

УДК 534.6

Д.Я. Суханов, Н.Н. Ерзакова

Восстановление изображений скрытых объектов по широкополосным локационным измерениям звукового поля

Предлагается метод дистанционного широкополосного многопозиционного ультразвукового локационного зондирования в воздухе, позволяющий восстанавливать трёхмерные изображения плотных объектов, скрытых за звукопроницаемыми преградами. Экспериментально показана возможность визуализации объекта, скрытого за нетканым полотном в воздухе.

Ключевые слова: ультразвук, синтез апертуры, звуковидение, томография

Ультразвуковые методы визуализации скрытых объектов, как правило, являются контактными и применяются в медицинской диагностике, дефектоскопии, подводной эхолокации [1, 2]. Также в последнее время получают распространение методы ультразвуковой визуализации в воздухе для автоматических систем ориентации в пространстве. В работе [3] были предложены методы визуализации неоднородностей в воздухе на одной частоте. Визуализация скрытых объектов на одной частоте возможна, но имеются значительные искажения, вносимые отражением от преграды.

В данной работе предлагается использовать широкополосные сигналы для повышения качества восстанавливаемых изображений.

Постановка задачи. Предлагается рассмотреть схему измерений (рис. 1). Ультразвуковой излучатель и приёмник перемещаются в плоскости XOY на прямоугольной области с фиксированным шагом. Будем считать, что излучатель и приёмник располагаются достаточно близко на фиксированном расстоянии. Звукопроницаемая преграда располагается на дальности h_1 от объекта, а область измерения находится на расстоянии h_2 от звукопроницаемой преграды. В каждой точке положения системы излучателя и приёмника осуществляется зондирование среды широкополосными ультразвуковыми сигналами и измерение рассеянного сигнала.

В качестве широкополосного сигнала будем использовать сигнал, составленный из суммы гармонических сигналов с нелинейным фазовым сдвигом, что должно обеспечить равномерное распределение энергии сигнала во времени:

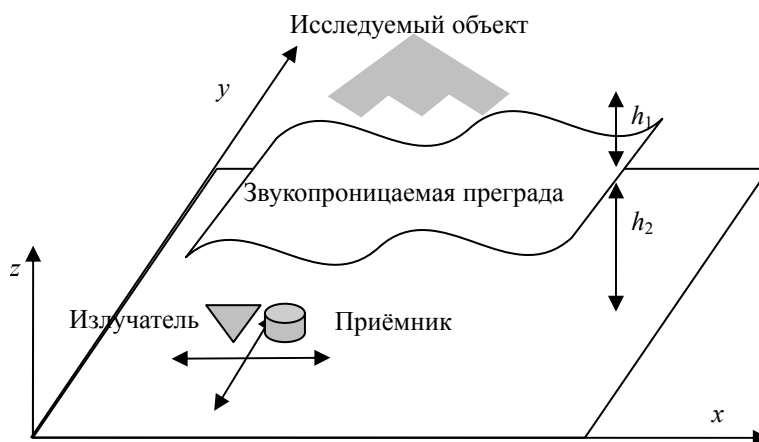


Рис. 1. Схема измерений

$$S(t) = \sum_{n=1}^N \sin(\omega_n t + \varphi_n), \quad (1)$$

где $\varphi_n = \pi n^2 / N$ – нелинейный фазовый сдвиг; N – количество частот в спектре сигнала; ω_n – частоты в спектре сигнала. Нелинейный фазовый сдвиг позволяет избежать появления отдельных максимумов, которые нежелательны для излучающей системы. По сути полученный сигнал имеет форму циклически повторяющегося линейно-частотно-модулированного сигнала.

Поле в области измерений можно записать в виде интеграла свёртки функции реакции на точечный рассеиватель и функции распределения рассеивателей в среде [4]:

$$U(x, y) = \iint_{S'} \rho(x', y') G(x - x', y - y') dx' dy', \quad (2)$$

где с точностью до постоянных множителей $G(x,y) = \frac{\exp\left(ik2\sqrt{x^2+y^2+h^2}\right)}{x^2+y^2+h^2}$; $k = \frac{\omega}{c}$ – волновое число в среде; $h = h_1 + h_2$ – дальность до плоскости рассеивающего объекта; S – область размещения плоского рассеивающего объекта; $\rho(x',y')$ – функция, описывающая распределение рассеивателей в плоскости на дальности h .

Решение обратной задачи, т.е. восстановление распределения рассеивающих неоднородностей по измеренному полю, предлагается осуществить на основе метода пространственно согласованной фильтрации:

$$p(x',y') = \iint_S U(x,y) G^*(x-x',y-y') dx dy, \quad (3)$$

где $p(x',y')$ – восстановленное распределение неоднородностей на одной частоте; S – область перемещения приемопередающей системы.

В случае измерений в широкой полосе частот предлагается для восстановления изображения суммировать результаты согласованной фильтрации на всех частотах:

$$P(x,y) = \sum_n p(x,y,\omega_n), \quad (4)$$

где $p(x,y,\omega_n)$ – результат пространственно согласованной фильтрации на частоте ω_n .

Экспериментальные исследования. Для экспериментальных исследований была разработана установка согласно схеме (см. рис. 1). В качестве ультразвукового излучателя и приёмника использовались датчики фирмы MuRata MA40S4R. В качестве тестового объекта использовался пластиковый пистолет (рис. 2, а). Пистолет был скрыт за звукопроницаемой преградой из нетканого полотна (рис. 2, б). Для позиционирования и двумерного сканирования использовался двухкоординатный сканер собственной разработки.



Рис. 2. Фотографии тестового объекта и экспериментальной установки: а – тестовый объект; б – экспериментальная установка

Измерения проводились на двумерной области 40×40 см в полосе частот от 37 до 43 кГц на 32 частотах. Представлены результаты восстановления изображений тестового объекта (рис. 3) по формулам (3)–(4).

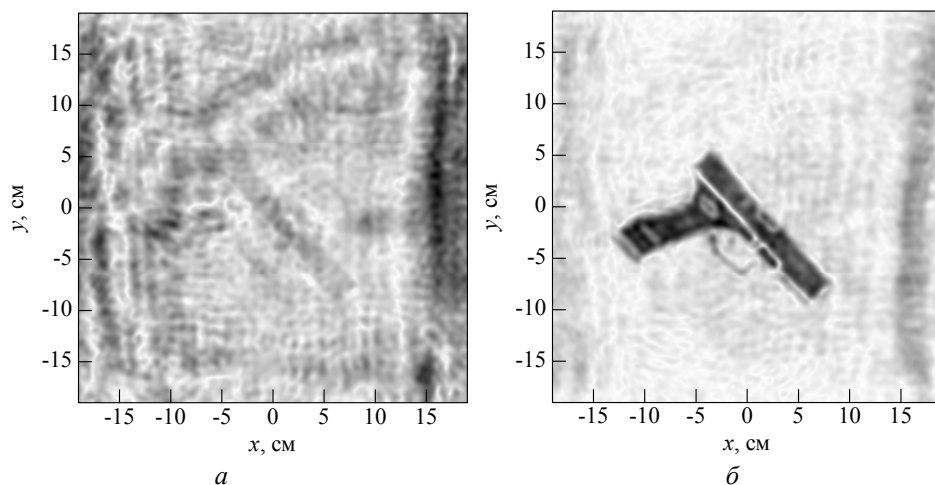


Рис. 3. Результаты восстановления изображений тестового объекта: а – на частоте 40 кГц; б – в полосе частот 37–43 кГц на 32 частотах

В результате видно, что на одной частоте объект не визуализирован, это связано с влиянием отражения от звукопроницаемой преграды. Визуализация при обработке в полосе частот (4) возможна благодаря появлению разрешения по дальности между экраном и объектом.

Заключение. На основе проведенных экспериментальных исследований можно сделать выводы. Широкополосное зондирование и согласованная обработка измеренного поля на различных частотах позволяет увеличить отношение сигнал/шум при ультразвуковом зондировании через звукопроницаемый неоднородный экран. Экспериментально показана возможность визуализации объекта скрытого за звукопроницаемым экраном, с помощью пространственно согласованной широкополосной обработки данных моностатического многопозиционного ультразвукового зондирования.

Литература

1. Алешин Н.П. Ультразвуковая дефектоскопия: справ. пособие / Н.П. Алешин, В.Г. Лупачев. – М.: Выш. шк., 1987. – 271 с.
2. Грегуш П. Звуковидение: пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 232 с.
3. Радиоволновая томография скрытых объектов для систем безопасности / В.П. Якубов, К.Г. Склярчик, Р.В. Пинчук и др. // Изв. высш. учеб. заведений. Физика (Томск). – 2008. – Т. 51, №10. – С. 63–80.
4. Виноградова М.Б. Теория волн / М.Б. Виноградова, О.В. Руденко, А.П. Сухоруков. – М.: Наука, 1990. – 384 с.

Суханов Дмитрий Яковлевич

Доцент каф. радиофизики НИ ТГУ
Тел.: 8-903-914-25-40
Эл. почта: sdy@mail.tsu.ru

Ерзакова Надежда Николаевна

Студентка каф. радиофизики НИ ТГУ
Тел.: 8-953-923-07-58
Эл. почта: yerzakova-nadya@yandex.ru

Sukhanov D.Ya., Yerzakova N.N.

Image reconstruction of hidden objects on broadband location measurements of a sound field

In the paper we propose a method of remote broadband multiposition ultrasonic locational sensing in the air which allows to reconstruct three-dimensional images of dense objects hidden behind sound-transmitting barriers. The experiments shows the possibility of visualization of an object hidden behind nonwoven sheet in the air.

Keywords: ultrasound, aperture synthesis, sound vision, tomography.