

Радар для обнаружения людей за оптически непрозрачными препятствиями

В.И. Каевицер¹, А.И. Захаров¹, Л.Н. Захарова¹, А.С. Бажанов², В.И. Скопин²,
И.Н. Дутьшев²

¹Фрязинский филиал института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
141190, Московская обл., г.Фрязино, пл. Введенского, д.1. E-mail: aizakhar@sunclass.ire.rssi.ru

²Специальное Конструкторское Бюро ИРЭ РАН,
141190, Московская обл., г.Фрязино, пл. Введенского, д.1.

Дано описание радара разработки СКБ ИРЭ РАН для обнаружения людей за оптически непрозрачными препятствиями, приведены характеристики и описаны результаты тестовых измерений.

The description of SDB IRE RAS radar for the detection of people behind the opaque barriers is presented; its parameters and some results test are described.

Радиолокационные средства зондирования окружающей среды находят всё более разнообразное применение. Одним из сравнительно новых и практически значимых является использование радаров для обнаружения людей за оптически непрозрачными препятствиями. Среди примеров такого применения - поиск людей в различных чрезвычайных ситуациях, в горноспасательных работах, с целью обнаружения людей под завалами и лавинами, при решении задач по охране помещений, при проведении антитеррористических операций, и др.

Применяемый с указанной целью радар должен не только выявлять факт отражения сигнала от объекта интереса, но и измерять запаздывание (дальность) сигнала и направление его прихода. Одной из особенностей современных радаров этого назначения является использование сверхширокополосных сигналов. Малая длительность сигнала (единицы наносекунд) обеспечивает высокую точность определения местоположения человека за преградой. Селекция отражений по углу обеспечивается чаще всего за счет использования антенных решеток с электронным управлением формой и направлением диаграммы направленности антенной решетки.

Известен целый ряд зарубежных радаров для обнаружения людей, выпускающихся серийно. Это радары Prism 200 (Англия), MIR (США), Xaver™ 800 (Израиль), TWS (Канада), Radar Scope (США), Rescue Radar LS-RR01 (Япония) и другие (см. таблицу 1).

Таблица 1. Параметры зарубежных радаров обнаружения людей за препятствиями

Характеристика	Radar Vision	Prism 200	Xaver 800	Xaver 400	LS-RR01
Дальность обнаружения людей	до 9 м	до 20 м	до 20 м	до 20 м	до 10 м
Угол обзора: по горизонтали	120°	120°	60°	60°	-
по вертикали	90°	90°	30°	30°	-
Точность измерения дальности	< 1 м	< 1 м	< 0,3 м	< 0,3 м	< 0,3 м
Габаритные размеры радара, см	56x37x14	30x45x21	84x84x20	56x36x21	44x24x34

В России серийные радары такого типа не выпускаются. Работы по созданию подобных устройств ведутся рядом организаций, среди которых СКБ ИРЭ РАН, МАИ, МГТУ им. Н.Э.Баумана, и др. Некоторые параметры двух модификаций радара аналогичного применения разработки СКБ ИРЭ РАН приведены в таблице 2. Внешний вид радара СКБ ИРЭ РАН показан на рис. 1. Это компактное переносимой устройство с встроенным дисплеем для оперативного отображения информации.

Таблица 2. Параметры радаров разработки СКБ ИРЭ РАН

Параметры радара	Радар Данник-5	Радар Данник-5М
Средняя частота сигнала, МГц	3500	3500
Дальность обнаружения людей, мм	10	10
Угол обзора: по горизонтали, по вертикали	120° 90°	60° 30°
Точность определения дальности, м	0,3	0,3
Разрешающая способность по дальности, м	0,0015	0,0015
Точность определения углового положения, град.	15	Не определяет



Рис. 1. Внешний вид радара СКБ ИРЭ РАН

В этом радаре отечественной разработки используются две линейки четырехэлементных фазированных антенных решеток – отдельно на излучение и на прием. С учетом перемножения диаграмм на излучение и прием, результирующая ширина луча антенны примерно равна 15° . За счет фазовой коррекции сигнала на излучении и приеме формируются 6 лучей, разнесенных по углу на 15° , что позволяет перекрыть сектор 90° . На рис. 2 ниже условно показано формирование многолучевой диаграммы направленности антенной решеткой с четырьмя приемными антеннами R для приемного блока антенн.

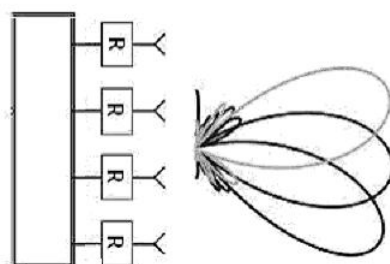


Рис. 2. Формирование диаграммы направленности четырехэлементной антенной решеткой

Съемка сектора пространства описываемым радаром заключается в последовательном измерении эхо-сигналов в каждом из 6 секторов, выбираемых 15-градусным лучом антенной решетки. С целью получения высокого разрешения по дальности в радаре генерируется импульс наносекундной длительности на частоте 3500

МГц. С помощью цифровой линии задержки формируется интервал запаздывания для приема отраженного сигнала на некоторой дальности. Частота повторения зондирующих импульсов 8 МГц, с одной стороны, определяет неоднозначность измерений по дальности около 18 метров, а с другой определяет максимальную дальность работы радара. Последовательность отраженных эхо-сигналов на заданной дальности накапливается когерентно, что обеспечивает высокий уровень сигнал-шум на приеме. По завершении накопления некоторого количества импульсов интервал запаздывания цифровой линии задержки увеличивается на 1 нс, и аналогично формируется измерение на следующей дальности. Одна строка данных углового сектора содержит 64 измерения на разных дальностях. В результате последовательного перебора секторов за 25 мс формируется 1 скан пространства в системе координат сектор - дальность (см. схему на рис. 3). Здесь по вертикали указан номер сектора, по горизонтали – дальность до цели.

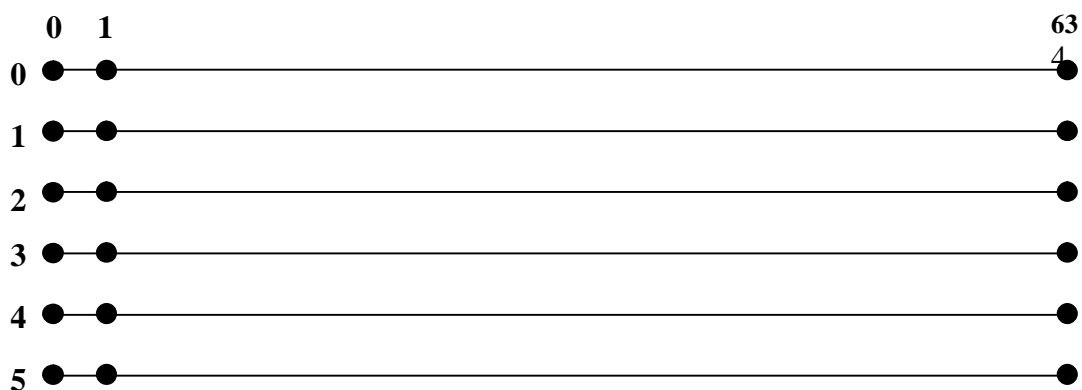


Рис. 3. Расположение измерений радара в координатах сектор-дальность

Данные одного скана можно рассматривать как $6 \cdot 64 = 384$ информационных канала. Поскольку сканирование наблюдаемой области пространства повторяется каждые 25 мс (частота сканирования 40 Гц), можно исследовать частотные характеристики отраженного сигнала в каждом из 384 каналов и использовать их для выявления особенностей динамики отражающего объекта.

Спектральный анализ является наиболее естественным, хотя и не единственным инструментом выявления движущихся целей. При его использовании анализируется распределение энергии сигнала по всему диапазону доплеровских частот ± 20 Гц, за исключением нулевой частоты. Максимум отраженного сигнала в спектре определяет величину доплеровского сдвига частоты сигнала и номер информационного канала. По номеру информационного канала можно определить номер сектора и дальность до цели. Этот способ обработки позволяет выделить движущиеся объекты на фоне неподвижных, что обеспечивает надежное выявление этих объектов на фоне сильных фоновых эхо-сигналов. Возможны альтернативные методы выявления перемещающихся объектов, в частности, анализ статистических характеристик отраженного сигнала, который был реализован в математическом обеспечении для обработки сигналов радара, в дополнение к спектральному анализу.

Пример изображения движущейся цели в координатах сектор-дальность приведён на рис. 4. Здесь отметка, соответствующая движущемуся человеку в помещении за кирпичной стеной, находится во втором угловом секторе, в двадцатом элементе по дальности. Благодаря высокому энергетическому потенциалу радара отсутствуют ложные шумовые отметки. В результате подавления сигналов с нулевой доплеровской частотой не наблюдаются сильные мешающие отражения от стен помещения.

Для проверки эффективности функционирования этого радара был проведён ряд экспериментов по радиолокации различных целей, расположенных в помещении за кирпичной стеной. Список измерений включал работу с имитатором движущейся цели с амплитудой колебаний 3.5 см на интервале 1.5 с и расположенной на разных дальностях и в разных секторах, а также съемку человека. Реализованы эксперименты с участием одного и двух перемещающихся человек, проверена возможность обнаружения неподвижно сидящего человека. Практически во всех случаях все цели надежно обнаруживались.

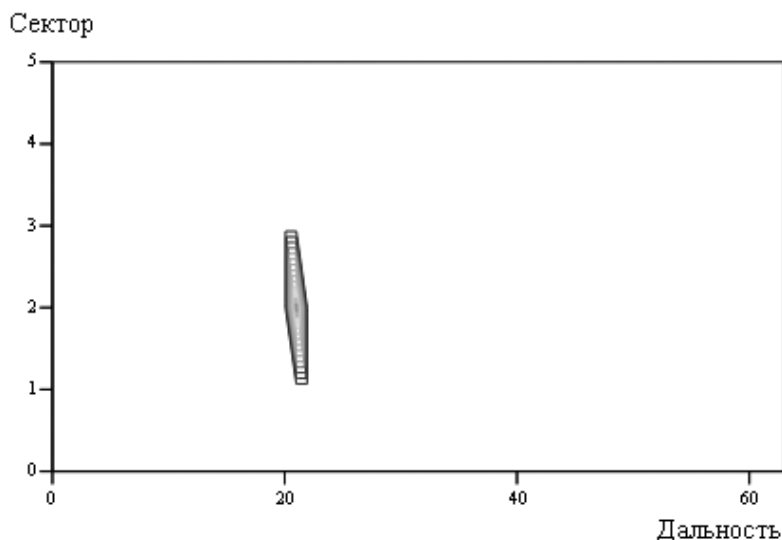


Рис. 4. Пример изображения движущейся цели в координатах сектор - дальность

Наиболее интересным и неожиданным результатом было обнаружение возможности контроля мелкомасштабных перемещений отражающего объекта с амплитудой, существенно меньшей разрешающей способности радара по дальности. Материалом для измерения мелкомасштабных перемещений объекта является информация о фазе отраженного сигнала. Выяснилось, что у данного радара отношение сигнал-шум столь высоко, что точность измерения вариаций дальности на основе измерений фазы сигнала лучше 1 миллиметра. Благодаря этому с помощью такого измерения дальности можно наблюдать смещение положения грудной клетки неподвижно сидящего человека при его дыхании.

Известно, что человек дышит с частотой 0.3-0.16 Гц, цикл вдох-выдох занимает 3-6 секунд, при этом вдох занимает 1/3 – 1/4 периода. При дыхании грудная клетка обычно перемещается в пределах 1-2 см. На рисунках 5-7 ниже приведены графики изменения радиального расстояния до тела сидящего человека в случае спокойного размеренного дыхания, учащенного дыхания и при задержке дыхания. Измеренные параметры дыхания укладываются в интервал типовых значений.

На графике на рис. 5 в течение 90 секунд можно видеть перемещение с амплитудой ~1 см отражающего участка тела спокойно дышащего экспериментатора с периодом повторения 4 с. На рис. 6, при учащенном дыхании экспериментатора, наблюдается период дыхания 2.5 с, амплитуда перемещения отражающего участка 0.5-1 см. На последнем графике на рис. 7, где человек задерживает дыхание на интервале времени с 10-й по 85 секунду, видно перемещение отражающей области в сторону радара (вдох) на 1 см в начале сеанса. Затем положение отражающей области фиксируется и остается в этом положении в пределах 1 мм вплоть до 85-ой секунды. Небольшая флуктуация дальности амплитудой 3 мм в середине интервала могла быть вызвана произвольным шевелением экспериментатора.

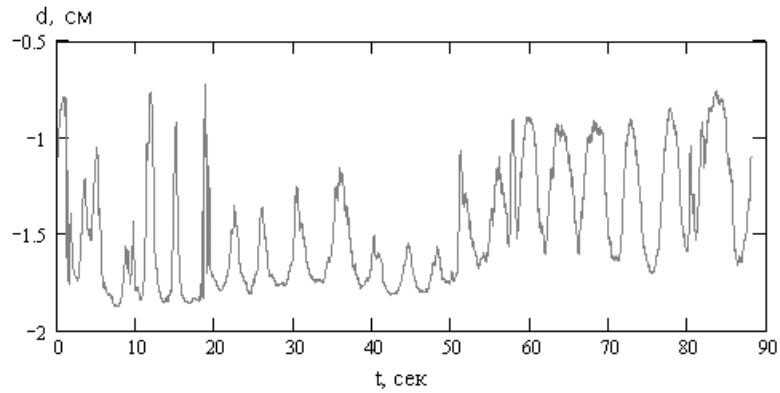


Рис. 5. Радиальное перемещение отражающей области при нормальном дыхании

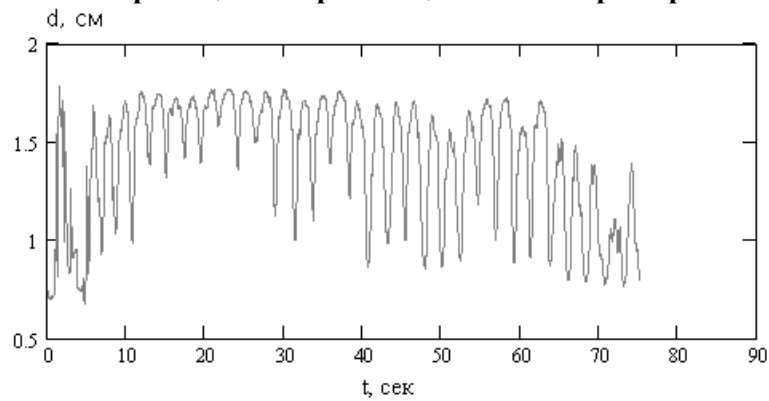


Рис. 6. Радиальное перемещение отражающей области при учащенном дыхании

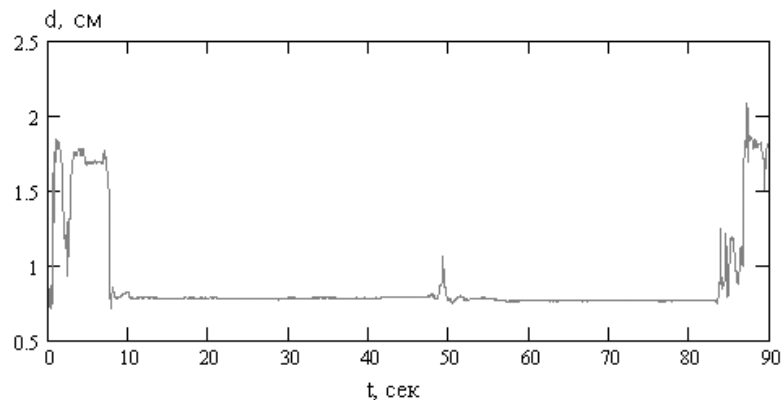


Рис. 7. Радиальное перемещение отражающей области при задержке дыхания

Созданный СКБ ИРЭ РАН макет радара для обнаружения движущихся объектов за препятствиями показал в очень большом количестве экспериментов свою эффективность при решении планируемых задач. Радар позволяет определять дальность до объекта и направление прихода сигнала с заданной точностью. Обнаруженная в ходе экспериментов высокая чувствительность фазовых измерений даёт возможность контроля мелкомасштабных перемещений объекта и открывает новые возможности по идентификации живых существ и оценке их состояния.