

радиомодуль, после чего микроконтроллер снова переводит блок в спящий режим, но на меньшее время – 1 минуту. Затем работа алгоритма повторяется.

Конструктивно блок выполнен виде печатной платы с расположенными на ней микроконтроллером, радиомодулем и передающей антенной. Печатная плата и батарея расположены в герметичном маслостойком радиопрозрачном корпусе, закрепленном на шатуне с помощью скобы, которая в свою очередь фиксируется болтом шатунной крышки. Датчики температуры вынесены за пределы корпуса блока и соединены с ним проводами с масло- и термостойкой изоляцией.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эльхутов С. Н., Ляпустина Л. Ю. Информационная система для определения технического состояния поршневых машин. Актуальные вопросы образования и науки: Сборных научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 декабря 2013г. в 14 частях. Часть 12; Мин. образования и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес. Наука. Общество», 2014. – 171с.
2. Elkhutov S.N., Sitosanova O.V. Complex of Non-Destructive Control for Pumps and. Piston Compressors // IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015), Russia, Omsk, 21-23 May 2015.

#### **АППАРАТНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЕТКИ**

Асочаков А.С., Шульгина Ю.В., Шульгин Е.М.

Научный руководитель: Сорокин П.В., доцент кафедры промышленной и медицинской электроники  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г.Томск, пр.Ленина,30,634050  
E-mail: arseniy.asochakov@yandex.ru

#### **HARDWARE PROCESSING OF DATA OF PHASED ARRAY**

Asochakov A.S., Shulgina Yu.V., Shulgin E.M.

Scientific Supervisor: Associate Professor of the Department of Industrial and Medical Electronics Sorokin P.V.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30,634050  
E-mail: arseniy.asochakov@yandex.ru

*Аппаратная реализация обработки данных с фазированной антенной решеткой датчиков, позволяющая проводить вычисления параллельно, т.е. по нескольким каналам позволит существенно усовершенствовать технику акустического неразрушающего контроля. В статье приводится методика построения изображения контролируемого объекта, с использованием программируемой логики. Описана процедура свертки матрицы, хранящей временные отрезки. В результате усовершенствования метода обработки данных с многоэлементных датчиков получили: сокращение объема памяти, необходимой для реализации системы обработки; увеличение скорости сканирования за счет организации параллельных вычислений; упрощение системы передачи данных вследствие того, что пропадает необходимость в передаче большого объема информации. Аппаратная обработка на ПЛИС, которая показана в данной статье, позволит передавать только конечное изображение объекта, снизив нагрузку на передающее устройство с помощью сокращения алгоритма построения изображения, представленного в статье.*

*The hardware implementation of the data processing with a phased array of sensors, allowing performing computations in parallel, i.e., across multiple channels will allow improving the technique of acoustic non-destructive testing. The article provides a method of imaging of the controlled object, with the use of programmable logic. Described procedure of matrix convolution, stored time intervals. As a result of improved data processing method with multi-element sensor, obtained: reducing the amount of memory required for the implementation of the processing system; increase the scan speed at the expense of parallel computing; simplified data transfer system because the is no need to transfer large amounts of information. As a result of improved data processing method with multi-element sensor, obtained: reducing the amount of memory required for the implementation of the*

*processing system; increase the scan speed at the expense of parallel computing; simplified data transfer system because there is no need to transfer large amounts of information.*

Развитие техники неразрушающего контроля открывает новые возможности перед специалистами: появляются новые методики контроля, увеличивается скорость сканирования объекта, меняется формат данных др. В ультразвуковом контроле, с разработкой антенных решеток, появилась возможность получения более полной информации об объекте контроля. Очевидно, что с увеличением количества элементов массива датчиков, увеличивается и точность воспроизведения объекта контроля, в тоже время возрастает сложность и стоимость системы управления и обработки данных.

Разработанный во Фраунгоферовском институте, метод SPA (Sampling phased array) активно применяется для решения задач неразрушающего контроля [1]. Достоинством SPA метода является реализация всех углов озвучивания контролируемого объекта после одного цикла приема-передачи. Все элементы решетки последовательно возбуждаются, при этом после принятые параллельно каждым преобразователем сигналы сохраняются для последующей обработки. Увеличение количества элементов в массиве, приводит к увеличению объема хранимой и передаваемой информации. Ограничение в скорости у передающих каналов приводит к снижению скорости восстановления контролируемого объекта [2].

Метод может быть использован для большого количества задач контроля, например, исследование композитных материалов на наличие пор и включений, что является весьма сложной задачей для одноканального озвучивания объекта [3].

Аппаратная реализация обработки данных с антенной решеткой позволит снизить время построения изображения за счет параллельных вычислений, которые можно реализовать на одном кристалле. Для проведения расчетов в режиме реального времени, предварительно рассчитываются и записываются все времена распространения ультразвука от каждого датчика через каждую точку объекта контроля. Для проведения диагностики пространство под решёткой делят на конечные элементы, с помощью теоремы Пифагора рассчитываются времена распространения ультразвука от центральной точки каждого излучателя до каждой точки контролируемого объекта (рис. 1).

Время распространения вычисляется по формуле  $t = \frac{\sqrt{(h \cdot w)^2 + (k \cdot w)^2}}{c}$ , где  $h$  – номер точки по вертикали,  $k$  – номер точки по горизонтали,  $w$  – шаг, расстояние между соседними точками,  $c$  – скорость распространения звука в среде.

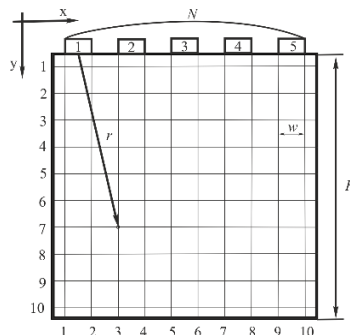


Рис. 1. Представление объекта исследований конечным числом контролируемых точек

В предварительных вычислениях формируется матрица, несущую информацию о временах распространения ультразвука в зависимости от номера точки, номера излучающего датчика и номера

принимающего датчика (Табл. 1). Размер этой матрицы будет определяться по формуле:  $V = m \cdot n \cdot N \cdot Z$ , где  $m$  и  $n$  – количество источников и приемников в сканирующей системе,  $N$  – количество точек в изображении объекта контроля,  $Z$  – количество бит, определяющих время распространения (зависит от точности восстановления изображения). В результате, для построения изображения размером 1280x1024 при сканировании объекта решеткой, состоящей из 16 датчиков необходимо зарезервировать под хранение временных отрезков 671 Мб памяти, если проводить сканирование решеткой из 64 элементов, то потребуется уже 171 Гб. Реализовать аппаратное перемещение и обращение к такому количеству информации крайне сложно, при условии, что необходимо завершить обработку до следующего цикла озвучивания контролируемого объекта.

Таблица 1. Таблица, хранящая расстояния от каждого излучателя до каждого приемника через все точки исследования

$i,j$ Точки	0,0	0,1	1,0	1,1	...	$i,j$
0	$L_{0,0,0}$	$L_{0,1,0}$	$L_{1,0,0}$	$L_{1,1,0}$		$L_{i,j,0}$
1	$L_{0,0,1}$	$L_{0,1,1}$	$L_{1,0,1}$	$L_{1,1,1}$		$L_{i,j,1}$
...	...	...	...	...		...
$m$	$L_{0,0,m}$	$L_{0,1,m}$	$L_{1,0,m}$	$L_{1,1,m}$		$L_{0,0,m}$

$i$  – номер излучателя,  $j$  – номер приемника.

Существенно сократить память, хранящую предварительную информацию, позволит выявление равноудаленных от каждого датчика точек контролируемого объекта (рис. 2). В результате сокращения информационной матрицы для случая построения изображения размером 1280x1024 точек при сканировании 16 датчиками необходимо всего 2Мб, и для случая 64 элементов в массиве достаточно тех же 2Мб. При использовании сокращенной матрицы, ее объем будет зависеть только от количества выбранных точек сканирования, и не зависит от количества датчиков в массиве.

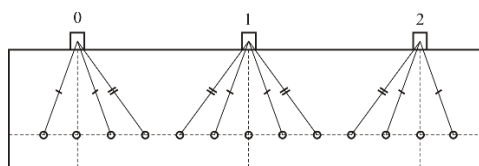


Рис. 2. Расположение точек под преобразователем

Формула, предназначенная для получения расстояния, выглядит следующим образом:

- Для расстояния от излучающего датчика до выбранной точки:

$$L = |x \cdot k - n| + h \cdot n$$

- Для расстояния от выбранной точки до принимающего датчика:

$$L = |y \cdot k - n| + h \cdot n,$$

где  $x$  – номер излучающего датчика;  $y$  – номер принимающего датчика;  $k$  – число точек между ближайшими датчиками;  $n$  – количество точек в строке изображения;  $h$  – количество точек в столбце изображения

На Рис. 3. приводится полученное в пакете MATLAB изображение исследуемого объекта.

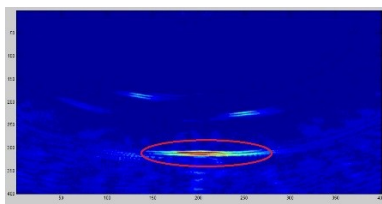


Рис. 3. Изображение исследуемого объекта

При реализации обработки для 16ти канальной системы с учетом оптимизации требуется 32768 бита памяти.

Построение системы обработки данных с фазированной антенной решеткой по описанному выше алгоритму, с учетом минимизации памяти, требуемой для хранения временных промежутков, позволяет сократить требуемый объем памяти в  $N^2$  раз, где  $N$  – количество элементов в решетке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Трехмерная реконструкция объектов контроля методом SAFT во временной области с использованием корреляционной функции. // Буй Д.В., Солдатов А.И., Солдатов Д.А., Хаскова Е.С. – Контроль. Диагностика. –2014. – № 13. – с. 128-132.
- 2.Nondestructive testing of pallets defects by multichannel ultrasound system. // Soldatov A.I., Sorokin P.V., Makarov V.S., Soldatov A.A., Kvasnikov K.G., Bolotina I.O. В сборнике: 52nd Annual Conference of the British Institute of NDT. – 2013. – с. 466-472.
- 3.Особенности ультразвуковой 3D-визуализации в современных средствах контроля. // Болотина И.О. [и др.] – Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – с. 154-157.

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

Битужева С.И., Щаденко С.В., Толмачев И.В.

Научный руководитель: Толмачев И.В., к.м.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: sib3@tpu.ru

#### **THE APPLYING OF THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION FOR PLANNING AND SUPPORTING SURGICAL OPERATIONS**

Bitueva S.I., Shadenko S.V., Tolmachev I.V.

Scientific Supervisor: Ph.D. Tolmachev I.V.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: sib3@tpu.ru

*Аппаратно-программный комплекс для помощи хирургу во время проведения операции, представляет собой систему отображения набора анатомических компьютерных 3D моделей зоны интереса на дисплее в хирургической операционной. Данные анатомические модели получают в результате предварительной реконструкции на основе сегментации медицинских изображений, таких модальностей как КТ, МРТ, ПЭТ и др. Аппаратно-программный комплекс поддержки проведения хирургического вмешательства включает в себя также систему захвата движения, предназначенную для бесконтактного управления, за счёт жестов оператора набором анатомических 3D моделей на дисплее. Система позволяет управлять положением набора 3D моделей, их масштабом и прозрачностью отдельных*