

УДК 621.396

Анализ некоторых особенностей биорадиолокации

А.П. Преображенский, Р.П. Корчагин

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия

В данной работе рассматриваются некоторые особенности биорадиолокации. Ее практическое использование основывается на принципах обнаружения людей за препятствиями при поисковых операциях. Сигналы, которые требуются для радиозондирования должны быть сверхширокополосными. В работе приведена схема радара, использующего такие сигналы. Обсуждаются основные особенности обнаружения объектов за препятствиями.

Ключевые слова: биорадиолокация, сверхширокополосный сигнал, препятствие, авария, обнаружение людей.

The analysis of some features of bioradiolocation

A.P. Preobrazhenskiy, R.P. Korchagin

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

This paper discusses some features of bioradiolocation. Its practical use is based on the principles of detecting people behind obstacles during search operations. The signals that are required for radio sounding must be ultra-wideband. The paper provides a diagram of a radar using such signals. The main features of detecting objects behind obstacles are discussed.

Keywords: bioradiolocation, ultra-wideband signal, obstacle, accident, human detection.

Если рассмотреть особенности различных катастроф и аварий, то анализ демонстрирует, что в течение последних лет можно наблюдать тенденцию повышения вероятности их возникновения [1]. Эффективность поисковых и спасательных работ на практике определяет возможности оперативного оказания помощи пострадавшим в различных зонах чрезвычайных ситуаций. Требуется, чтобы в случае возникновения ситуации, в которой кто-то оказался под завалами разрушенных зданий, он был своевременно найден в результате поисковых операций. Для этого в ходе разработок технических средств поиска могут быть полезны методы, базирующиеся на основе соответствующих физических подходов. В настоящее время можно наблюдать развитие такого направления, как биорадиолокация [2].

Целью данной работы является рассмотрение особенностей биорадиолокации, основных характеристик, которые в ней используются.

Маломощные радиолокаторы в ходе их проектирования должны учитывать различные физические принципы и законы [3, 4]. На базе подобных устройств можно осуществлять процессы бесконтактной диагностики характеристик различных технических и биологических объектов. При этом на практике радиолокаторы могут быть размещены за такими преградами, которые являются оптическим образом непрозрачными.

За препятствиями, которые возникают в ходе аварий на основе кирпича, бетона или армированного бетона, необходимо оперативным образом обнаруживать людей. Это весьма актуально, когда будут проводиться антитеррористические и спасательные операции.

Чтобы движение объектов было детектировано за преградами эффективным образом, требуется использовать сверхширокополосные (СШП) сигналы [5, 6].

Излучаемые импульсы имеют относительную полосу частот, которая превышает октаву, то есть, такие сигналы будут ультракороткими.

В условиях, когда от окружающих предметов существуют многократные переотражения, для СШП радара работа будет устойчивой. При этом за преградами для людей будет обеспечиваться высокая точность определения местоположения вследствие малой длительности сигналов.

Информацию о том, что человек находится за преградой, в случае, когда он неподвижен, можно получить на базе доплеровского смещения в частотах сигналов. Сигналы будут отражаться от перемещений грудной клетки, если будет дыхание и сокращения сердечной мышцы.

При этом на практике можно столкнуться с некоторыми проблемами. Если проводить сравнение СШП радаров с точки зрения их дальности действия, то они будут уступать узкополосным системам. Помимо этого, если применять СШП радиолокацию, то в ней для отраженных сигналов не всегда можно реализовать предсказание формы анализируемых объектов. Связано это с тем, что СШП сигнал испытывает изменение по форме во временной области и в частотной области, будут также изменения по спектральному составу.

Это ведет к тому, что в обычных системах обработки сигналов будет происходить снижение эффективности. В этой связи в качестве перспективной задачи можно рассматривать анализ использования оптимальной фильтрации [7] в ходе обработки эхосигналов, если необходимо осуществлять формирование структуры информационной системы и выбирать параметры, относящиеся к согласованным фильтрам.

Серия СШП импульсов излучается к интересующему объекту от передатчика. Происходит возврат к приемнику импульса, который отражен от объекта. При этом временной интервал соответствует времени, которое требуется для прямого и обратного хода сигнала. В информационной системе значения амплитуд отраженных сигналов, а также расстояния до объекта будут записываться в память.

При условиях, когда подавляется шум и происходит движение объектов, необходимо визуализировать сигнал. Тогда следует по огибающей сигнала применять положительную функцию. Квадратурный фильтр [8] дает возможности для ее определения.

Схема СШП-радаров приведена на рисунке. Пунктирной линией выделен сенсор. Используются следующие обозначения: УВЧ – усилитель высокой частоты, АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

Существуют алгоритмы, на основе которых можно найти толщину препятствия или значения его диэлектрической проницаемости. Тогда можно учесть, как влияют на параметры зондирующих сигналов характеристики препятствий.

Для того, чтобы в различных средах изучать особенности распространения излучения с короткими импульсами, во многих случаях можно опираться на одномерное преобразование Фурье. В ходе его использования по положению частотных составляющих не всегда можно получить информацию, которая соответствует функции спектральной плотности. С другой стороны, одномерное преобразование Фурье дает возможности для осуществления исследований, связанных с искажениями в форме сигналов, когда происходит их распространение внутри сред. При обработке радиосигналов с целью улучшения характеристик применяются окна Барлетта, Хемминга и Хана [9].

При обнаружении людей под завалами, если от них прослушивается ответ, в дальнейшем для пострадавшего уточняются координаты. Такой процесс является итеративным.

Результаты измерений на основе радиолокатора позволяют зафиксировать уровень сигнала. При этом среди посторонних шумов этот сигнал должен быть выделен оптимальным образом [10].

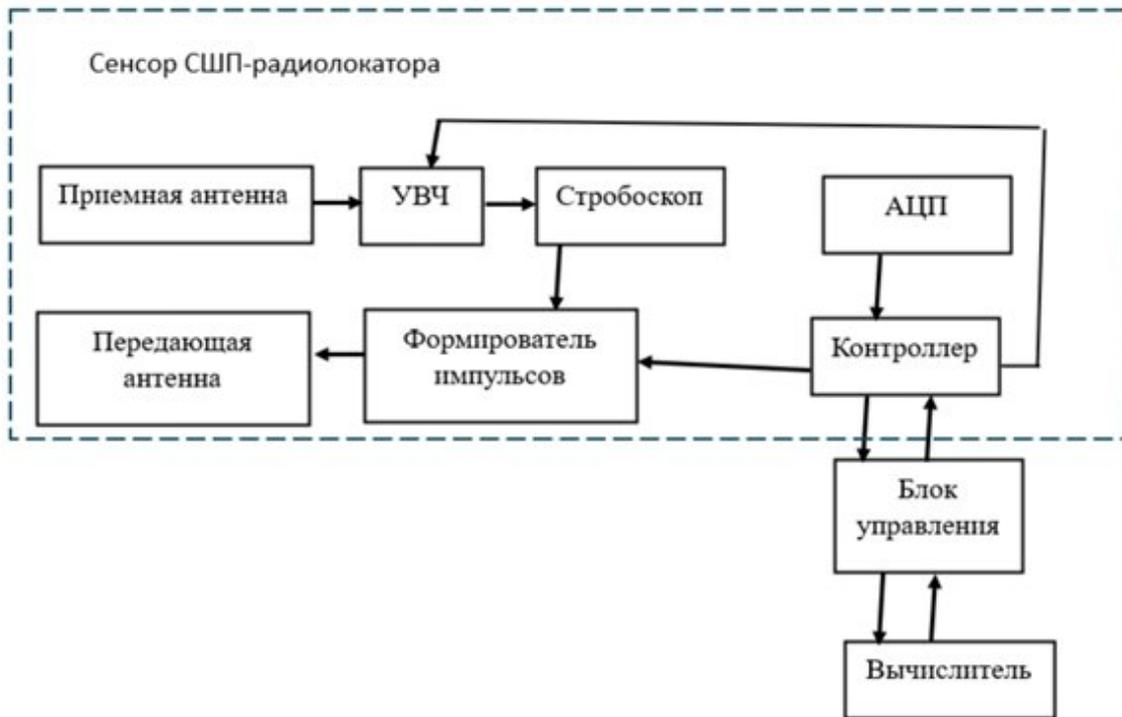


Рисунок. Основные компоненты, которые входят в состав СШП-радар

Это делается за счет того, что в нескольких равноотстоящих точках происходит запись и сравнение уровней сигналов, далее среди них выбирается точка с максимальным значением сигнала. Передатчик перемещается в эту точку и действия повторяются. В итоге, после определенного числа итераций будет определена та точка, в которой значение сигнала наибольшее. То есть, для пострадавшего будет определено то место, которое будет наиболее вероятным.

Для того, чтобы на основе источников радиоизлучения определять координаты объектов в ряде случаев представляет интерес применение разностно-дальномерного метода. При построении соответствующих технических систем, в которых такой метод реализован, требуется знать разности моментов прихода сигналов к разнесенным приемным устройствам. Тогда проводится измерение для сигнала значение кривизны волнового фронта. В таких случаях можно определять координаты объекта за препятствиями и дальность до него на основе антенн, размещенных коллинеарным образом, с учетом полученных трех задержек сигналов.

Две разнесенных антенны формируют антенную базу. Она используется в триангуляционном методе [11]. Тогда вычисляется дальность до источника излучения. Приемные устройства используются для измерения мощности или напряженности полей сигналов в радиально-базовом методе [12]. В таких случаях требуется применение, как минимум, двух приёмных устройств.

Приборы, предназначенные для поиска пострадавших в катастрофах людей, могут базироваться на различных физических принципах. От объекта отражаются сигналы электромагнитных волн, которые относятся к СВЧ диапазону. На этом основывается радиолокационный принцип [12].

В зоне поиска формируются температурные контрасты. Вследствие этого требуется обеспечивать улавливание возникающих слабых аномалий в электромагнитных излучениях. На этом основывается тепловой принцип [13].

Если конструкция содержит определенный объект, то для нее могут быть слабые механические колебания, которые требуется регистрировать. На этом базируется тензометрический принцип [14].

Если человек будет проникать внутрь охраняемого замкнутого пространства, то можно регистрировать изменения в частотах ультразвуковых колебаний. На этом основывается ультразвуковой принцип.

Если заваленные разрушенными материалами люди издадут постукивания, стоны и слабые крики, то их можно уловить. На этом базируется акустический принцип.

Существуют различные методы подповерхностной радиолокации, которые могут быть использованы для обнаружения живых людей, которые находятся за непрозрачными преградами.

В ряде случаев применяется радиолокация с гармоническим излучением. Когда зондирующие сигналы будут отражаться от подвижных границ, которые соответствуют грудной клетке, в таких сигналах фаза будет меняться. Это на основе соответствующих технических средств можно зафиксировать.

Можно сформировать предложения по созданию алгоритма, на основе которого под землей происходит обнаружение объектов, когда обрабатываются результаты георадиолокации [15].

На первом этапе происходит формирование радиограммы. Она создается на основе того, что приемная антенна регистрирует вертикальным образом состыкованные трассы. Радиограмма создается как изображение.

Второй этап связан с тем, что осуществляется процесс фильтрации по высокочастотным помехам. Для них частоты будут больше, чем максимальная частота в спектре полезного сигнала.

При обработке радиограммы требуется учитывать возможности для того, чтобы усиливать контраст в изображении. Еще один этап связан с тем, что отфильтровываются случайные помехи и шумы. Для этого можно опираться на медианную фильтрацию, винеровскую фильтрацию [16].

Радиолокационные системы, базирующиеся на нелинейных эффектах, во многих случаях применяются для того, чтобы вести обнаружение замаскированных объектов. Основная идея в них связана с тем, что информационные сигналы будут приниматься на гармониках зондирующих радиоволн. Полупроводниковые компоненты, которые входят в состав радиоэлектронных средств рассматриваются как источники вторичного излучения полей на гармониках. Помимо этого, излучение происходит от контактов «металл-диэлектрик-металл», которые имеют нелинейные вольтамперные характеристики, различных заклепок и сварных швов. Люди при себе могут иметь предметы, в которых есть контакт «металл-диэлектрик». Это может быть, например, авторучка или ключи.

Активным методом, дающим возможности для обнаружения объектов, является параметрическая локация [17]. Тогда за счет облучения объектов дополнительным возбуждающим полем, происходит изменение в параметрах зондирующего поля. Это реализуется за счет существования дополнительного облучения по исследуемому пространству, помимо того, что есть основное зондирующее поле.

Между падающим полем и тем, которое рассеяно объектом, существуют различия в таких параметрах, как поляризации, частоте, фазе и амплитуде. Могут быть изменения в параметрах облучаемого объекта с учетом пространства и времени вследствие наличия

дополнительного возбуждающего поля. Характеристики возбуждающего поля будут оказывать влияние на закон изменения параметров.

Для того, чтобы определять возбуждение нелинейных контактов, которые находятся на интересующем объекте, требуется формирование поисковой системы. Ее можно создать на основе применения эффекта кроссмодуляции, или на базе регистрации комбинационных частот второго порядка. Важно, чтобы какой-то среди сигналов, падающий на объект, значительным образом превосходил другой сигнал. Малоразмерные объекты могут быть обнаружены на дальностях в пределах от десятков метров до десятков сантиметров.

Спектр собственных частот может быть использован для идентификации объектов. Для этого применяется Е-импульс [18]. Он является немонахроматическим сигналом, имеющим специальную форму. Когда он падает на произвольный объект, то в отраженном сигнале можно наблюдать собственные колебания. В тех случаях, когда будет совпадение объекта с тестовым объектом, на который осуществлена настройка, будет происходить компенсация таких собственных колебаний. На указанном свойстве основан принцип классификации объектов.

Среди СШП и широкополосных радаров можно отметить преимущества, связанные с тем, что есть возможности для однозначного измерения с учетом высокого разрешения по дальности анализируемых объектов. Кроме того, они характеризуются хорошими свойствами электромагнитной совместимости, скрытности, помехоустойчивости.

С другой стороны, полезный сигнал будет маскироваться, что можно рассматривать в качестве недостатка в шумовых радаров. Недостатком шумовых радаров является маскирование полезного сигнала. Это связано с тем, что для определенного элемента дальности будет совпадение шумового фона сигналов и полезного сигнала объекта.

В качестве перспективного направления, которое следует развивать в ходе обнаружения людей за препятствиями, можно указать разработку моделей, на основе которых будут описываться люди. Например, можно уточнять модель «блестящих точек». С другой стороны, человек на основе метода декомпозиции может представляться в виде совокупности различных диэлектрических тел (цилиндры, шары, эллипсоиды и др.). В таких случаях необходимо как можно более точно дать оценку рассеянных полей, которые будут использоваться для построения радиоизображения.

Заключение. Проведенный анализ позволил определить основные характеристики, которые используются в биорадиолокации. Дано описание основных составляющих СШП-радаров. Обсуждены преобразования, которым подвергается сигнал при распространении от передатчика к объекту и обратно. Даны предложения по развитию моделей людей за препятствиями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Акимов В.А. Глобальные и национальные приоритеты снижения риска бедствий и катастроф / В.А. Акимов, Ю.И. Соколов, И.В. Сосунов. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2016. – 396 с.
2. Дистанционное определение параметров пульса и дыхания [Электронный ресурс] // Лаборатория дистанционного зондирования RSLab. – URL: <https://www.rslab.ru/russian/project/brl/> (дата обращения: 27.08.2024).
3. Применение георадара для обнаружения людей под завалами [Электронный ресурс] // Хабр. – URL: <https://habr.com/ru/articles/798809/> (дата обращения: 27.08.2024).

4. Система поиска людей под завалами [Электронный ресурс] // ИТ-Индустрия. – URL: <https://www.it-ind.ru/info/articles/press-tsentr/sistema-poiska-lyudey-pod-zavalami/> (дата обращения: 27.08.2024).
5. Вопросы подповерхностной радиолокации / А.В. Андриянов [и др.]. – Москва: Радиотехника, 2005. – 416 с.
6. Никонов А.В. Формирование сверхширокополосных сигналов с управляемой формой / А.В. Никонов, Г.В. Никонова // Научное приборостроение. – 2013. – Т. 23. – № 3. – С. 105-113.
7. Ivanov M.P. Optimal signal filtering by rms error minimum for a channel with random parameters / M.P. Ivanov, V.V. Kashinov // Avtometriya. – 2001. – No. 6. – pp. 62-68.
8. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. / Р. Лайонс. – Москва: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.
9. Ревтович П.И. Характеристики наиболее распространенных весовых функций в задачах ЦОС / П.И. Ревтович // Инфокоммуникации: сборник тезисов докладов 58-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 18–22 апреля 2022 года. – Минск: БГУИР, 2022. – С. 133-135.
10. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем / А.И. Перов. – Москва: Радиотехника, 2003. – 398 с.
11. Скворцов А.В. Алгоритмы построения и анализа триангуляции / А.В. Скворцов, Н.С. Мирза. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 168 с.
12. Ботов М.И. Основы теории радиолокационных систем и комплексов / М.И. Ботов, В.А. Вяхирев. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. – 530 с.
13. Нестерук Д.А. Тепловой контроль и диагностика / Д.А. Нестерук, В.П. Вавилов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 111 с.
14. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций / В.А. Мехеда. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
15. Владов М.Л. Введение в георадиолокацию / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. – Москва: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
16. Алыков А.Н. Разработка алгоритма для обработки результатов георадиолокации с целью обнаружения объектов под землей / А.Н. Алыков // Вестник науки и образования. – 2017. – Т. 1. – № 6 (30). – С. 18-21.
17. Щербаков Г.Н. Параметрическая локация – новый метод обнаружения скрытых объектов / Г.Н. Щербаков // Специальная Техника. – 2000. – № 4. – С. 52-57.
18. Артюков И.А. Плотность энергии и спектр электромагнитных импульсов с одним и менее периодами поля / И.А. Артюков, А.В. Виноградов, Н.В. Дьячков, Р.М. Фещенко // Квантовая электроника. – 2020. – Т. 50. – № 2. – С. 187-194.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: app@vvt.ru

Корчагин Родион Павлович, аспирант, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: RedMan1955@yandex.ru