МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТРУДЫ

XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНЧЕСКИХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНКУБАТОРОВ

Томск, 17–18 мая 2016 г.

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

ЛЧМ томография при помощи ручного сканирования по произвольной трехмерной траектории

С.Н. Росляков, Д.Ю. Гаврилов

Научный консультант – канд. физ.-мат. наук ***Д.Я. Суханов,***
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия

serega_1994_0@mail.ru

Подповерхностное радиозондирование находит широкое применение в поиске дефектов дорог и помещений, обнаружении противопехотных и противотанковых мин, включая диэлектрические, для исследования и прокладки подземных коммуникаций [1–2]. В данной работе была разработана технология построения изображения при помощи радиолокатора, движущегося по произвольной трехмерной траектории.

Основная часть

В современной радиотомографии существует проблема восстановления изображения для движущегося радиолокатора. Для использования методов томографии необходимо знать положение радиолокатора в каждый из моментов сканирования. Эту проблему можно решить несколькими способами: позиционированием при помощи GPS сигнала или локальных систем позиционирования. Для корректного восстановления изображения необходимо знать положение с точностью до 1 см или меньше. Точность позиционирования GPS не позволяет нам корректно восстановить траекторию движения локатора. В ходе работы будет использоваться позиционирование при помощи видеокамеры. В качестве ЛЧМ генератора используется ЖИГ (железо-иттриевый гранат) «HEWLETT PACKARD OSCILLATOR 5086-7343», частота перестройки 5,9–12,4 ГГц, скорость измерений 20 раз в секунду.

На рис. 1 приведена схема проведения эксперимента. Оператор производит сканирование, камера снимает все происходящее. На локаторе наклеен маркер, специальным алгоритмом восстанавливаются координаты положения маркера и сопоставляются с сигналами. Для более точного определения положения в пространстве маркер имеет оригинальную форму.

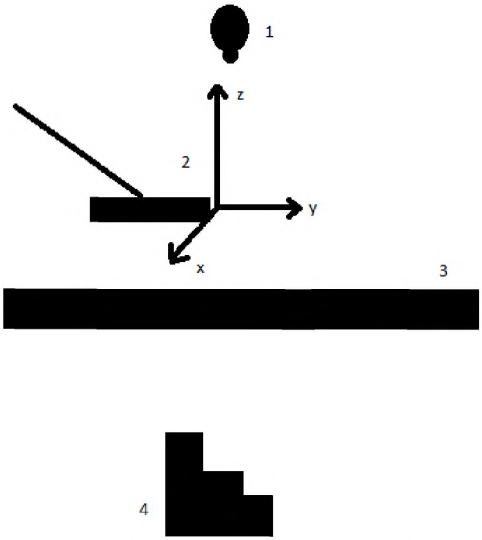

Рис. 1. Схема проведения эксперимента: *1* – камера; *2* – радиолокатор; *3* – преграда; *4* – тестовый объект

Алгоритм распознавания маркера сводится к следующим операциям. Сначала изображение с видеокамеры преобразуется в чёрно-белое, далее на полученном растровом изображении обнаруживаются контуры черных областей. Каждый обнаруженный контур обходится по часовой стрелке. Если при обходе контура происходит поворот направо или налево, это интерпретируется как наличие вершины многоугольника. Вершинам, на которых происходит поворот направо, приводится в соответствие код «1», а вершинам, в которых происходит поворот налево, приводится в соответствие код «0». Для определения масштаба и ориентации маркера достаточно знать положения трех его вершин.

Алгоритм восстановления изображения был основан на методе Столта. Источник и приемник совмещены и находятся на расстоянии, много меньшем, чем расстояние до неоднородности. Для упрощения вычислений используем моностатическое приближение с целью замены источника, находящего на расстоянии $2r$, источником на удвоенной частоте (рис. 2). Тогда распределение поля можно записать в виде $\frac{e^{i(2k)r}}{r}$ (r – расстояние от источника до неоднородности).

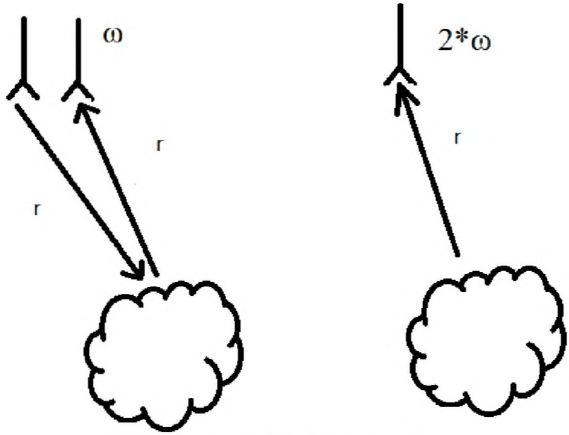

Рис. 2. Моностатическое приближение

Чтобы восстановить изображения методом Столта, необходимо восстановить спектр пространственных частот рассеивающих неоднородностей:

$$\tilde{P}\left(k_x, k_y, k_z\right) = \tilde{U}\left(k_x, k_y, \frac{c}{2}\sqrt{k_x^{\,2} + k_y^{\,2} + k_z^{\,2}}\right),$$

$k = \sqrt{k_x^{\,2} + k_y^{\,2} + k_z^{\,2}}$ – волновое число зондирующей волны, $\tilde{U}$ – спектр пространственных частот измеренного поля.

После восстановления пространственного спектра рассеивающих неоднородностей достаточно осуществить обратное трёхмерное преобразование Фурье, чтобы получить само искомое изображение (рис. 3):

$$P(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} \tilde{P}\left(k_x, k_y, k_z\right) e^{ixk_x + iyk_y + izk_z}\, dk_x dk_y dk_z.$$

Предложенный метод позволяет восстанавливать изображения, если траекторию сканирования можно аппроксимировать плоскостью. Отклонения вверх / вниз от плоскости более чем на 1,5 см приводят к тому, что на высоких частотах происходит подмена нужного сигнала на противоположный по фазе; в результате происходит некорректное восстановление изображения. Это можно исправить двумя способами: использовать более низкие частоты, для них порог отклонения будет выше, чем для высоких, или применить приближение фазового экрана. Первый

способ уменьшает разрешение, кроме того, при больших отклонениях вверх / вниз не гарантирует корректного восстановления изображения. Предлагается использовать приближение фазового экрана. Для этого в алгоритм определения маркера была добавлена процедура определения высоты. Затем наблюдаем за тем, как меняется положение маркера по вертикали.

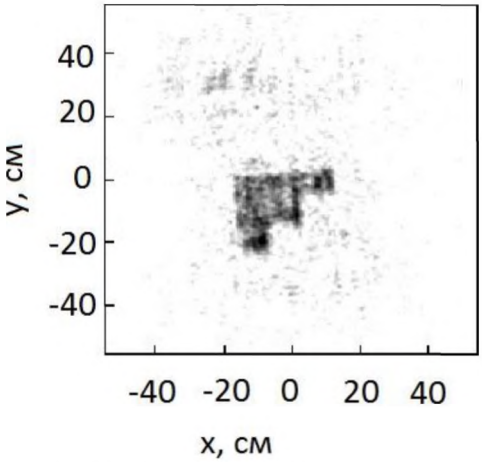

Рис. 3. Восстановленное изображение

Среднее значение высоты аппроксимируем плоскостью. Если сигнал отклоняется больше чем на 1,5 см, меняем фазу на π.

Предложенный метод позволяет восстанавливать изображения путем сканирования по произвольной траектории в трехмерном пространстве. Предложенная технология найдет широкое применение для поиска различных предметов под землей и в помещениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sukhanov D.Ya., Yakubov V.P.* Application of linear frequency modulated signals in three-dimensional radio tomography // Technical physics. – 2010. – Vol. 55, is. 4. – P. 546-550.
2. *Zhuravlev A., Ivashov S., Vasiliev I., Razevig V.* Processing of holographic subsurface radar data // Proc. 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR). 4–8 June 2012. –Shanghai, 2012. – P. 62-65.
3. *Stolt R.H.* Migration by Fourier transform // Geophysics. – 1978. – Vol. 43, № 1. – P. 23-48.