

# СШП-РАДИОТОМОГРАФИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЖИВЫХ ОБЪЕКТОВ ЗА ПРЕГРАДАМИ

В работе рассматривается технология обнаружения и определения местонахождения живых объектов за диэлектрическими преградами в режиме реального времени с использованием сверхширокополосного зондирования. Для визуализации людей за диэлектрическими барьерами разработан радиолокационный томограф «Радиодозор».

## ВВЕДЕНИЕ

В результате терактов высока вероятность захвата заложников или обрушения инженерных конструкций. Поэтому необходимо иметь устройства, способные дистанционно, быстро и точно определять местоположение людей за преградами. Наиболее рациональным для этих целей является использование сверхширокополосного (СШП) излучения, которое обладает высоким продольным пространственным разрешением и обеспечивает обнаружение скрытых объектов за диэлектрическими препятствиями. Кроме того, СШП-излучение обеспечивает достаточное проникновение за препятствие, что позволяет строить радиотомограммы интересующей области пространства. При разработке алгоритмов построения томограммы необходимо обеспечить их устойчивость к шумам и помехам, оказывающим существенное влияние на принятый сигнал при односторонней схеме локации объектов за диэлектрическими преградами [1, 2]. Также важно, чтобы разработанные алгоритмы обеспечивали необходимое быстродействие при не слишком высоких требованиях к аппаратуре измерения и регистрации, а также к средствам компьютерной обработки. Принципиальная возможность построения радиолокационного оборудования поиска людей за преградами не вызывает сомнений — это подтвердили результаты, опубликованные в научной литературе [3, 4, 8, 9], в том числе и авторами [1, 2, 5].

## ПОЛУЧЕНИЕ РАДИОИЗОБРАЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Задача зондирования за преградами сводится к обнаружению подвижных объектов. В литературе была предложена дифференциально-разностная методика выделения движущихся людей, основанная на фильтрации сигналов от неподвижных объектов [5, 8]. Суть метода состоит в вычислении разностного сигнала в соседние периоды времени:

$$dS(t, T_i) = S(t, T_i) - S(t, T_{i-1}),$$

где:  $dS(t, T_i)$  — фильтрованный сигнал;  $S(t, T_i)$  — регистрируемый сигнал;  $S(t, T_{i-1})$  — сигнал, принятый в предыдущий период времени. При этом сигналы, отраженные от неподвижных, фоновых объектов зондируемой сцены, одинаковы в различные периоды времени и при вычитании будут фильтроваться. Разность сигналов  $dS$ , полученная от подвижного объекта, будет отлична от нуля и при различном наборе ракурсов может использоваться в задаче построения радиоизображения подвижных объектов.

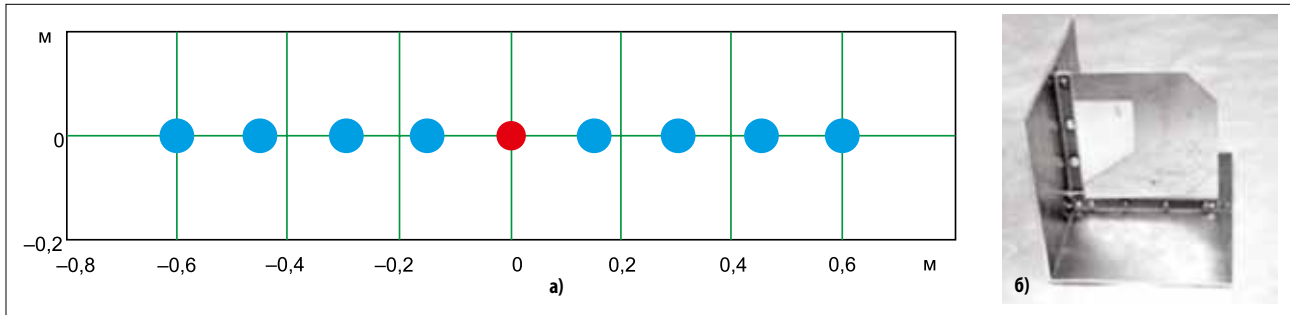
Однако данный подход не учитывает скорость движения зондируемого объекта. В случае когда объект не движется, разность сигналов в соседних кадрах становится близкой к нулю, что приводит к исчезновению информационного пятна на радиоизображении. Авторы предлагают модифицированный алгоритм, существенным образом использующий информацию о скорости объекта и определяющий оптимальную выборку кадров, разность которых обеспечивает максимальное соотношение сигнал/шум. Таким образом, предыдущее выражение модифицируется к следующему:

$$dS(t, T_i) = S(t, T_i) - S(t, T_{i-N}),$$

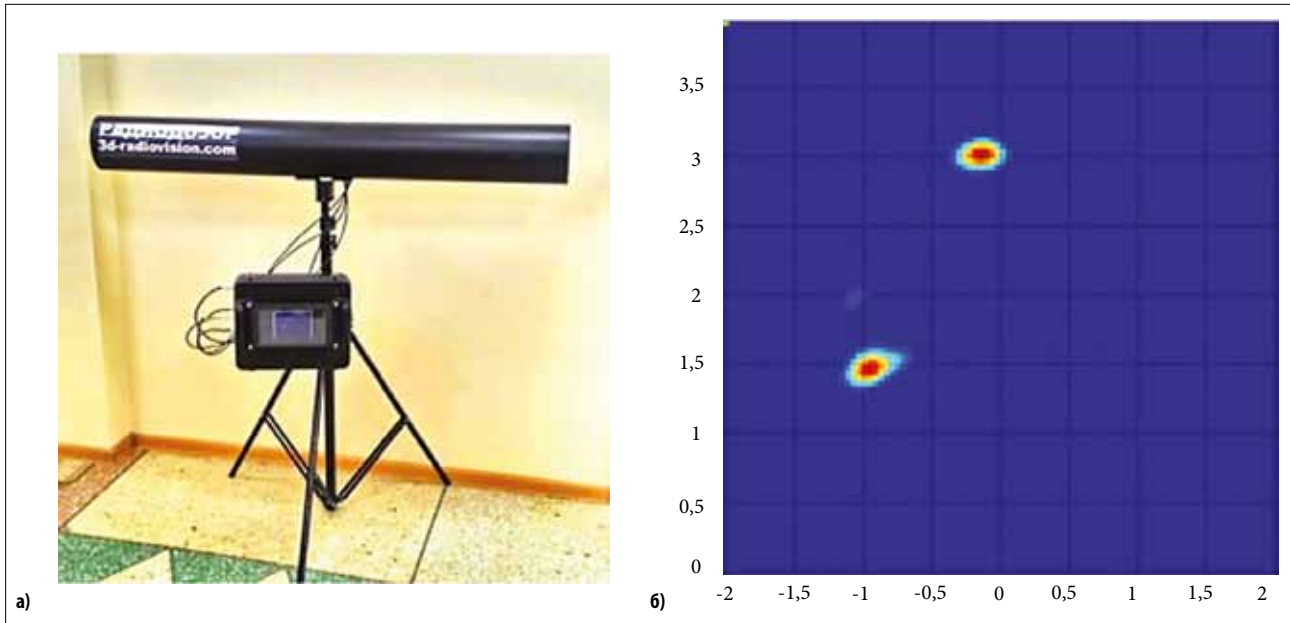
где  $N$  — номер кадра, обеспечивающий максимальную интенсивность разностного сигнала.

В случаях когда человек неподвижен, судить о его наличии за преградой можно по движению грудной клетки либо брюшной полости. Сигнал  $S_p$ , отраженный от грудной клетки на выдохе, отличается от сигнала  $S_r$ , отраженного на вдохе, временной задержкой  $T = 2\Delta x/c$ , где  $\Delta x$  — перемещение грудной клетки при вдохе/выдохе.

Для выделения колебаний, характерных для дыхания человека, необходимо преобразовать полученные при СШП-зондировании данные. Рассмотрим спектры отраженных сигналов. Комплексные амплитуды спектров сигналов, принятых



▲ Рис. 1. а) Расположение элементов в антенной решетке; б) СШП-антенна



▲ Рис. 2. а) Внешний вид радиотомографа «Радиодзор»; б) томограмма тестовой сцены

в соседние периоды времени, будут отличаться друг от друга лишь множителем  $\exp(i\omega T)$ :

$$S_2(\omega) = S_1(\omega) \exp(i\omega T).$$

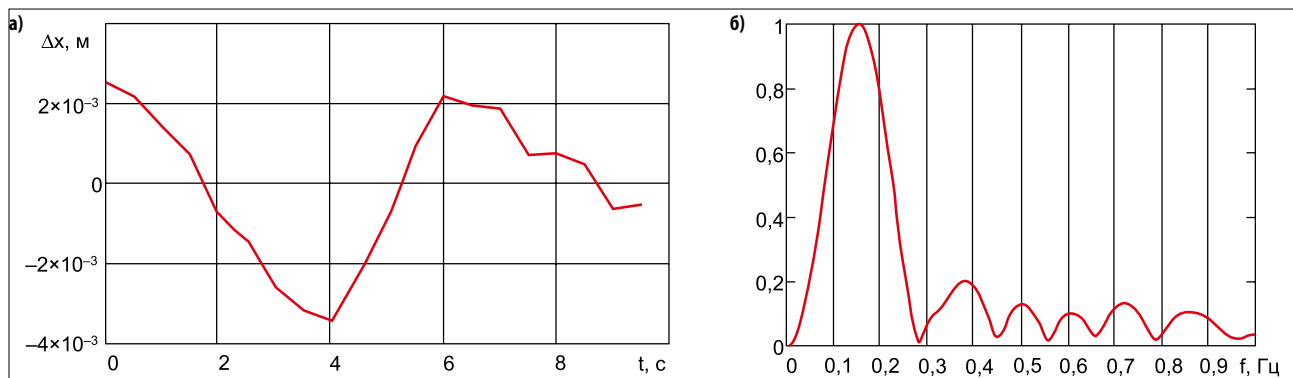
Умножим спектры принятых сигналов  $S_i(\omega)$  на комплексно сопряженный спектр  $S_i^*(\omega)$  и выделим фазу из полученного выражения. В результате получим:

$$T_i = \frac{\arg(S_i(\omega)S_i^*(\omega))}{\omega}, \quad \omega = 2\pi f,$$

где  $f$  — значимая частота из спектра принятого сигнала по заданному уровню.

### РАДАР ДЛЯ ТОМОГРАФИИ ЖИВЫХ ЛЮДЕЙ ЗА ПРЕГРАДАМИ

Для практической реализации предложенных подходов была разработана СШП-тактированная антенная решетка, состоящая из восьми приемных и одного передающего элементов. Приемные антенны опрашивались последовательно в режиме тактирования [6]. Расположение элементов на решетке представлено на рис. 1а. На рис. 1б представлен элемент антенной решетки [7], выполненный в виде печатной антенны и экрана в виде металлического уголка. Разработанная антенна пред-



▲ Рис. 3. а) Выделенные в ходе эксперимента колебания грудной клетки человека в промежутки времени; б) спектр частоты дыхания человека

ставляет собой пластину фольгированного стеклотекстолита размером 110×110×1 мм. Направление максимума излучения указано стрелкой. Антенна предназначена для излучения СШП-импульсов длительностью 0,3–0,4 нс.

На рис. 2а представлен разработанный авторами СШП-радиотомограф «Радиодозор», в состав которого входит описанная выше тактированная решетка. Разработанное программное обеспечение для радиотомографа позволяет строить радиоизображение подвижных и неподвижных людей с определением их местоположения на плоскости. Для неподвижных людей, кроме местоположения, возможно определение частоты его дыхания. Устройство обеспечивает построение радиоизображения исследуемой сцены по дальности с частотой 10 кадров в секунду. Максимальная дальность действия действующего образца составляет 12 м. Для зондирования используются импульсы длительностью 0,4 нс. Погрешность определения местоположения человека за преградой не превышает 10 см. На рис. 2б представлено двумерное радиоизображение тестовой сцены с двумя движущимися людьми в некоторый фиксированный момент времени. Размерность каждой клетки также составляет 50×50 см. Пятна на картинке показывают местоположение движущихся людей.

В результате обработки экспериментальных осциллограмм были выделены колебания грудной клетки человека (рис. 3а), а затем, с использованием преобразования Фурье, рассчитан спектр, по максимуму которого можно определить частоту дыхания человека (рис. 3б).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен подход для обнаружения и визуализации живых людей, скрытых за диэлектрическими преградами. Показана возможность получения радиоизображений подвиж-

ных и неподвижных людей. При продолжительной регистрации неподвижных людей возможно определение частоты колебаний их грудных клеток. Результаты работы могут найти применение в арсеналах специальных служб, для поиска людей под завалами. Спектр применений может быть значительно расширен при доработке с учетом специфики применения. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Якубов В. П., Шипилов С. Э., Суханов Д. Я., Клоков А. В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы. Томск: Изд-во НТЛ, 2014.
2. Yakubov V. P., Shipilov S. E., Satarov R. N. Ultra-wideband sensing behind dielectric barriers//Russian Physics Journal. 2011. V. 53. № 9.
3. Ultra wideband radar. Applications and design. Edited by James D. Taylor. N.-Y. Crc Press, 2012.
4. Handbook of ultra-wideband short-range sensing: theory, sensors, applications by Jurgen Sachs. Wiley-VCH. 2012.
5. Якубов В. П., Шипилов С. Э., Сатаров Р. Н. Сверхширокополосная томография движущихся объектов за диэлектрическими преградами//Контроль. Диагностика. 2011. № 8/2.
6. Satarov R. N., Kuz'menko Yu., Muksunov T. R., Klokov A. V., Balzovskii E. V., Buyanov Yu. I., Shipilov S. E. and Yakubov V. P. Switched ultrawideband antenna array for radiotomography//Russian Physics Journal. 2013. V. 55. № 8.
7. Балзовский Е. В., Буянов Ю. И. Элемент антенной решетки для георадара//Изв. вузов. Физика. 2015. № 8–3.
8. Вовшин Б. М., Гринев А. Ю., Фадин Д. В. Процедуры обнаружения подвижных объектов за преградами//Успехи современной радиоэлектроники. 2009. № 1–2.
9. Ильясов Ф. Ш. Радары для обнаружения людей за оптически непрозрачными преградами//Технологии гражданской безопасности. 2009. Т. 7. № 3–4.