

ТРЕХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ МЕТОДОМ SAFT В РЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Буй Ван Донг

Научный руководитель: Солдатов А.И., д.т.н., Профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ddsval@yahoo.com

Метод синтезированной фокусированной апертуры (Synthetic aperture focusing technique или сокращено SAFT) был разработан для радиолокационных систем в 1950-е и начально реализован с использованием цифровых вычислительных машин в конце 1970-х и более продвинутые методы были введены в конце 1980 года. Данный метод имеет высокое пространственное разрешение ультразвукового изображения, позволяет точно прогнозировать и оценить положение и размер дефектов материалов. Не смотря на это, в начале этот метод не нашел широкое применение в области неразрушающего контроля из-за его усилий численных вычислений и времени обработки, особенно, когда требует отражение результата контроля в 3D виде. В настоящее время с помощью современных вычислительных техник, метод SAFT широко применяется для реконструкций объектов контроля в виде двухмерных и трехмерных картин.

Алгоритм SAFT может быть реализован во временной области или в частотной области. Настоящая статья представляет результаты применения метод SAFT во временной области для трехмерной реконструкции объектов контроля. Эксперименты проводились с использованием системы IDEalSystem3D компании «IDEal-Technologies» и медных проводов, находящихся в водяной ванне.

Целью данной статьи является обеспечение начальной точки для исследования ультразвуковой трехмерной визуализации методом SAFT, и далее применение этого метода к разработке алгоритма и программы для контроля неоднородных веществ с отражением результатов контроля в 3D виде.

I. Алгоритм трехмерной реконструкции методом SAFT во временной области.

Ультразвуковая волна распространяется в неоднородной среде и отражается от границы между двумя различными материалами. В Акустических системах визуализации, использующие эхо-импульсный поход, излучатель передает короткий импульс ультразвуковой энергии и приемник принимает эхо-сигнал для формирования изображения реконструкции.

При применении метода SAFT во временной области для трехмерной реконструкции объектов контроля, пространство объекта контроля под преобразователями разбивается на конечные элементы (пиксель) и каждый элемент считается дефектом, зачем учитываются все возможные

поступающие эхо-сигналы из каждого элемента для построения акустического изображения.

В данной работе используется линейная фазированная решетка и метод сканирования «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. При сканировании решетка движется по двум перпендикулярным осям с заданным шагом над объектом контроля в водяной ванне.

Для элемента с координатами x, y, z , акустическое изображение рассчитывается следующим образом [2]

$$A(x, y, z) = \left| \sum_{y_b=y_{b1}}^{y_{b2}} \sum_{x_e=x_{e1}}^{x_{e2}} P_c(t_{be}) \right|$$

Величина $A(x, y, z)$ дает прозрачность изображения в пространстве координат x, y, z . Суммированию подвергаются высокочастотные эхосигналы $P_c(t_{be})$. Индекс «с» здесь отмечает пару преобразователей - излучатель и приемник, от которых получен эхосигнал. Временной отчет эхосигнала t_{be} сопоставляется с точкой изображения (координаты x, y, z) исходя из геометрического расположения ультразвуковых преобразователей

$$t_{be} = (r_b + r_e) / C_l,$$

$$r_b = \sqrt{(x_b - x)^2 + (y_b - y)^2 + z^2}, \quad r_e = \sqrt{(x_e - x)^2 + (y_e - y)^2 + z^2}$$

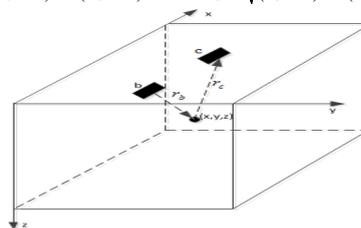


Рис. 1. Схема расчета акустического изображения

Где индекс «b» обозначает номер излучателя, и индекс «с» номер приемника. Соответственно, x_b, y_b, x_e, y_e - координаты излучателя и приемника, координата для всех преобразователей равна нулю, r_b - расстояние от излучателя до точки отчета, r_e - расстояние от приемника до точки отчета, C_l - скорость продольных волн.(Рис. 2.)

Предлагается следующие алгоритм построения изображения.

1. Разбиваем пространство под антенной решетки на конечные элементы с определенными шагами.

2. Для каждого элемента М рассчитывается $A_i(x, y, z)$ для всех положений антенной решетки.

3. Суммируем все полученные результаты:

$$A_M(x, y, z) = \sum_{i=1}^n A_i(x, y, z)$$

4. Построим изображение.

Для улучшения помехозащищенности изображение применяется корреляционная функция[3].

$$A_M(x, y, z) = \sum_{i \neq j} A_i(x, y, z) \cdot A_j(x, y, z)$$

Разрешающая способность метода SAFT зависит от длительности акустического импульса, размеров фазированной решетки, скорости ультразвука. Предельная разрешающая способность равна половине длины акустических волн.

II. Проведение экспериментов.

Эксперименты проводились с использованием линейной фазированной решетки (ЛФР), имеющей 16 элементов. Расстояние между элементами решетки составляет 0,6мм. Центральная частота возбуждения элементов преобразователя составляла 5МГц и частота дискретизации составляла 80МГц. Скорость ультразвука в воде была принята 1500М/С(соответственно длина волны равна 0,3мм) Была написана программа на языке Delphi с использованием библиотеки OpenGL(Рис.2.). Эта программа автоматически обрабатывает данные и построит 3D изображение(А-на Рис. 2.) и его срезы по всем трем осям (С-на Рис. 2.). Также программа позволяет менять угол и направление наблюдения, и плоскости резания(В на Рис. 2.).

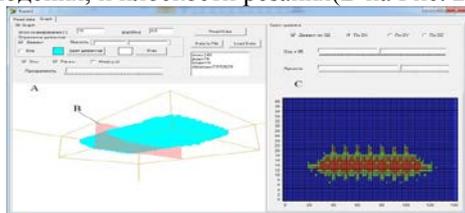


Рис. 2 . Программа обработки данных

В первом эксперименте, были расположены 4 параллельных медных проводов диаметра 0,3мм в водящей ванне на глубине 25мм от поверхности фазированной решетки (Рис. 3.). Трехмерное изображение проводов в ванне и его томографический срез показано на Рис.4.

Во втором эксперименте были расположены 4 параллельных медных проводов диаметра 0,45мм в водящей ванне на глубине 25мм от поверхности фазированной решетки (Рис.5.-а). Трехмерное изображение проводов в ванне показано на Рис.5.-б.

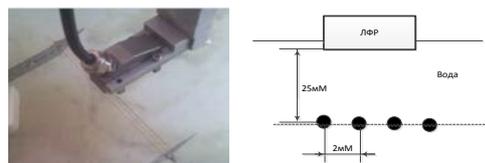


Рис.3. Схема первого эксперимента

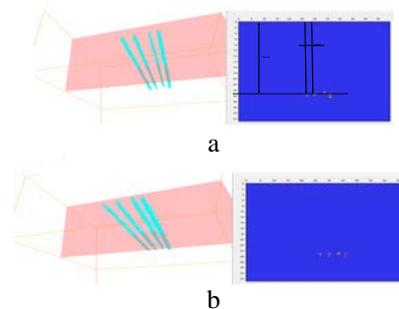


Рис.4. Трехмерное изображение проводов в ванне и его томографический срез: а-с использованием корреляционной функции; б-без корреляционной функции.

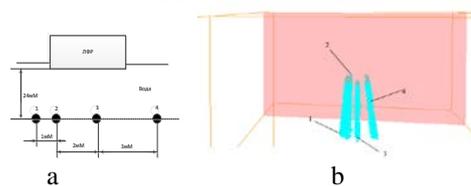


Рис.5. Второй эксперимент.

В третьем эксперименте были расположены 4 параллельных медных проводов диаметра 0,45мм на наклонной плоскости, расположенной под углом 45 градусов к горизонту (Рис.6.-а). Трехмерное изображение проводов в ванне показано на Рис.6.-б.

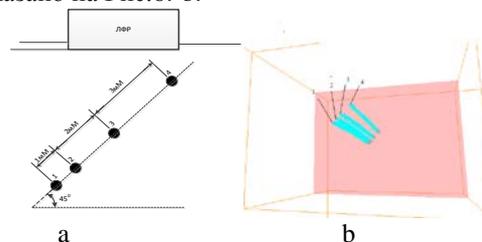


Рис.6. третий эксперимент.

Из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что алгоритм и программа, созданные на основе метода SAFT работает и позволяет реконструировать 3D изображение и его срезы по данным сканирования. Программа позволяет не только определить положение дефектов, но и его форму и размеры. Из Рис.5ю и Рис.6. видно, что модели два провода легко разрешаются, если расстояние между ними больше длины волны. Это значит, разрешение составляет длину волны.

Список литературы

1. Fredrik Lingwall. Time-domain reconstruction methods for ultrasonic array imaging. Uppsala University 2004.

2. Бархатов В.А. Развитие методов ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений // Де-фектоскопия. –2003.