

УДК 621.391.244

*Р.Н. САТАРОВ, С.Э. ШИПИЛОВ, В.П. ЯКУБОВ, Е.О. СТЕПАНОВ***УСТРОЙСТВО ДЛЯ 2D-РАДИОТОМОГРАФИИ НА ОСНОВЕ СШП-ЛИНЕЙНОЙ ТАКТИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ФОКУСИРУЮЩИМ РЕФЛЕКТОРОМ**

Предлагается устройство для 2D-радиотомографии на основе СШП-линейной тактированной антенной решетки с неэквидистантным расположением СШП-антенн. Решетка комбинируется с фокусирующим экраном (рефлектором), позволяющим сузить диаграмму направленности в вертикальной плоскости. Полученное в результате томосинтеза радиоизображение представляет собой двумерный срез пространства по глубине и поперечной координате. В работе приведены данные численного моделирования, подтверждающие правильность выбранного направления.

**Ключевые слова:** радиотомография, сверхширокополосное зондирование, синтезирование апертуры, фокусировка излучения, антенная решетка.

В современном мире с его нестабильной политической обстановкой, вероятность терактов и захвата заложников высока. Как следствие, актуальной становится задача определения наличия или отсутствия за различными преградами (стенами, завалами) людей или каких-либо скрытых предметов. Решение подобных специфических и нестандартных задач требует создания и разработки не только специального математического аппарата, но и новых аппаратных средств и технологий, позволяющих в режиме реального времени по данным регистрируемого сигнала получать данные о наличии и местоположении объектов за оптически непрозрачными преградами.

На сегодняшний день применение сверхширокополосных (СШП) сигналов является наиболее перспективной технологией, которая может быть применена в самых различных отраслях, начиная от наблюдения за движением воздушного и железнодорожного транспорта, связи и заканчивая получением трехмерной томограммы скрытых объектов.

Сверхширокополосная радиолокация дает ряд преимуществ по сравнению с радиолокацией, использующей традиционные сигналы. Как известно, СШП-излучение обладает высоким временным пространственным разрешением. При этом за счет низкочастотных составляющих в спектре зондирующих СШП-сигналов обеспечивается высокая проникающая способность за препятствия, что особенно важно для обнаружения скрытых объектов за диэлектрическими препятствиями. При этом точность получаемой пространственной информации достигает единиц сантиметров.

Одним из перспективных направлений СШП-радиолокации является создание радиолокаторов малой дальности для обнаружения людей за радиопрозрачными препятствиями (в завалах, за стенами зданий, скрытых в «зеленке»), а также оперативного контроля качества дорожных покрытий и насыпей. При этом одной из важных характеристик радиолокаторов является их мобильность, малогабаритность, возможность одностороннего доступа, а также простота в использовании: включил – получил изображение. Широко используемые в настоящее время типовые георадары здесь неприменимы, поскольку не обеспечивают в должной мере требуемые характеристики, такие, как оперативность и разрешающая способность. Поэтому требуется создание новых систем, построенных на основе многоэлементных решеток с использованием алгоритмов получения радиоизображений высокого разрешения в режиме реального времени. Наиболее перспективным с этой точки зрения представляется подход, основанный на программно-аппаратной фокусировке СШП-излучения [1, 2]. Фокусировка осуществляется путем последовательного суммирования принятых сигналов с выравниванием временных задержек импульсов, рассеянных точкой с заданными координатами. Полученное при этом радиоизображение имеет разрешающую способность лучше, чем пространственная протяженность зондирующего импульса.

Для решения подобных задач авторами была разработана СШП-линейная тактированная антенная решетка с неэквидистантным расположением антенн. Решетка дополняется фокусирующим экраном, позволяющим уменьшить ширину диаграммы направленности в вертикальной плоскости. Такая решетка позволит в режиме реального времени получать радиоизображение двумерного среза пространства по глубине и по поперечной координате. Путем перемещения решетки вручную оператором или с использованием автоматизированных транспортирующих средств можно получить трехмерную картину исследуемого пространства.

В процессе создания решетки было проведено численное моделирование, целью которого являлась оптимизация расположения приемных и передающих элементов решетки в пределах

разрыва с линейным размером не более 80 см. Такой размер решетки обеспечивал удобство ее перемещения одним оператором. Критерием оптимизации являлось качество восстанавливаемого радиоизображения тестового объекта. Для опроса решетки был выбран режим тактирования, при котором одна антенна излучает, а другие последовательно принимают. Ранее [3] была разработана и апробирована система коммутации для 6 передающих и 16 приемных элементов линейной решетки. Данная система была взята за основу при создании линейной решетки из 6 передающих и 12 приемных элементов. Использование режима тактирования позволило увеличить число ракурсов обзора до 25 и тем самым повысить качество радиоизображения. На рис. 1 показана модель решетки с оптимизированным расположением 6 передающих (черные кружки) и 12 приемных (белые кружки) элементов. При использовании режима тактирования такая решетка эквивалентна решетке, состоящей из 25 совмещенных приемо-передающих антенн (рис. 2).

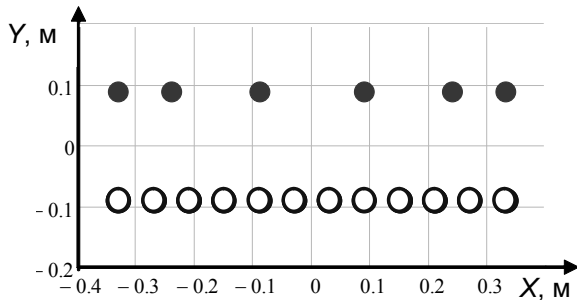


Рис. 1. Расположение приемных и передающих антенн в решетке

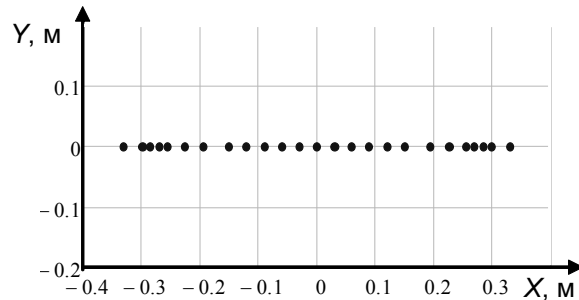


Рис. 2. Эквивалентная решетка

В ходе численного моделирования для оптимизированной решетки проводился расчет 2D-томограммы тестового объекта в виде четырех точечных неоднородностей, эквидистантно расположенных на одной линии на удалении  $z = 50$  см от решетки (рис. 3).

Расстояние между точками составляло 2,5 см. В качестве зондирующего сигнала выбирался СШП-импульс длительностью 0,2 нс. Для сбора данных использовался режим тактирования. Расчет томограммы проводился на основе метода фокусировки. Как видно из рис. 3, оптимизированная решетка обеспечивает высокое качество радиоизображения и низкий уровень артефактов. Пространственное разрешение решетки в продольном и поперечном направлениях имеет порядок 2 см. При использовании зондирующих импульсов 0,1 нс разрешение улучшится и станет порядка 1 см.

Для сжатия диаграммы направленности в вертикальной плоскости авторами был разработан фокусирующий экран на основе двух эллипсов с одним общим фокусом, повернутых друг относительно друга на  $16^\circ$  (рис. 4). Жирной серой полосой на рисунке обозначена используемая отражающая поверхность эллипсов. Черными точками обозначены фокусы эллипсов, в которых располагаются приемная и передающая антенны. Светлой точкой на рисунке обозначен общий фокус, в котором поле должно фокусироваться.

В ходе численного моделирования рассчитывалась интенсивность поля, создаваемого такой фокусирующей системой на разных расстояниях от экрана (рис. 5). Видно, что, как и ожидалось, максимальная интенсивность поля достигается на расстоянии  $z = 61$  см от экрана, т.е. там, где располагается общий фокус эллипсов. При этом ширина пика интенсивности по половинному уровню не превышает 5 см.

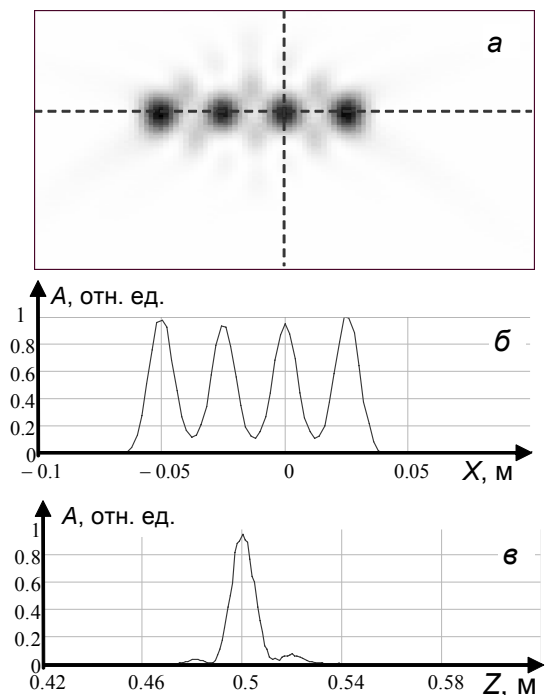


Рис. 3. Рассчитанная 2D-томограмма тестового объекта (а), горизонтальное (б) и вертикальное (в) её сечения

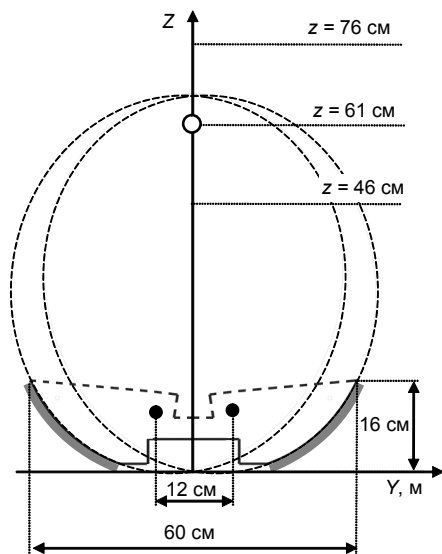


Рис. 4. Схема фокусирующего рефлектора

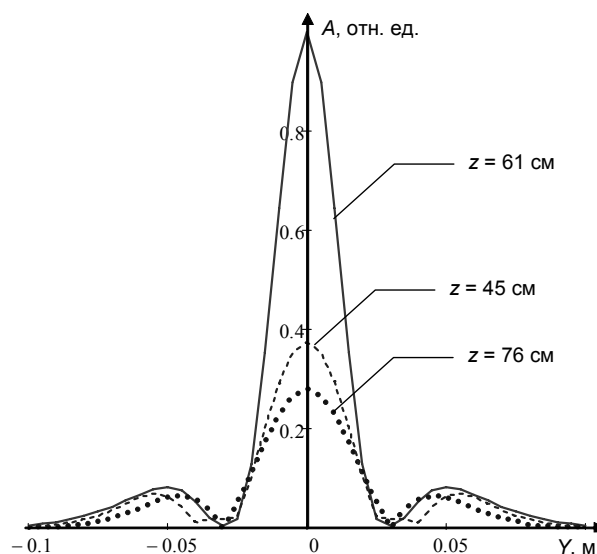


Рис. 5. Интенсивность поля на различных расстояниях от фокусирующего рефлектора

В работе показаны предпосылки создания малогабаритного переносного радиолокационного 2D-томографа на основе линейной тактированной решетки. Анализ расчетов показывает, что разрешающая способность такого устройства действительно определяется размерами линейной решетки, формой фокусирующего рефлектора и длительностью зондирующих импульсов. При использовании для зондирования импульсов 0,2 нс она составляет около 2–5 см. Проведенное исследование подтверждает перспективность предложенного подхода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якубов В.П., Беличенко В.П., Фисанов В.В. Основы электродинамики излучения и его взаимодействия с веществом. – Томск: Изд-во НТЛ, 2010. – 237 с.
2. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли: учеб. пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
3. Сатаров Р.Н., Кузьменко И.Ю., Муксунов Т.Р. и др. // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 8. – С. 26.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия  
E-mail: shipilov@webmail.tsu.ru

Поступила в редакцию 15.07.13.

Сатаров Раиль Наилевич, аспирант;  
Шипилов Сергей Эдуардович, к.ф.-м.н., доцент;  
Якубов Владимир Петрович, д.ф.-м.н., профессор;  
Степанов Евгений Олегович, студент.

R.N. SATAROV, S.E. SHIPILOV, V.P. YAKUBOV, E.O. STEPANOV

## 2D RADIO TOMOGRAPHY DEVICE BASED UWB CLOCKED LINEAR ANTENNA ARRAY WITH A FOCUSING SCREEN

Provided a device for radio tomography based on 2D linear clocked UWB antenna array nonequidistant location of UWB antennas. Array combined focusing screen allowing to narrow the beam in the vertical plane. The resulting radio image of tomosynthesis is a two-dimensional layer of space in depth. The paper presents the results of numerical modeling confirming the efficiency of the direction.

**Keywords:** radiotomography, ultra-wideband sensing, synthetic aperture, focusing of radiation, antennas array.