

Тем не менее об огромном интересе к UWB-технологии ученых и бизнесменов различных стран мира говорят открывающиеся 20 мая в Балтиморе (США) конференция по сверхширокополосным системам и технологиям (UWBST 2002) и 29 апреля – в Санта-Барбаре (США) девятая Международная конференция по подповерхностным радиолокаторам (GPR 2002). UWBST 2002 является первой из целого ряда спонсируемых IEEE конференций, посвященных этой уникальной технологии. На конференции должны обсуждаться вопросы обработки сигналов, моделей каналов, многоабонентского пользования, применения UWB-технологии (в том числе радиолокация), взаимных помех, построения антенн. Среди докладов по радиолокационной технике будут и работы отечественных ученых (например, Иммоарева, Федотова, Ивашова и др.) [15,16].

ЛИТЕРАТУРА

1. EDN Magazine, 2000, December 21, p. 85-92.
2. **James D. Taylor**. Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems. – CRC Press, 1995.
3. **Terrence W. Barrett**. History of Ultra-WideBand (UWB) Radar & Communications: Pioneers and Innovators. Progress in Electromagnetics Symposium (PIERS 2000). – Кембридж, Массачусетс, 2000, July.
4. **Имморева И.Я.** Сверхширокополосные радары: новые возможности, необычные проблемы, системные особенности. – Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение, 1998, №4.
5. **Глебович Г. В.** и др. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов. – М.: Радио и связь, 1984.
6. Science & Technology Review, UCRL-5200-96-1/2, 1996, January/February, 16-29.
7. www.lasers.llnl.gov/ (**John Warhus** et al. Imaging Radar for Bridge Deck Inspection)
8. **Nigel C. Davidson** et al. Initial Testing of Advanced Ground-Penetrating Radar Technology for the Inspection of Bridge Decks. – The HERMES and PERES Bridge Inspectors. – Federal Highway Administration.
9. **Nigel C. Davidson** et al. Radar Tomography of Bridgedecks. – Federal Highway Administration.
10. www.hermes.llnl.gov
11. www.llnl.gov/str/Azevedo.html
12. www.s2.chalmers.se/research/signal/
13. **R. J. Fontana** et al. An Ultra Wideband Synthetic Vision Sensor for Airborne Wire Detection. – Naval Surface Warfare Center.
14. PulsON Technology. Time Modulated Ultra-Wideband For Wireless Application, 2000 (www.timedomain.com)
15. www.uwbst2002.com/papers.htm
16. www.ece.ucsb.edu/gpr2002/
17. Assessment of Compatibility between UltraWideband (UWB) Systems and Global Positioning System (GPS) Receivers. – NTIA Special Publication-01-45, 2001, February.
18. CNET News.com, 2002, February 14.
19. www.multispectral.com/FCC%20Action.html
20. Пат.5805110 США. Приоритет 08.09.98