

11. *Зиновьев П.А., Моисеев В.С., Мейко А.В.* Модели для оценки надежности архитектурных решений корпоративных систем хранения данных // Исследования по информатике. – Казань: Отечество, 2005. Вып. 9. – С. 93 – 102.

**Михеев Вячеслав Алексеевич**

Открытое акционерное общество «Концерн радиостроения “Вега”».  
E-mail: mikheev@vega.su.  
121170, г. Москва, Кутузовский проспект, 34.  
Тел.: 8 (499) 2490585.  
Заместитель директора.

**Mikheev Viatcheslav Alekseevich**

Joint-Stock Company «Radio Engineering Corporation “VEGA”».  
E-mail: mikheev@vega.su.  
34, Kutuzov avenue, Moscow, 121170, Russia.  
Phone: 8 (499) 2490585.  
The deputy director.

УДК 530.1:537.86

**И.И. Маркович, В.Ю. Дорошенко**

**ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ БИООБЪЕКТОВ ЗА ПРЕПЯТСТВИЯМИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМ РАДАРМ**

*Рассматриваются алгоритмы цифровой обработки сверхширокополосных сигналов в радарх для обнаружения биологических объектов за препятствиями. Представлены результаты экспериментальных исследований возможности обнаружения объектов за препятствиями из кирпича, бетона, армированного бетона.*

*Сенсорная сеть; сверхширокополосные сигналы; обнаружение биологических объектов за препятствиями; СШП-радиолокаторы; цифровая обработка сигналов; алгоритмы цифровой высокочастотной фильтрации.*

**I.I. Markovich, V.U. Doroshenko**

**ANALYSIS OF ALGORITHMS DETECT ION BIOLOGICAL OBJECT AFTER OBSTACLES OF ULTRA BANDWIDTH RADAR**

*This article is devoted to digital signal processing algorithms of UWB radar signals for detection of biological object after obstacles. Presented are the experimental research results possibilities to detect biological objects after bricks, concrete and reinforced concrete obstacles.*

*Net of sensor; ultra bandwidth signal; detection of biological object after obstacles; UWB radar systems; digital signal processing; high-frequency filtration algorithms.*

Проблема оперативного обнаружения людей за препятствиями из кирпича, бетона или армированного бетона становится особенно актуальной при проведении спасательных и антитеррористических операций. Создание сверхширокополосных (СШП) радаров, предназначенных для обнаружения биологических объек-

тов за препятствиями, является сложной научной задачей, обладающей высокой практической значимостью.

Для исследования возможности обнаружения биообъектов за препятствиями применялся СШП-радар, состоящий из сенсора, блока управления и многофункционального вычислительного средства. Структурная схема радара представлена на рис. 1.

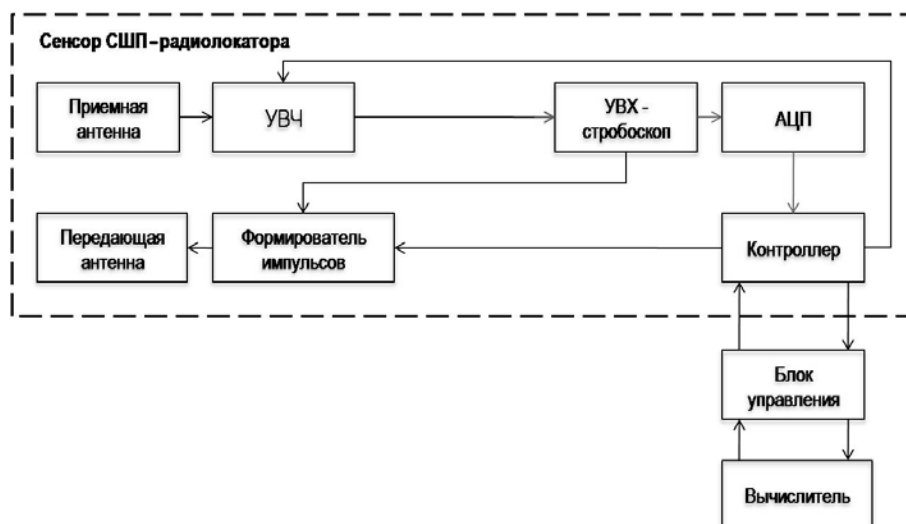


Рис. 1. Структурная схема СШП-радара

Сенсор обеспечивает формирование и излучение зондирующих сигналов, приём и обработку отражённых сигналов. Полученные реализации сигнала поступают в тракт вторичной обработки, реализованный на базе многофункционального вычислительного средства.

В состав сенсора входят: приёмная и передающая антенны, усилитель высокой частоты (УВЧ), формирователь зондирующих сигналов вида «моноцикл Гаусса», устройство выборки и хранения (УВХ), аналого-цифровой преобразователь с малозумящим усилителем, аппаратный контроллер, предназначенный для управления режимами работы сенсора и передачи данных в тракт вторичной обработки. Питание сенсора автономное.

УВХ и АЦП с малозумящим усилителем реализуют аналого-цифровое преобразование с использованием стробоскопического эффекта. В результате такого преобразования импульсного сигнала длительностью (0,6–1,0) нс, следующего с частотой повторения, равной 400 кГц, удается получить эквивалентную частоту дискретизации входного повторяющегося сигнала порядка 20 ГГц.

Контроллер управляет переключением режимов прием/передача и обеспечивает обмен данными между сенсором и многофункциональным портативным вычислительным средством.

Дальнейшая обработка информации осуществляется в вычислителе в соответствии с разработанными алгоритмами с последующим отображением и документированием результатов обработки информации. Основными процедурами обработки являлись межпериодное вычитание сигналов, вычисление среднего и дисперсии сигналов по ансамблю из 2000 реализаций.

Исследования показали, что вид и параметры спектра зондирующего СШП-сигнала сильно изменяются при распространении в поглощающих средах. При малых отношениях сигнал/шум обнаружение биообъектов за стенами невозможно без накопления информации. Для независимых реализаций увеличение отношения сигнал/помеха по напряжению должно происходить по закону  $\sqrt{N}$ , где  $N$  – число накапливаемых реализаций. Однако в действительности эта закономерность не выполняется вследствие имеющихся аппаратных помех.

При проведении исследований учитывалось, что в реальных условиях нет априорной информации о толщине препятствия и ее электродинамических характеристиках, и, следовательно, принципиально невозможно создать фильтр, который был бы согласован с эхо-сигналом во всем диапазоне изменения внешних факторов.

Для учета влияния препятствия на параметры зондирующих сигналов разработаны алгоритмы определения диэлектрической проницаемости препятствия или его толщины, вычисления скользящего порога для автоматического обнаружения сигнала, синтеза эталонного сигнала для согласованной фильтрации. Идея таких измерений заключается в измерении проницаемости по отраженным от препятствия в обратном направлении сигналам [2]. Анализируя начальный участок принимаемой реализации, удается определить запаздывание сигналов, отраженных границами препятствия, и рассчитать диэлектрическую проницаемость при известной толщине препятствия. Измеренное значение проницаемости железобетонной стены толщиной 300 мм составляет 4,37 при дисперсии измерений проницаемости  $\sigma_{\epsilon} = 9 \cdot 10^{-3}$ .

В качестве физических моделей биообъектов применялись искусственные эквиваленты биообъектов – отражатели. Такие эквиваленты биообъектов обладают гарантированными характеристиками отражения для количественной интерпретации результатов измерений и рассматривались как эталонные.

В ряде случаев необходимо обеспечить обнаружение характерных эхосигналов от людей с металлическими предметами вытянутой формы. Поэтому в качестве эквивалентов биообъектов выбраны сфера и «тонкий» цилиндр из хорошо проводящих материалов. Такой выбор обоснован тем, что сфера, как известно, представляет собой изотропный и частотно-независимый отражатель, а тонкий цилиндр, наоборот, представляет собой существенно анизотропный отражатель, эффективная поверхность рассеивания которого резко зависит от направления электрического вектора поля относительно оси цилиндра. На рис. 2 и 3 представлены результаты исследований при горизонтальной и вертикальной поляризации излучения.

При исследовании алгоритмов высокочастотной фильтрации в качестве объектов обнаружения выступили добровольцы из числа сотрудников НКБ ЦОС ЮФУ.

По задачам испытаний экспериментальные исследования разделены на две группы:

- эксперименты, предназначенные для определения (проверки) метрологических и других характеристик приборов и оборудования, применяемых при экспериментах. В них создавалась сигнально-помеховая обстановка, которая была бы не менее неблагоприятной, чем та, в которой должен работать радар;

- эксперименты, предназначенные для получения информации о влиянии на характеристики сигналов и эффективность их обработки тех факторов, действие которых трудно количественно предсказать теоретически с достаточной точностью.

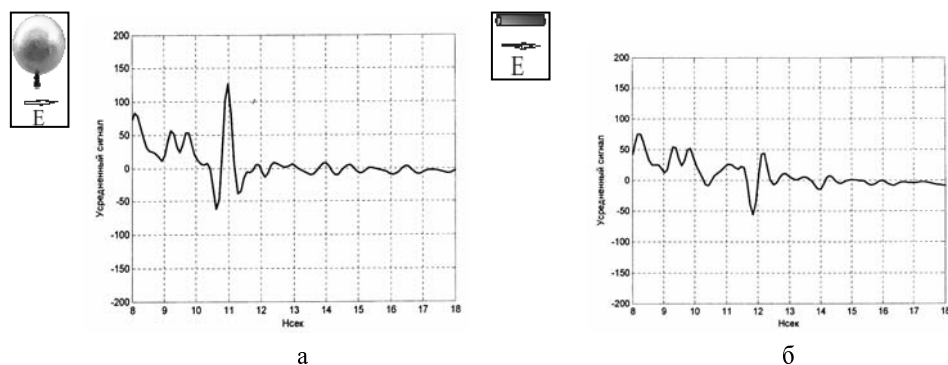


Рис. 2. Реализации сигналов, отраженных объектами при горизонтальной поляризации: а – сфера, б – цилиндр в горизонтальном положении

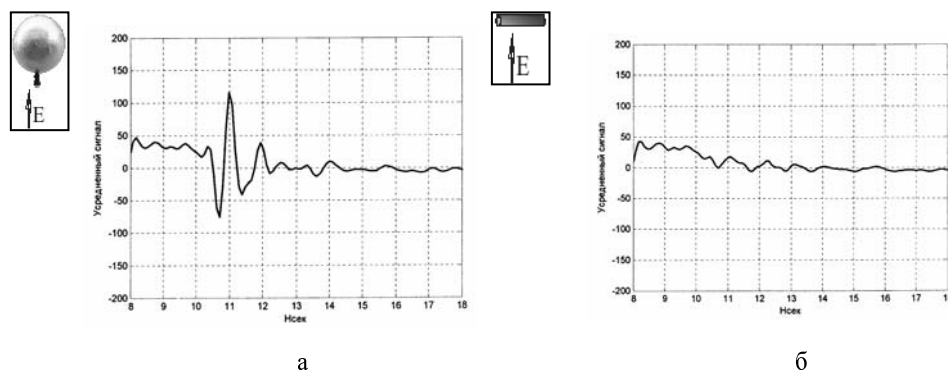


Рис. 3. Реализации сигналов, отраженных объектами при вертикальной поляризации: а – сфера, б – цилиндр в горизонтальном положении

Исследованы следующие вопросы: калибровка сигналов по эталонным отражателям, алгоритм межпериодного вычитания, алгоритм обнаружения объектов по всплеску дисперсии.

Экспериментально установлено, что имеющиеся в аппаратуре собственные помехи оказывают слабое влияние на качество обнаружения объектов по «всплеску» дисперсии. Поэтому оказывается, что не видимые на фоне этих помех объекты, совершающие микродвижения, хорошо видны на изображениях, подвергнутых обработке в соответствии с алгоритмами, упомянутыми выше. Алгоритм межпериодного вычитания также оказался устойчивым к воздействию аппаратных помех. На рис. 4 представлены результаты обработки сигналов по 2000 реализациям, отраженных перемещающимся объектом: а – результаты вычисления среднего по ансамблю, б – результаты межпериодного вычитания принимаемых сигналов, в – результаты вычисления дисперсии по ансамблю. В результате исследований выделены признаки (изменение дисперсии при межпериодной обработке, появление локальных максимумов при межпериодном вычитании), обеспечивающие возможность различения объектов неживой природы от неподвижных биообъектов. Показана принципиальная возможность уменьшения помех от паразитных

отражений и повышения вероятности обнаружения предметов специальной формы посредством подбора направления электрического вектора поля.

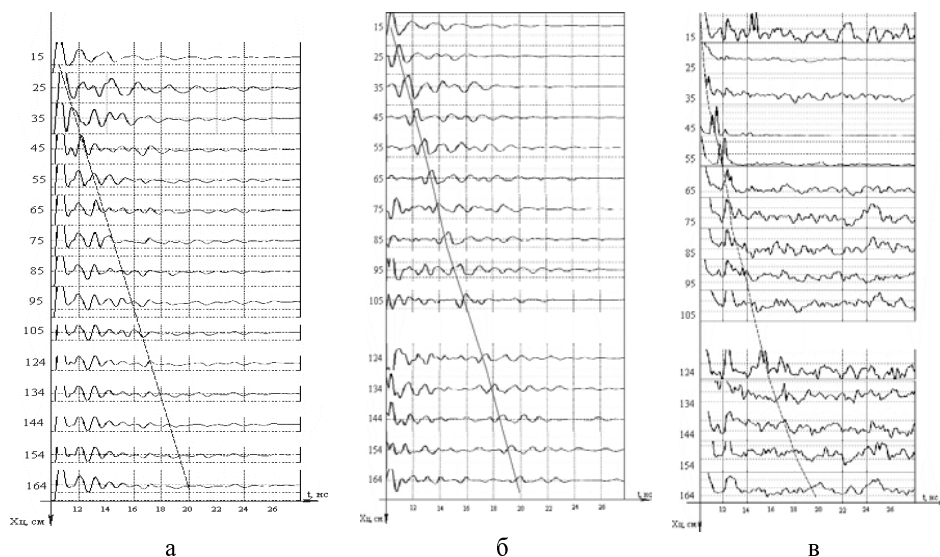


Рис. 4. Применение межпериодной обработки сигналов: а – накопление сигналов; б – межпериодное вычитание; в – дисперсия по ансамблю

На рис. 5 представлена радарограмма помещения, в котором человек перемещается по диагонали из ближнего угла в дальний и обратно. Вертикальная шкала соответствует времени распространения импульса (дистанции), горизонтальная шкала отображает номер обработанной реализации.

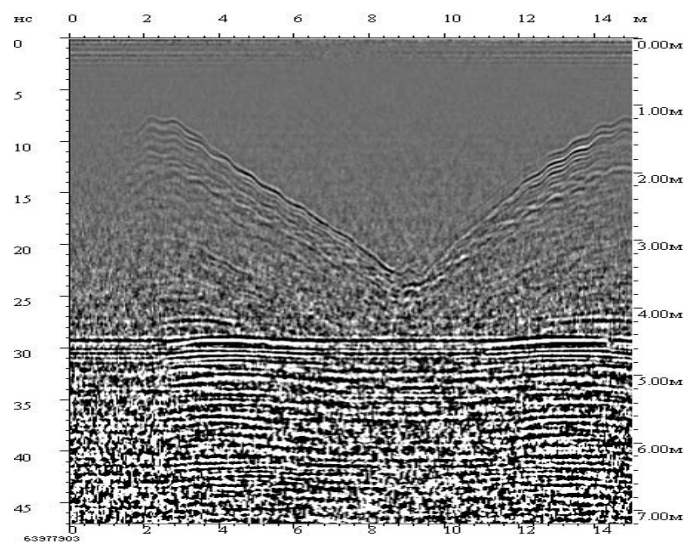


Рис. 5. Радарограмма помещения с движущимся человеком

Благодаря цифровой фильтрации, перемещения человека, наблюдаемые за кирпичной стеной с помощью СШП-радар, отчетливо видны на фоне шумов.

Экспериментальная проверка основных процедур алгоритмов цифровой высокочастотной фильтрации показала целесообразность их дальнейшего исследования и использования при решении задачи обнаружения биообъектов за препятствиями.

Эксперименты показали, что уверенное обнаружение человека за препятствием с помощью созданного макета СШП-радиолокатора и разработанного программного обеспечения возможно на дистанциях порядка 5-6 м. Увеличение дальности обнаружения требует повышения энергии излучения сенсора.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Маркович И.И., Семеняк П.Л., Дорошенко В.Ю., Кочкин В.В., Мардамышин Ю.П.* Применение цифровой обработки сигналов в задаче обнаружения биообъектов // Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы-2007: Материалы Международной научно-практической конференции. – Таганрог, 2007. – С. 191 – 196.

2. *Черниковская Г.Л., Дорошенко В.Ю.* Способ уменьшения погрешности определения координат при локации биообъектов за препятствиями // Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред: Материалы конференции. – Муром, 2009.

#### **Маркович Игорь Ильич**

Научно-конструкторское бюро цифровой обработки сигналов Южного федерального университета.

E-mail: marko@tsure.ru.

347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2.

Тел. 8 (8634) 312-950.

Директор-главный конструктор.

#### **Markovich Igor Ilich**

Scientifically design department of digital signal processing of South Federal University.

E-mail: marko@tsure.ru.

2, Shevchenko str., Taganrog, 347922, Russia.

Phone: 8 (8634) 312-950.

Director-chief designer.

#### **Дорошенко Вячеслав Юрьевич**

Научно-конструкторское бюро цифровой обработки сигналов Южного федерального университета.

E-mail: dsp@tsure.ru.

347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2.

Тел.: 8 (8634) 312-350.

Главный специалист.

#### **Doroshenko Vyacheslav Urevich**

Scientifically design department of digital signal processing of South Federal University

2, Shevchenko str., Taganrog, 347922, Russia.

E-Mail: dsp@tsure.ru.

Phone: 8 (8634) 312-350.

Chief specialist.