

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ С ОРТОГОНАЛЬНЫМИ ПОЛЯРИЗАЦИЯМИ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ НАХОДЯЩИХСЯ ЗА ПРЕГРАДОЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Маджд Абдулла,

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия, majd.tameem.abdallah@gmail.com

Казаков Леонид Николаевич,

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия, kazakov@uniyar.ac.ru

Силантьев Александр Борисович,

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия, silantiev@mail.ru

DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-10-19-27

Manuscript received 21 July 2022;

Accepted 20 September 2022

Ключевые слова: многоканальной радар (MIMO); сигнал с ортогональной поляризацией, обнаружение биологических объектов, обнаружение дыхания; зондирование сквозь преграду

В последние десятилетия наметился большой интерес к использованию методов сверхширокополосной (СШП) радиолокации для обнаружения живых биологических объектов, скрытых за различными преградами. Широкая полоса частот СШП зондирующего излучения позволяет обеспечить высокую проникающую способность наряду с пространственным разрешением, достаточным для обнаружения колебаний, характерных для дыхания живого организма. В данной статье рассматривается модель сверхширокополосного радара для обнаружения живого биологического объекта, находящегося за оптически непрозрачной преградой. В радиолокаторе в составе двух каналов, каждый из которых имеет две независимые антенны с ортогональными поляризациями, может быть реализована обработка ортогонально поляризационных эхо-сигналов. Предлагается метод для повышения информативности за счет использования амплитудных, фазовых и поляризационных характеристик отражённых сигналов. Это осуществляется с целью выделения сигналов, отраженных от биологических объектов на фоне мешающих отражений. Использование предлагаемого метода приводит к сокращению объема обрабатываемых данных и уменьшению вероятности ложного обнаружения.

Информация об авторах:

Маджд Абдулла, аспирант кафедры радиотехнических систем, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

Казаков Леонид Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой радиотехнических систем, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

Силантьев Александр Борисович, к.т.н., доцент, профессор кафедры радиотехнических систем, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

Для цитирования:

Маджд Абдулла, Казаков Л.Н., Силантьев А.Б. Использование радиолокационных сигналов с ортогональными поляризациями в задаче обнаружения находящихся за преградой биологических объектов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Том 16. №10. С. 19-27.

For citation:

Majd Abdullah, Kazakov L.N., Silantiev A.B. (2022) Frequency synthesizers modernization of VHF radio communication. T-Comm, vol. 16, no.10, pp. 19-27. (in Russian)

Введение

В последние десятилетия наметился большой интерес к использованию методов сверхширокополосной (СШП) радиолокации для обнаружения живых биологических объектов. Известны преимущества использования СШП-сигналов. Широкая полоса частот СШП зондирующего излучения позволяет обеспечить высокую проникающую способность наряду с пространственным разрешением, достаточным для обнаружения колебаний, характерных для дыхания живого организма [1].

Однако для корректного решения задачи восстановления радиоизображения и обнаружения характерных колебаний, обусловленных дыханием, требуется дополнительное повышение информативности перспективных СШП радиолокационных систем. Оно может быть достигнуто за счёт разработки и использования специальной аппаратной компоненты, позволяющей реализовать концепцию разностороннего (много-ракурсного) зондирования [2], полной поляриметрической обработки [3, 5], использования перестраиваемой частоты [6] и т.д.

Концепция разностороннего (много-ракурсного) зондирования реализуется при использовании большого количества приёмных антенн, разнесённых в пространстве. Необходимые для реализации таких систем условия достаточно сложно создать на практике. Для обнаружения биологических объектов предлагается разработать и реализовать другие методы и технические решения, такие как технологии синтеза антенной апертуры (SAR) или многоканальных систем (MIMO) [7, 13].

Радар SAR состоит из одного передатчика и одного приёмника. В процессе работы одна или обе антенны перемещаются параллельно сканируемому объекту. Радар обеспечивает высокое пространственное разрешение. Однако, это может потребовать увеличения времени для сбора и обработки данных [7].

MIMO является ключевой технологией для создания радаров высокого пространственного разрешения и предполагает использование множества антенн. Преимущество такой системы состоит в том, что радар MIMO в составе M передатчиков и N приёмников оказывается эквивалентен радару, состоящему из $M \times N$ приёмников [8].

Использование MIMO-радаров для обнаружения живых объектов, находящихся за преградой достаточно хорошо исследовано [9, 10, 13]. Так, в [9, 10] рассматривается MIMO СШП радар с антенной решеткой из 13×8 элементов и обсуждаются различные методы для последующего восстановления радиолокационного изображения. В [13] исследуется MIMO-радар с антенной решеткой размером 1×5 . Предлагаемый радар способен эффективно отображать местоположение нескольких человек за бетонной стеной толщиной 10 см с погрешностью определения дальности и поперечных размеров 4% и 10% соответственно. Однако, из-за большого объема получаемых данных требуется не менее 6 минут для получения и отображения результата.

Рассмотренные технические решения имеют недостаточную практическую значимость вследствие сложности структуры и необходимости длительной обработки данных. Целесообразно использовать более рациональный и упрощенный подход для сокращения объема обрабатываемых данных. Эффективность подхода зависит от интенсивности сигнала, от-

ражённого от живого объекта, и успешного подавления фоновых сигналов на основе использования поляризационных характеристик биологических объектов [11].

В данной статье для обнаружения биологического объекта (БО), находящегося за оптически непрозрачной преградой, предлагается метод повышения информативности за счет использования амплитудных, фазовых и поляризационных характеристик отражённых сигналов. В исследуемом MIMO-радаре используются поляризационные антенны, работающие в частотном диапазоне X [~ 10 ГГц]. Алгоритм обработки использует поляризационные различия между объектом и фоном для последующего подавления фона и мешающих сигналов, что приводит к уменьшению объема обрабатываемых на последующие этапы данных.

Принцип обнаружения биологических объектов

Будем полагать, что БО отличается от обычного радиолокационного объекта наличием колебаний, характерных для дыхания живых организмов. Даже в случаях, когда БО неподвижен или расположен за преградой, судить о его наличии можно на основе обнаружения движения грудной клетки или брюшной полости [2]. Поскольку дыхание живых организмов различается, то для определения типа БО требуется знание параметров колебаний, характерных для каждого потенциально наблюдаемого живого объекта.

В данном эксперименте в качестве радиолокационной цели исследовался человеческий организм, частота дыхательных движений которого составляет 12-18 колебаний за минуту (дыхание с частотой от 0,2 до 0,3 Гц) и со смещением от 0,5 до 3 см для взрослого человека [15].

При использовании радиолокатора для зондирования через преграду и обнаружения человеческого организма, полагалось, что радиолокационный сигнал, излучаемый передатчиком Tx, проникает через стену, облучает человеческий объект, отражается и возвращается к приёмнику Rx (рис. 1).

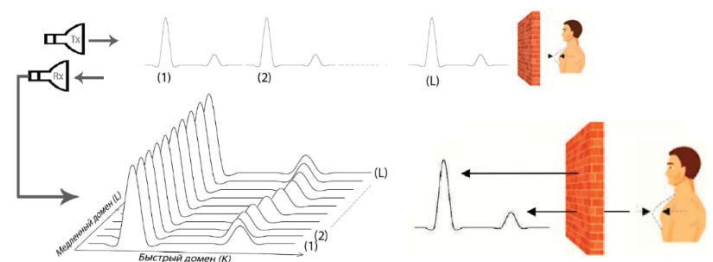


Рис. 1. Принцип получения отражённых импульсов и формирования дальностно-временного портрета

Передатчик РЛС отправляет последовательность импульсов. В канале приёма эхо-сигналы оцифровываются и представляются в виде двумерной матрицы. В полученной матрице, называемой также дальностно-временным портретом, оказывается записанная последовательность отраженных импульсов. При этом строка матрицы характеризует дальность (быстрый домен), а столбец – изменения во времени (медленный домен). Примерный результат представлен на (рис. 1).

В общем случае сигнал $R_n(t, \tau)$, полученный в n -ом приёмнике, формируется в результате суммирования много-

лучевых отраженных сигналов от различных объектов с временной задержкой, а именно:

$$R_n(t, \tau) = \sum_s \sigma_s s(t - t_s) + \sum_{ns} \sigma_{ns} s(t - t_{ns}(\tau)) + \sum_h \sigma_h s(t - t_h(\tau)). \quad (1)$$

В выражении (1) интенсивности $\sigma_s, \sigma_{ns}, \sigma_h$ характеризуют сигналы от стационарных, нестационарных и биологических объектов соответственно, принимаемый сигнал $s(t - t_n)$ по форме соответствует передаваемому с определенным временным сдвигом, t и τ – отсчеты времени для быстрого и медленного доменов. Сигнал $\sigma_h s(t - t_h(\tau))$, характеризующий перемещения грудной клетки, соответствует моменту времени $t_h(\tau)$ и зависит также от амплитуды и частоты дыхания

$$t_h(\tau) = \frac{2}{c} (y_0 + m_r \sin(2\pi f_r \tau)). \quad (2)$$

Здесь m_r и f_r – амплитуда и частота дыхания, c – скорость света, $\epsilon_{стена}$ – диэлектрическая проницаемость материала стены, y_0 – удаление (по оси y) БО от радара

$$y_0 = d_{радар} + d_{стена} \sqrt{\epsilon_{стена}} + d_{человек}. \quad (3)$$

Поскольку отраженные сигналы сохраняются и обрабатываются радаром в дискретном виде, полученные уравнения также удобно представить в дискретном времени. В результате $R_n[k, l]$ запишем в виде:

$$R_n[k, l] = h_n[k, l] + c_n[k, l] + w_n[k, l] + q_n[k, l]. \quad (4)$$

В выражении (4) сигналы h_n, c_n, w_n и q_n характеризуют дыхание БО, статический сигнал, белый шум и нестатический сигнал соответственно, k – номер дискреты в быстром домене, состоящем из K отсчетов, а l – номер дискреты медленного домена в составе L отсчетов.

Эхо-сигналы медленного домена, отражённый от БО, имеют периодический характер, характеризующий жизненные признаки вследствие дыхания и движения грудной клетки (рис. 2).

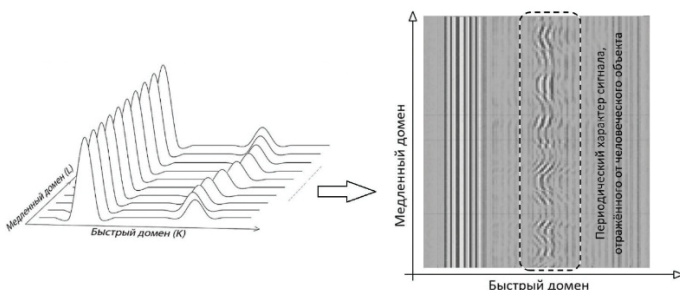


Рис. 2. Периодический характер сигнала, отражённого от БО в медленном домене

Это позволяет судить о наличии живого человеческого организма путем обнаружения изменений периодического характера в медленном домене эхо-сигнала.

Этапы обработки сигналов

Алгоритмы, используемые для обнаружения БО, находящегося за преградой, не всегда доступны для анализа, так как часто принадлежат конкретным авторам или корпорациям и являются защищенными «ноу-хау». В то же время известен общий метод обработки радиолокационной информации, состоящий из этапов: удаление нежелательных сигналов, подавление шума, обнаружение изменений периодического характера в полученных эхо-сигналах, последующее восстановление радиоизображения [13, 14]. В данной работе также были реализованы эти общие этапы, когда обнаружение дыхания БО осуществлялось на основе восстановления фазовой структуры и поиска периодических изменений, соответствующих движению грудной клетки. Основные этапы обработки представлены на рисунке 3.

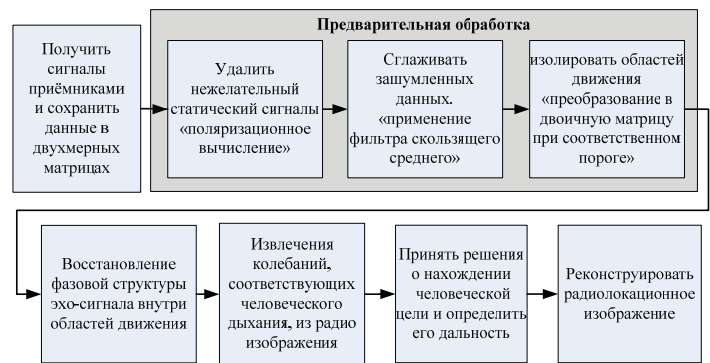


Рис. 3. Блок-схема обработки данных при обнаружении БО, находящихся за преградой

Уникальность предлагаемого алгоритма заключается в том, что эхо-сигнал подлежит предварительной обработке для удаления сигналов, обусловленных отражениями от неподвижных объектов (в том числе находящихся за преградой). Это позволило выделить и изолировать области, содержащие движущиеся и изменяющиеся объекты. Таким образом, обнаружение дыхания осуществлялось только в определённых областях, а не во всем пространстве дальностно-временной портрет, что уменьшало объём данных в последующих этапах обработки и снижало вероятность ложного обнаружения.

Предварительная обработка. Результаты исследований, представленные в [16], показывают, что человеческое тело отражает радиолокационные волны с неравномерной мощностью для составляющих сигнала вертикальной и горизонтальной поляризации. Результирующий сигнал можно представить в виде комбинации составляющих, полученных с учетом коэффициентов (α, β) в виде

$$\hat{y}_n[k, l] = \cos(\theta) \cdot (\alpha \cdot y_n[k, l]) + \sin(\theta) \cdot (\beta \cdot y_n[k, l]), \quad (5)$$

где α, β – полярные коэффициенты, θ – угол, характеризующий поляризацию принимаемого сигнала.

В случае неподвижных объектов, таких как преграда, расположенная между радаром и исследуемым БО, параметры (α, β, θ) являются константными величинами для определённой частоты.

Для человеческого организма величины (α, β, θ) зависят от положения и особенностей фигуры человека. Таким образом, вычисление параметров (α, β, θ) на практике является сложной задачей, особенно для нашей ситуации, когда исследуемый БО совершает непрерывные движения, вызванные дыханием.

В конечном счёте, можно полагать, что БО отражает сигнал в виде поляризационного шума, с учетом этого определяется метод подавления статических сигналов $s[k, l]$. При этом методе алгоритм вычисляет константы (α, β, θ) , используя данные первого отраженного импульса. Результирующая сумма сигналов вычисляется после вычитания горизонтальной и вертикальной составляющих с учетом умножения их на соответствующие коэффициенты (α, β) :

$$\begin{aligned} h_n[k, l] + w_n[k, l] + q_n[k, l] = \\ = \cos(\theta) \cdot (\alpha \cdot y_n[k, l]) - \sin(\theta) \cdot (\beta \cdot y_n[k, l]). \end{aligned} \quad (6)$$

В результате получается сигнал, содержащий только составляющие, характеризующие движения тела. На дальностно-временном портрете этот сигнал проявляется в виде прерывистого шума. Применение фильтра «скользящего среднего» для области «медленного времени» позволяет сгладить отдельные шумовые выбросы. Результат проявляется в виде некоторой тени, покрывающей области движения, в то время как рассеянный шум $w[k, l]$ может практически исчезать после применения фильтра. Окончательное преобразование при соответственном пороге (Th) позволяет сформировать «матрицу маски»

$$M[K, l] = \begin{cases} 0 & \text{когда } \hat{y}[K, l] < Th \\ 1 & \text{когда } \hat{y}[K, l] > Th \end{cases} \quad \text{где } Th = 0.03 \max(\hat{y}[K, l]). \quad (7)$$

С помощью матрицы можно выделить области, обусловленные как перемещением БО, так и движениями, вызванными дыханием. Матрица $M[K, l]$ определяет области движения, последующее восстановление фазы сигнала происходит только внутри этих областей. Результирующая матрица формируется с помощью «матрицы маски»

$$y_n[k, l] \approx h_n[k, l] \cdot M[K, l]. \quad (8)$$

Матрица $y_n[k, l]$ представляет собой дальностно-временной портрет по области движения (ДВПОД). Незначительные остатки белого шума и некомпенсированного статического сигнала остаются после обработки, они представляют собой некоррелированные сигналы и могут быть удалены на последующих шагах.

Извлечение из дальностно-временного портрета колебаний, соответствующих дыханию человеческого организма. В полученном портрете ДВПОД появление колебаний с частотой от 0,2 до 0,3 Гц, соответствующей частотам дыхания человека, может указывать на нахождение за преградой живого человеческого организма. Временная задержка эхо-сигналов в «быстром домене» характеризует дальность до БО.

Существует множество способов обнаружения характерных колебаний внутри дальностно-временного портрета, например, на основе применения преобразования Фурье для небольших секторов изображения, с помощью алгоритма дисперсионного анализа и т.п.

В нашем исследовании использовался метод, в котором первоначально выбирается портрет малых размеров, так называемый образец. Этот образец содержит реальную запись колебаний человеческого дыхания. В процессе обработки вычисляется двумерная корреляция между выбранным образцом и областями ДВПОД. Результат указывает степень корреляции между образцом и исследуемым ДВПОД (изображением). В ходе обработки элементов ДВПОД формируется матрица, элементы которой, имеющие значения близкие к единице, указывают на потенциальное нахождение БО в определённой области (как, например, на рис. 4).

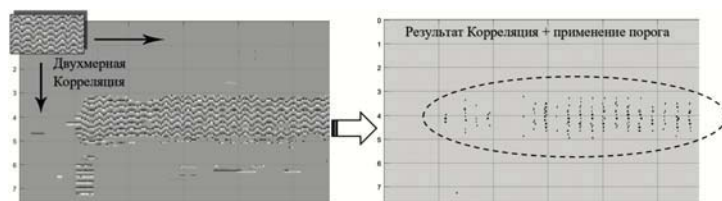


Рис. 4. Извлечение колебаний, соответствующих дыханию человека

Для повышения эффективности алгоритма можно использовать несколько (более одного) образцов. Определенный порог $По_{вз}$ можно использовать для выделения высоких значений корреляции в результирующей матрице. Более подробно выбор порога $По_{вз}$ рассмотрен в следующем абзаце.

Принятие решения о нахождении биологического объекта. В матрице, полученной в результате вычисления корреляции (рис. 4), наличие плотности высоких значений в конкретном секторе дает высокую вероятность присутствия колебаний, характерных для БО. Таким образом, величина плотности значений корреляции в конкретном секторе (с определенными размерами) является критерием для принять решение о нахождении человеческого объекта.

Порог $По_{вз}$ применяется для выделения высоких значений в матрице. Выбор высокого порога (ближе к 1) приводит к меньшей плотности целевых отметок, а низкий порог приводит к появлению ложных целей. В данном исследовании обработка результатов экспериментов показала, что соответствующее пороговое значение $По_{вз}$ находится в пределах 0,3–0,5.

Восстановление радиолокационного изображения. Чтобы реконструировать радиоизображение, содержащее места нахождения целей в координатах (x, y) (дальность – угол домен) требуется интегрировать информацию из всех приёмников. Есть разные методы для выполнения такого интегрирования, на пример, метод обратных проекций, метод Фурье-синтеза, метод обратной фокусировки в восстановлении распределения, и другие [2].

Учитывая, что данное исследование связано с повышением информативности и увеличением вероятности обнаружения в одном приемнике, в статье не будут рассматриваться

шаги, связанные с восстановлением радио-изображения в домене дальность-угол, учитывая, что такие методы подробно исследованы во многих источниках [2, 13, 17].

Методика выполнения и анализ результатов эксперимента

Структурная схема лабораторной установки и её основные технические характеристики. Используемая установка являлась многоканальной СШП-РЛС, работающей в Х-диапазоне. Установка выполнена в виде компактного устройства с 2х2 антенными каналами (рис. 5а). В свою очередь, каждая антенна имеет два взаимно перпендикулярных излучателя, позволяющих излучать или принимать радиоволны при разных поляризационных комбинациях (рис. 5б).

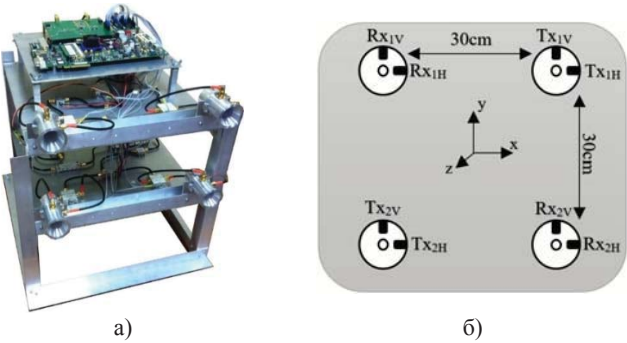


Рис. 5. Установка, используемая в экспериментах:
а) Общий вид РЛС; б) Фронтальная проекция, показывающая положение антенн

Основные технические характеристики платформы изложены в [3, 4]. В таблице 1 представлены основные параметры РЛС, реализованные в ходе эксперимента.

Таблица 1

Параметры РЛС, реализованные в эксперименте

Параметр	Величина
Несущая частота излучения/приема	9,8 ГГц
Длительность формируемых радиоимпульсов	3,3 нс
Внутриимпульсная модуляция	без
Период приема радиоимпульса	0.4439 мкс
Период повторения радиоимпульсов	100 мкс
время переключения поляризации антенны	1 мкс
Выходная мощность в импульсе	50 мВт
динамический диапазон каналов приема с аттенюированием	105 дБ

прд1	Tx ₁	↑	↑	○	○	→	→	○	○
прд2	Tx ₂	○	○	↑	↑	○	○	→	→
прм1 (2)	Rx ₁	→ ₁	↑ ₂	→ ₁	↑ ₂	→ ₁	↑ ₂	→ ₁	↑ ₂
прм2 (1)	Rx ₂	→ ₂	↑ ₁	→ ₂	↑ ₁	→ ₂	↑ ₁	→ ₂	↑ ₁

↑ - Вертикальная поляризация
→ - Горизонтальная поляризация
○ - Отсутствие излучения

Рис. 7. Последовательность поляризационных композиций излучения и приёма сигналов

Схема эксперимента. Эксперимент выполнялся внутри лабораторного помещения по следующей методике: в течение 1,5 минут записывался эхо-сигнал БО, при этом объект локации в виде человека последовательно удалялся и приближался к радару вдоль линии наблюдения (основного направления антенны) в пределах дистанции (3 ~ 7 м) (см. табл. 2). Дополнительно на дистанции 2,5 м от радара находилась оптически непрозрачная преграда (щит из пластика толщиной 2 см) (рис. 6).

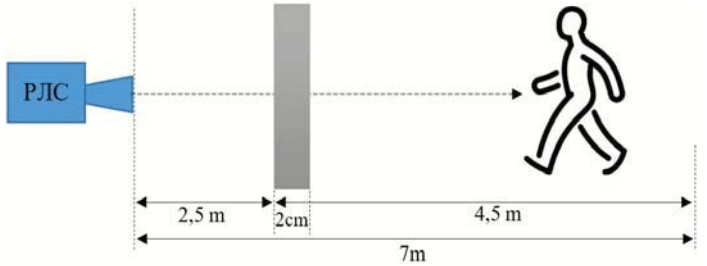


Рис. 6. Схема эксперимента по обнаружению и восстановлению дыхания человека, движущегося за преградой

Таблица 2

Схема перемещение человека в области локации

Порядок движений	Тип движения	Дальность от радара	Продолжительность фазы движения
1	движение вперед	7м до 4м	~ 23 сек
2	нахождение на месте	4м	~ 20 сек
3	движение вперед	4м до 3м	~ 12 сек
4	движение назад	4м до 3м	~ 13 сек
5	нахождение на месте	4м	~ 20 сек

За время каждого эксперимента было выполнено практически 900 сканов локации, в каждом из которых передатчики последовательно излучают сигналы при вертикальной и горизонтальной поляризации. Приёмники получают и записывают эхо-сигналы для разных видов поляризации, схематически режимы работы показаны на рисунке 7.

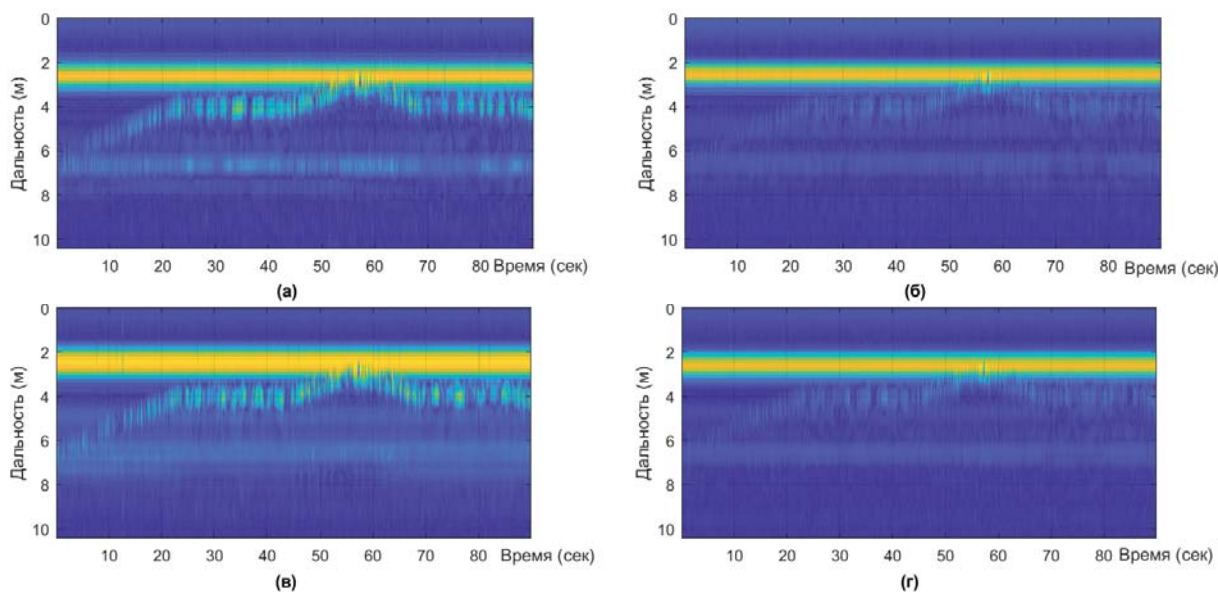


Рис. 8. Радио-изображение на одном приёмнике при разных поляризациях:
а) Вертикальный передатчик – Вертикальный приёмник; б) В-передатчик – Г-приёмник;
в) Г-передатчик – Г-приёмник; г) Г-передатчик – В-приёмник

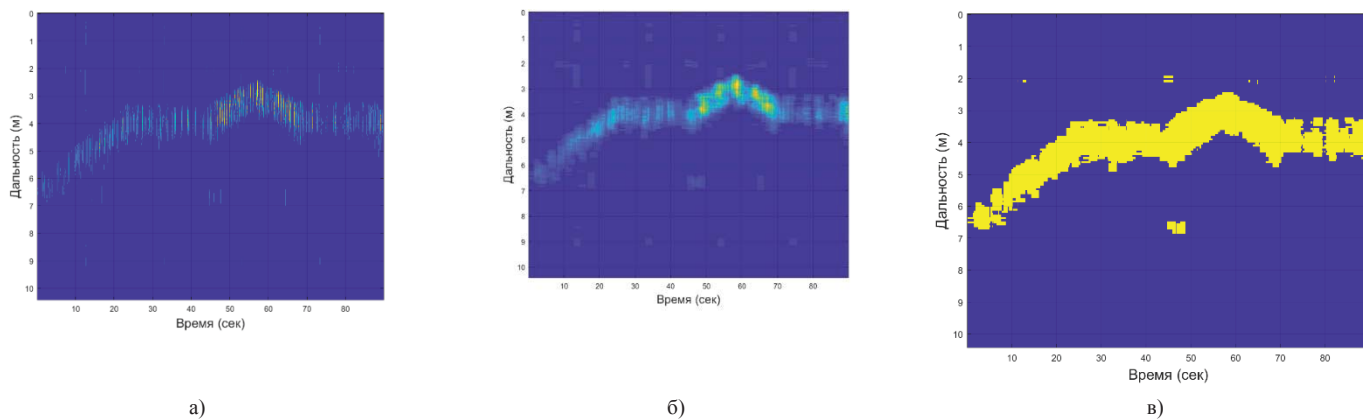


Рис. 9. Результаты предварительной обработки:
а) Подавление фона за исключением сигнала движущегося объекта; б) применение фильтра скользящего среднего;
в) преобразование в двоичную матрицу (матрицу маски)

Выполнение алгоритма. При восстановлении эхо-сигналов разных приёмников традиционным методом при различных поляризациях, наличие движущегося объекта за преградой определяется достаточно легко (рис. 8). Однако этой информации явно недостаточно, чтобы судить о наличии БО за стеной, особенно для случая, когда объект неподвижен.

Описанная ранее предварительная обработка позволяет подавлять фон и выделять движущегося объекта (рис 9.а). Фильтр скользящего среднего используется для сглаживания зашумленных данных (рис. 9.б). Последующее преобразование в двоичную матрицу при соответствующем пороге формирует «матрицу маски», содержащую только характерные области изменений (шумовая составляющая, перемещения человека, а также движения, вызванные его дыханием) (рис. 9.в).

Восстановление изменения фазы сигнала осуществлялось только внутри областей, выделяемых с помощью матрицы маски (рис. 10). При увеличении масштаба рисунка заметны области А и Б, где низкочастотное колебание, возникающее

при дыхании, проявляется в виде периодического сигнала «медленного домена».

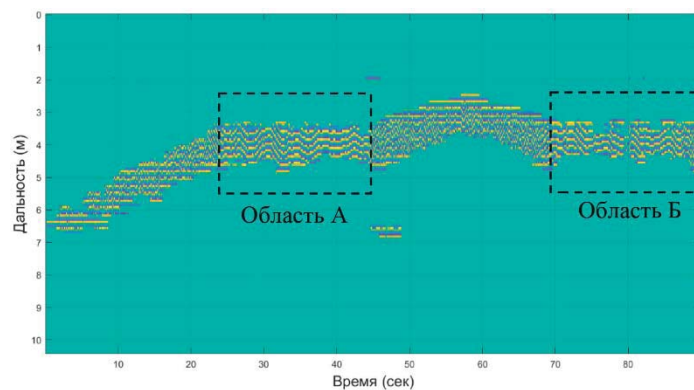


Рис. 10. Восстановление и выделение областей движения (в областях А и Б наблюдается низкочастотное колебание, возникающее при дыхании)

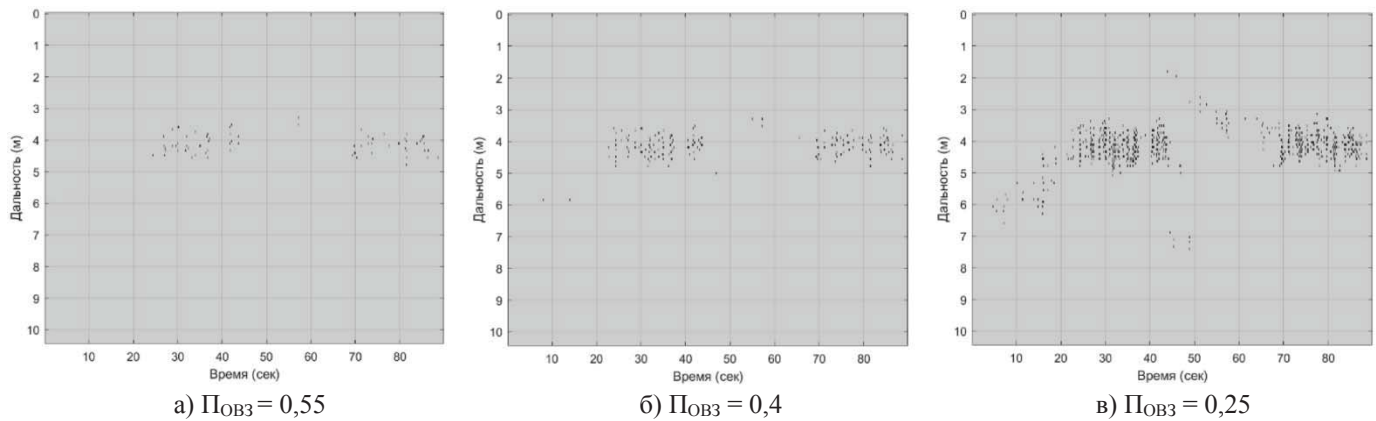


Рис. 11. Плотности высоких значений в конкретном секторе при разных порогах

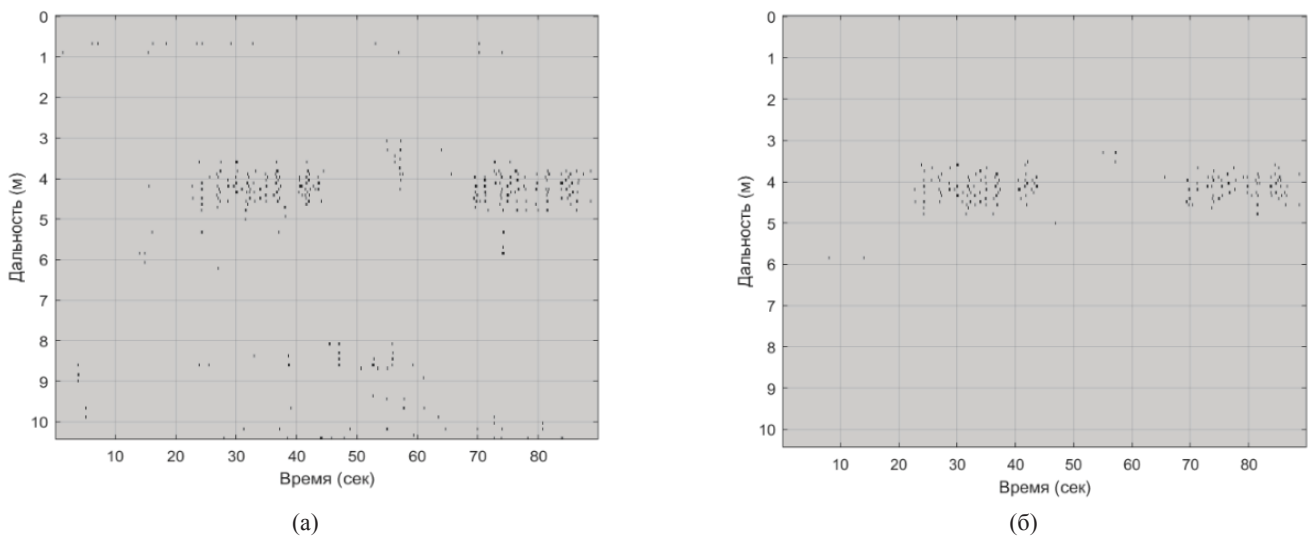


Рис. 12. Сравнение плотности высоких значений:

а) при использовании традиционного метода, б) при применении предварительной обработки

Обнаружение соответствия частоты таких колебаний дыханию человека осуществлялось с помощью алгоритма вида (рис. 3). Результат применения алгоритма показан на графике (рис. 11), который показывает плотность распределения отметок в диапазоне (3,7–4,7м) в интервалах (25–45 сек и 68–90 сек), что соответствует параметрам эксперимента, представленным в таблице 2.

В завершение обработки используется порог $P_{ОВЗ}$ для выделения высоких значений сигнала в результирующем дальностно-временном портрета. Применение низкого порога может проводить к появлению ложных отметок (рис 11в). При использовании высокого порога плотность отметок в секторе, в котором находится цель, оказывается значительно меньше (рис 11а). Плотность отметок в областях определённых размеров может являться числовым критерием вероятности наличия колебаний, характерных для дыхания живого организма, следовательно, присутствия БО в исследуемом секторе.

Анализ результатов

Анализ исследуемого метода осуществлялся путем сравнения результатов его работы с результатами работы традиционного метода, который не содержит предварительную обработку, зависящую от поляризационных характер эхо-сигнала.

Результат применения традиционного метода показан на (рис. 12а), где видно, что растровое изображение содержит большое количество ложных отметок, которые находятся вне траекторий движения БО, определённые в таблице 2. В данном эксперименте при выборе порога $P_{ОВЗ} = 0,4$ количество ложных отметок составляет 30% от отметок реальной цели. А при применении предварительной обработки количество ложных отметок не превышает 2% от отметок БО (рис. 12б).

Кроме того, предварительная обработка приводит к сокращению объема обрабатываемых данных на 80%, за счёт удаления всех областей, не содержащих движущихся объектов.

Заключение

В статье рассмотрены основные этапы реализации алгоритма обнаружения живого организма, находящегося за оптически непрозрачной преградой. Обнаружение осуществлялось на основе обработки эхо-сигналов, анализа их структуры и обнаружения характерного дыхания БО. Использование СШП радиолокатора, состоящего из 2х2 каналов с антеннами различной поляризации, позволило выполнить полную поляризметрическую обработку сигналов. Предложен метод, в основе которого лежат функциональные возможности используемого радиолокатора. С его помощью выделяются сигналы от БО и области, содержащие движущиеся и изменяющиеся

объекты. Предлагаемый метод приводит к уменьшению количества ложных отметок в анализируемом портрете и способствует сокращению до 80% общего объема обрабатываемых данных.

Литература

1. Shipilov S. E. et al. Ultra-wideband radio tomographic imaging with resolution near the diffraction limit // *Optical and Quantum Electronics*. 2017. Т. 49. №. 10. С. 1-12.
2. Шупилов С. Э. и др. Сверхширокополосное локационное радиовидение скрытых объектов. 2018.
3. Зюзин А. В., Туров В. Е. Повышение информативности перспективных сверхширокополосных радиолокационных систем // *Перспективы развития РЛС дальнего обнаружения и интегрированных систем, и комплексов информационного обеспечения Воздушно-космической обороны (ПТИ Системы ВКО-2014)*. 2014. С. 60-66.
4. Патент № 139876 от 28.03.2014. Кабачев Д.С. и др. Физическая модель ШП полнопolarиметрической моноимпульсной радиолокационной станции с нефиксированной конфигурацией. 2014.
5. Туров В. Е. и др. Полнопolarиметрическая обработка радиолокационных сигналов в сверхкороткоимпульсной РЛС // *Вестник СибГУТИ*. 2015. №. 2. С. 132-137.
6. Majd A., Kazakov L. N., Olim J. S. F. A Study of the Air Gaps Effect in the Walls on the Detection Efficiency of Through-the-Wall Radars // *2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. IEEE, 2021C.1-4.
7. Amin M. G., Ahmad F. Through-the-wall radar imaging: theory and applications // *Academic Press Library in Signal Processing*. Elsevier, 2014. Т. 2. С. 857-909.
8. Sandeep Rao MIMO Radar (Rev. A) // *Texas Instruments Application Report*, May 2017.
9. Charvat G. L. et al. An ultrawideband (UWB) switched-antenna-array radar imaging system // *2010 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*. IEEE, 2010. С. 543-550.
10. Sandora J. S., Charvat G. L. An ultra-wideband Vivaldi and linear hybrid taper antenna for use in a near-field real-time phased array radar system // *2013 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*. IEEE, 2013. С. 307-313.
11. Хомяков Д. А., Комиссаров А. В. Поляризационная модуляция зондирующего сигнала некогерентной РЛС в интересах селекции радиолокационных объектов // *Журнал радиоэлектроники*. 2013. №. 3. С. 1-1.
12. Rittiplang A., Phasukkit P., Orankitanun T. Optimal central frequency for non-contact vital sign detection using monocycle UWB radar // *Sensors*. 2020. Т. 20. №. 10. С. 2916.
13. Rittiplang A., Phasukkit P. 1-tx/5-rx through-wall UWB switched-antenna-array radar for detecting stationary humans // *Sensors*. 2020. Т. 20. №. 23. С. 6828.
14. Liang X. et al. Ultra-wideband impulse radar through-wall detection of vital signs // *Scientific reports*. 2018. Т. 8. №. 1. С. 1-21.
15. Федоров В. А. Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ. 2019. 128 с.
16. Kirose G., Dogaru T. Study of the human body radar signature variability based on computer models // *Radar Sensor Technology XIV. International Society for Optics and Photonics*, 2010. Т. 7669. С. 364-374.
17. Hu Z. et al. Design and analysis of a UWB MIMO radar system with miniaturized Vivaldi antenna for through-wall imaging // *Remote Sensing*. 2019. Т. 11. №. 16. С. 1867.

USING THE ORTHOGONALLY POLARIZED RADAR SIGNALS IN THE TASK OF DETECTING BIOLOGICAL OBJECTS LOCATED BEHIND AN OBSTACLE

Majd Abdullah, P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia, majd.tameem.abdallah@gmail.com

Leonid N. Kazakov, P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia, kazakov@uniyar.ac.ru

Alexandr B. Silantiev, P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia, silantiev@mail.ru

Abstract

In recent decades, there has been a great interest in the use of ultra-wideband (UWB) radar methods for detecting living biological objects hidden behind various barriers. The wide frequency band of the UWB radiation makes it possible to provide a high penetrating power along with a spatial resolution sufficient to detect oscillations characteristic of the respiration of a living organism. This article considers a model of an ultra-wideband radar for detecting a living biological object located behind an optically-nontransparent obstacle. The considered radar model consists of two channels, each of which has two independent antennas with orthogonal polarizations, that supports implement processing orthogonal polarization echo signals. A method is proposed to increase the information content by using the amplitude, phase and polarization characteristics of the reflected signals. This is done in order to isolate the signals reflected from biological objects against the background of interfering reflections. The use of the proposed method leads to reduce amount of processed data and a decrease the probability of false detection.

Keywords: Multiple input multiple output Radar (MIMO), Orthogonally polarized signals, Detection of biological objects, Breath detection, Survey through the obstacle.

References

1. S.E. Shipilov et al. (2017). Ultra-wideband radio tomographic imaging with resolution near the diffraction limit. *Optical and Quantum Electronics*. Vol. 49. No. 10. P. 1-12.
2. S.E. Shipilov et al. (2018). Ultra-wideband location radio vision of hidden objects.
3. A.V. Ziozin, V.E. Turov (2014). Increasing the information content of promising ultra-wideband radar systems. Prospects for the development of early warning radars and integrated systems, and information support complexes for Aerospace Defense (RTI Systems VKO-2014), pp. 60-66.
4. Patent No. 139876 dated March 28, 2014. Kabachev D.S. et al., "Physical Model of a UW Full-Polarimetric Monopulse Radar Station with a Non-Fixed Configuration." 2014.
5. V.E. Turov et al. (2015). Full-polarimetric processing of radar signals in an ultrashort-pulse radar. *Bulletin of SibGUTI*. No. 2, pp. 132-137.
6. A. Majd, L.N. Kazakov, J.S.F. Olim (2021). A study of the air gaps effect in the walls on the detection efficiency of through-the-wall radars. *2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. IEEE, pp. 1-4.
7. M.G. Amin, F. Ahmad (2014). Through-the-wall radar imaging: theory and applications. *Academic Press Library in Signal Processing*. Elsevier. Vol. 2, pp. 857-909.
8. Sandeep Rao MIMO Radar (Rev. A). Texas Instruments Application Report, May 2017.
9. G.L. Charvat et al. (2010). An ultrawideband (UWB) switched-antenna-array radar imaging system. *2010 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*. IEEE, pp. 543-550.
10. J.S. Sandora, G.L. Charvat (2013). An ultra-wideband Vivaldi and linear hybrid taper antenna for use in a near-field real-time phased array radar system. *2013 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*. IEEE, pp. 307-313.
11. D.A. Khomiakov, A.V. Komissorov (2013). Polarized modulation of the probing signal for an incoherent radar in the interests of the radar objects selection. *Journal of radio electronics*. No. 3. P. 1-1.
12. A. Rittiplotang, P. Phasukkit, T. Orankitanun (2020). Optimal central frequency for non-contact vital sign detection using monocycle UWB radar. *Sensors*. Vol. 20. No. 10. P. 2916.
13. A. Rittiplotang, P. Phasukkit (2020). 1-tx/5-rx through-wall UWB switched-antenna-array radar for detecting stationary humans. *Sensors*. Vol. 20. No. 23. P. 6828.
14. X. Liang et al. (2018). Ultra-wideband impulse radar through-wall detection of vital signs. *Scientific reports*. Vol. 8. No. 1, pp. 1-21.
15. V.A. Fedorof (2019). Radio-technical methods for human functional diagnostics. Publishing House MEI. 128 p.
16. G. Kirose, T. Dogaru (2010). Study of the human body radar signature variability based on computer models. Radar Sensor Technology XIV. *International Society for Optics and Photonics*, 2010. Vol. 7669, pp. 364-374.
17. Z. Hu et al. (2019). Design and analysis of a UWB MIMO radar system with miniaturized Vivaldi antenna for through-wall imaging. *Remote Sensing*. Vol. 11. No. 16. P. 1867.

Information about authors:

Majd Abdullah, doctoral student, P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

Leonid N. Kazakov, Head of Department, Professor, Doctor of Science, P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

Alexandr B. Silantyev, Associate Professor, Ph.D., P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia