

УДК 519.688

**3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
ДЕФЕКТΟΣКОПИИ**

С.В. Зыков

Томский политехнический университет

E-mail: ser.viz@gmail.com

Зыков Сергей Викторович,
техник Международной научно-образовательной лаборатории неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: ser.viz@gmail.com

Область научных интересов:
специализированные системы обработки и анализа изображений и сигналов.

На сегодняшний день существует множество средств визуализации ультразвуковых данных, но все они, как правило, интегрированы в дефектоскопы. Когда у нас возникает потребность извлечь данные сканирования, произвести собственную обработку, и представить в трехмерном изображении, то мы оказываемся лишенными возможности визуализации. Предложенное программное обеспечение на основе алгоритма SAFT позволяет произвести постобработку данных сканирования (А-сканов) и

двумерную и трехмерную визуализацию.

Ключевые слова:

SAFT, SPA, фазированная решетка, визуализация.

Ультразвуковая дефектоскопия, благодаря своей безопасности и универсальности, является наиболее применимой для большинства задач неразрушающего контроля (НК) в промышленности, строительстве, энергетике, медицине и других областях. За последние десятилетия появилась четкая тенденция увеличения точности результатов контроля и информативности методов НК. Такое развитие стало возможным благодаря новым алгоритмам и методам обработки информации, а компьютеризация и стремительный рост возможностей электроники послужили для этого катализатором [1].

Необходимость повышения информативности ультразвуковых методов НК существовала всегда. Ведь заключение о состоянии объекта контроля (ОК) дает не компьютер и не дефектоскоп, а оператор. Человек делает выводы на основании увиденного. Поэтому увеличение точности результатов исследования и их наглядное представление должно быть направлено на получение единственно верного вывода об ОК. В этом плане нет ничего лучше, чем представить дефект в трехмерном изображении и предоставить оператору возможность наглядно оценить критичность дефекта.

Представление данных о внутренней структуре изделий в виде изображения позволяет определить местоположение, размеры и форму дефектов, а, следовательно, позволяет оценить их реальную опасность. На основе анализа изображений решаются вопросы происхождения дефектов, и может быть скорректирована технология изготовления, принимаются решения о возможности ремонта или о возможности дальнейшей эксплуатации оборудования. В этом отношении ультразвуковой метод является, пожалуй, самым плодотворным с точки зрения формирования изображений. Высокая чувствительность, безопасность применения и оперативность делает его наиболее конкурентоспособным по сравнению с другими методами неразрушающего контроля.

Множество современных дефектоскопов, например: «A1550 IntroVisor» (компания «Акустические Контрольные Системы»), «OmniScan» (компания «R/D Tech»), «Phasor XS» (компания «GE Inspection Technologies»), IDDealSystem3D (компания «IDeal-Technologies»), имеют интегрированные средства визуализации, но только данных непосредственного сканирования. Поэтому, для собственной постобработки данных контроля и последующей их реконструкции в 3-мерное изображение необходимо создание собственного средства визуализации.

Таким образом, перед нами стоит цель – добиться качественной 3D-визуализации дефектов. Задача состоит из двух этапов: первый – сканирование ОК и получение данных; второй – обработка данных и построение изображения.

Сканирование и получение данных

Сканирование производится новым ультразвуковым методом «Тактированной фазированной решетки» (Sampling Phased Array, или сокращенно SPA). Метод основан на поочередном возбуждении каждого преобразователя решетки. Ультразвук распространяется во всех направлениях. Прием отраженных сигналов осуществляется всеми преобразователями одновременно. Формируется матрица временных данных, которая затем используется в получении изображения (рис. 1) [2].

Данный метод предлагает высокую скорость сканирования: необходимо всего лишь 4 такта «передачи–приема» ультразвука (для 4-х элементной фазированной решетки), чтобы просканировать область под датчиком. Это позволяет провести оперативное сканирование ОК большой площади.

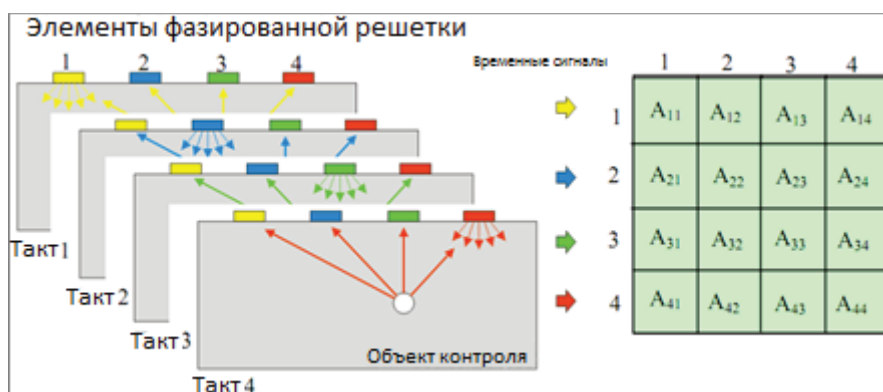


Рис. 1. Сканирование методом SPA и информационная матрица для 4-х элементного датчика

Произвести сканирование методом SPA позволяет стационарная система ультразвукового контроля IDEalSystem3D компании «IDeal-Technologies» [3]. Система состоит из: 2-х осевого манипулятора для сканирования, ультразвукового датчика, водяной ванны для введения ультразвука в ОК и персонального компьютера (рис. 2). После сканирования полученные данные обрабатываются, и оператору предоставляется изображение дефектов.



Рис. 2. Стационарная система IDEalSystem3D для ультразвукового контроля

Обработка данных и построение 3D изображения

Для того чтобы получить 3-мерное изображение, нужно добиться реконструкции одного слоя сканирования. На рис. 3 показан принцип создания 3D изображения.

За основу реконструкции изображения взят метод Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT) [4]. Эхосигналы в ультразвуковой системе несут неполную (размытую) информацию об

отражателях. Методы SAFT используют различную обработку сигналов, после которой неопределенность расположения и формы дефектов резко уменьшается, и дополнительно данные о дефектах представляются в виде двумерных или 3-мерных картин.

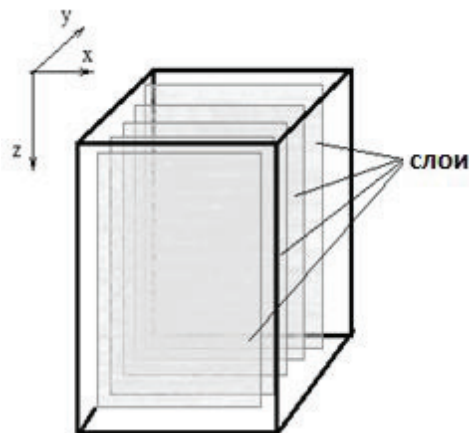


Рис. 3. Создание 3D изображения

Для разработки алгоритма обработки информации и построения изображения выбран пакет программирования и математического моделирования MATLAB.

Одним из SAFT-методов синтеза изображения является метод расчета во временной области (Time Domain Technique), который использует эхосигналы, полученные с различных направлений прозвучивания. В общем виде расчет акустического изображения происходит следующим образом [5]

$$b(x, z) = \left| \sum_{k_i=k_{i1}}^{k_m} \sum_{k_r=k_{r1}}^{k_m} P_c(\tau_{ir}) \right|. \quad (1)$$

Величина $b(x, z)$ дает яркость изображения в плоскости координат x, z . Суммированию подвергаются высокоамплитудные ультразвуковые эхосигналы $P_c(\tau_{ir})$, индекс «с» отмечает пару преобразователей – излучатель (индекс «i») и приемник (индекс «r»), от которых получен эхосигнал. Временной отсчет эхосигнала τ_{ir} сопоставляется с точкой плоскости под датчиком (координаты x, z) исходя из геометрического расположения ультразвуковых преобразователей

$$\tau_{ir} = r_i + r_r / c, \quad (2)$$

$$r_i = \left[\left(p \cdot (k_i - 1) + \frac{e}{2} - h \cdot x \right)^2 + (h \cdot z)^2 \right]^{1/2}, \quad (3)$$

$$r_r = \left[\left(p \cdot (k_r - 1) + \frac{e}{2} - h \cdot x \right)^2 + (h \cdot z)^2 \right]^{1/2}, \quad (4)$$

В выражениях (1), (2), (3) и (4) k_i и k_r – номер излучателя и приемника, соответственно, x и z – координаты точки плоскости, координата z для преобразователей равна нулю, r_i – расстояние от излучателя до точки расчета, r_r – расстояние от приемника до точки расчета, c – скорость продольных ультразвуковых волн, h – шаг точек расчета, p – расстояние между центрами соседних преобразователей, e – размер преобразователя.

Пространство под преобразователем разбивается на конечные элементы, и с помощью полученных уравнений рассчитываются расстояния от центра каждого элемента преобразователя до каждой точки пространства, как показано на рис. 4.

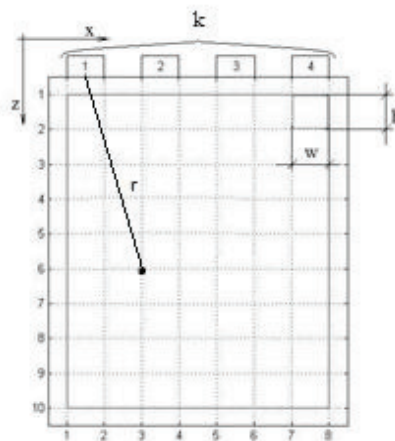


Рис 4. Разбиение пространства под преобразователем

В результате, в среде MATLAB была создана модель, которая позволяет рассчитать объем объекта контроля в зависимости от параметров сканирования и размера фазированной решетки. Данные, полученные в результате сканирования методом SPA, вводятся в модель, где и происходит построение 3-х мерного изображения.

Проведение эксперимента

Для первоначальных испытаний был смоделирован процесс сканирования стального бруска с боковым цилиндрическим отверстием методом Sampling Phased Array с помощью 4-элементной линейной фазированной решетки. Само по себе моделирование заключается в создании файла данных с результатами сканирования. Табличная структура файла показана на рис. 5. Количество строк в файле соответствует количеству временных отсчетов. Первый столбец – значения времени, следующие четыре – значения амплитуд эхосигнала. Значения амплитуд выбраны условно, так же как и время отсчета. Если было отражение от дефекта, то в определенное время приходит «1», если не было – «0».

| data.txt — Блокнот | | | | |
|--------------------|--------|--------|-----|---------|
| Файл | Правка | Формат | Вид | Справка |
| 0.0001 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.0002 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| • • • | | | | |
| 0.0059 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0.0060 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0.0061 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0.0062 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0.0063 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0.0064 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0.0065 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0.0066 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0.0067 | 1 | 1 | 0 | 1 |

Время (условная размерность) Амплитуда эхо-сигнала (1- есть отражение, 0 - нет отражения)

Рис 5. Структура файла данных смоделированного сканирования

Для проверки и отладки алгоритма реконструкции изображения по методу SAFT в пакете математического моделирования MATLAB была написана программа, куда экспортируется файл с данными сканирования.

Реконструкция заключается в заполнении слоя амплитудами эхосигналов, т. е. каждой точке присваивается амплитуда сигнала, как если бы в этой точке существовал виртуальный отражатель. Используя 4-элементный датчик, получаем 4 такта озвучивания, и в каждом такте по 4 такта приема. Итого 16 тактов, в каждом из которых полностью заполняется разделенное на элементы пространство. В результате мы имеем 16 кадров, которые накладываются друг на

друга, при этом амплитуды в каждой точке суммируются. Применяв фильтрацию по максимальному значению, выделяется точка, координаты которой соответствуют положению имитированного дефекта. На рис. 6 показан слой до фильтрации и после.

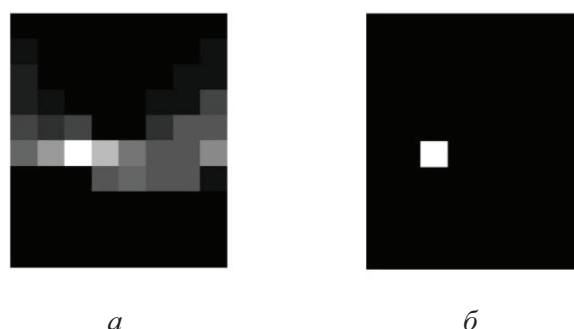


Рис. 6. Слои: а) результирующий; б) обработанный

Дублируя полученный слой, строится 3-мерное изображение. На рис. 7 показано имитированное и восстановленное 3D изображение бокового отверстия.

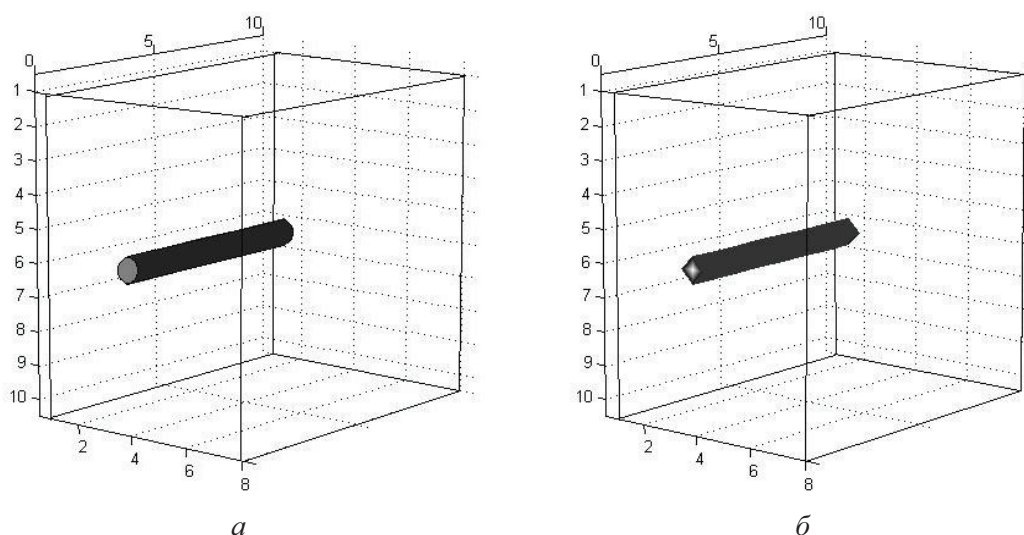


Рис. 7. Изображения отверстия: а) имитированное; б) 3-х мерное восстановленное

Из проведенного эксперимента можно сделать вывод, что алгоритм, созданный на основе метода SAFT, работает и позволяет реконструировать изображение по данным сканирования. Как видно на рис. 7, форма восстановленного отверстия не совпадает с формой заданного. Это связано с малым разрешением восстановленного изображения, поэтому данная модель позволяет судить больше о положении дефекта, чем о его форме и размерах.

При реальном сканировании установкой IDealSystem3D в памяти дефектоскопа создаются файлы со структурой подобной структуре самостоятельно созданного файла (рис. 5). Поэтому предложенное в статье программное обеспечение для реконструкции изображения применимо для обработки реальных файлов, извлекаемых из памяти установки после проведения сканирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. X Европейская конференция по неразрушающему контролю. Отчет. Секция 1.3. Ультразвуковые методы // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 8. – С. 21–25.

2. Pudovikov S., Bulavinov A., Pinchuk R. Innovative Ultrasonic Testing (UT) of Nuclear Components by Sampling Phased Array with 3D Visualization of Inspection Results // Fraunhofer-Publica. 2011. URL: <http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn:nbn:de:0011-n-1781047.pdf> (дата обращения 12.04.2012).
3. IDEalSystem3D. Технический паспорт. URL: <http://www.i-deal-technologies.com/files/pdf/IDEal%20System%20CFK-Line.pdf> (дата обращения 12.04.2012).
4. Амитей Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ фазированных антенных решёток / Пер. с англ. под ред. А.Ф. Чаплина. – М.: Мир, 1974. – 455 с.
5. Бархатов В.А. Развитие методов ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений // Дефектоскопия. – 2003. – № 1. – С. 28–55.

Поступила 25.06.2012 г.