

ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРЕЖЕННЫХ МАТРИЧНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК И ЧАСТОТНЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПРИ КОНТРОЛЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ФОКУСИРОВКИ АНТЕННОЙ

Д.О. ДОЛМАТОВ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: dolmatovdo@tpu.ru

На сегодняшний день технология Цифровой фокусировки антенной (ЦФА, зарубежные аналоги – Total Focusing Method, Sampling Phased Array) находит все большее применение в ультразвуковом неразрушающем контроле металлоконструкций. Использование матричных антенных решеток в рамках технологии ЦФА способно обеспечить получение объемных изображений как в одной позиции, так и при сканировании. Тем не менее, стандартным требованием для антенных решеток при использовании технологии ЦФА является шаг решетки не более половины волны в объекте контроля. В случае матричных антенных решеток это приводит к необходимости использования преобразователей с большим количеством элементов, что затрудняет задачу получения результатов в режиме реального времени и предъявляет высокие требования к применяемым блокам многоканальной электроники.

Для повышения скорости восстановления дефектов при использовании технологии ЦФА и матричной антенной решетки интерес представляет совместное использование различных подходов, которые по отдельности ранее показали свою эффективность. В данной работе рассмотрено использование разреженных матричных антенных решеток вместе вычислительно-эффективными алгоритмами цифровой когерентной обработки с расчетами в частотной области. Под разреженными антенными решетками понимается такой режим работы преобразователя, при котором не каждый элемент принимает участие в зондировании объекта контроля и приеме отраженных сигналов. Таким образом, обеспечивается сокращение объема сигналов, подлежащих обработке при использовании технологии ЦФА. Высокая скорость восстановления изображений при использовании алгоритмов цифровой когерентной обработки с расчетами в частотной области подтверждена сравнительным анализом с алгоритмами расчета во временной области [1].

В рамках данной работы алгоритм с расчетами в частотной области, рассмотренный в [2] был адаптирован для случая восстановления трехмерных изображений и применения разреженных матричных антенных решеток. Это обеспечивается использованием алгоритма неэквидистантного быстрого преобразования Фурье, который учитывает расположение элементов матричной антенной решетки с непостоянным шагом.

Эффективность совместного использования разреженных антенных решеток и частотного алгоритма цифровой когерентной обработки сигналов проверялась экспериментально. При проведении экспериментов использовалась матричная антенная решетка Doppler 5M8×8BP1.0, рисунок 1. Параметры преобразователя представлены в таблице 1.



Рисунок 1 – Матричная антенная решетка Doppler 5M8×8BP1.0

Таблица 1 – Основные параметры матричной антенной решетки Doppler 5M8×8BP1.0

Параметр	Значение
Количество элементов в АР	8х8
Рабочая частота элементов АР	5 МГц
Шаг АР	1 мм
Размер одного элемента АР, мм	0.8х0.8

Регистрация ультразвуковых сигналов осуществлялась с использованием блока многоканальной электроники Optus (I-Deal Technologies GmbH, рисунок 2).



Рисунок 2 – Электронный блок OPTUS

В качестве объекта контроля использовался участок стального тестового образца толщиной 30 мм, содержащий плоскодонное отверстие диаметром 2 мм, которое было засверлено на глубину 20 мм.

При проведении экспериментальной верификации рассматривалась разреженная матричная конфигурация из 32 элементов, определенная произвольным образом. Расположение активных элементов в преобразователе представлено на рисунке 3.



Рисунок 3 – Рассмотренная конфигурация разреженной матричной антенной решетки

При проведении экспериментальной проверки регистрация отраженных эхо-сигналов проводилась только активными элементами конфигурации и состояла из нескольких этапов. На каждом этапе один из элементов зондировал объект контроля, в то время как все элементы преобразователя принимали отраженные сигналы. Количество этапов соответствовало количеству активных элементов. Полученный набор сигналов подвергался обработке с использованием алгоритма на основе неэквидистантного быстрого преобразования Фурье. Для оценки полученных результатов проводился сравнительный анализ с результатами, полученными при использовании такой же конфигурации разреженной решетки и использованием временного алгоритма, адаптация которого при использовании разреженных антенных решеток не вызывает сложностей. При этом использовались одинаковые параметры восстановления изображения (размеры изображения и разрешения по трем осям). Временной

и частотный алгоритм цифровой когерентной обработки наборов сигналов разреженных антенных решеток были реализованы с использованием программного пакета Matlab.

В обоих случаях результатом обработки служили трехмерные изображения дефектов, двумерные проекции которых на плоскость перпендикулярную распространению ультразвуковых волн (плоскость XY) представлены на рисунке 4.

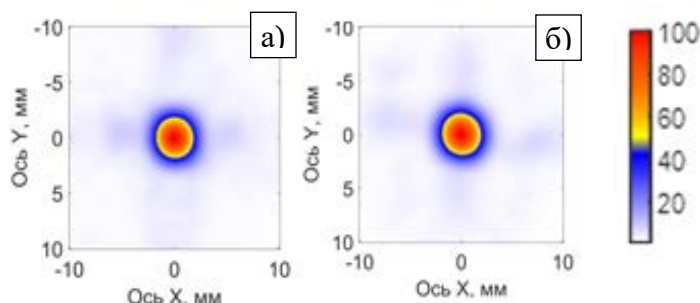


Рисунок 4 – Изображения, полученные с использованием двух подходов:
а – частотный алгоритм; б – временной алгоритм

Оценивалось отношение сигнал/шум и время, затраченное на восстановление результатов, полученных с использованием двух подходов. Для оценки ОСШ использовалось выражение:

$$SNR = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{I_1}{I_2} \right), \quad (1)$$

где I_1 – максимальная амплитуда вокселя, содержащего дефект на восстановленном изображении

I_2 – максимальная амплитуда вокселя в области изображения, где дефект отсутствует.

Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты сравнительного анализа

	ОСШ, дБ	Время восстановления, с
Частотный алгоритм	23,12	0,49
Временной алгоритм	21,91	0,61

Таким образом, применение разреженных матричных решеток совместно с алгоритмами цифровой когерентной обработки с расчетами в частотной области показало свою эффективность. Указанный подход обеспечил скорость восстановления изображения дефекта на 31,1% выше относительно использования временного алгоритма. При этом для полученных результатов получено сходное значение ОСШ (разница 1,2 дБ).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00244, <http://rscf.ru/project/22-79-00244/>

Список литературы

1. Marmonier M., Robert S., Laurent J., Prada C. Real-time 3D imaging with Fourier-domain algorithms and matrix arrays applied to non-destructive testing // Ultrasonics.– 2022. – Vol. 124, article number: 106708.
2. Hunter A.J., Drinkwater B.W., Wilcox P.D. The wavenumber algorithm for full-matrix imaging using an ultrasonic array //IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control. 2008. – V. 55, № 11.– P. 2450–2462.