



Технологии НК

3D Visualization of Results of Ultrasonic Inspection

Ya. Yu. Samedov

Method of 3D visualization of surface of defects, detected by ultrasonic inspection method, based on Radial Basis Functions (RBF) is given. Visualization time and accuracy of the method are estimated. Results of reconstruction of surfaces of internal defects with the use of this method, based on UT data are given.

Трехмерная визуализация результатов ультразвукового контроля

Результаты УЗК могут быть представлены в виде А-, В-, С- или D-разверток. Они отображают собой то или иное плоскостное сечение контролируемого объекта. В настоящее время результаты ручного контроля в основном представляются в виде А-развертки.

Представление результатов УЗК в трехмерном виде позволит повысить эффективность системы оператор-дефектоскоп. В связи с этим было решено применить методы, используемые в компьютерной графике для моделирования поверхности объемных объектов, с целью трехмерного отображения дефектов, обнаруженных с помощью автоматизированных систем УЗК. В этой работе при построении поверхностей выявленных дефектов учитываются только временные характеристики отраженных сигналов (т.е. координаты отражающих точек на поверхности дефекта).

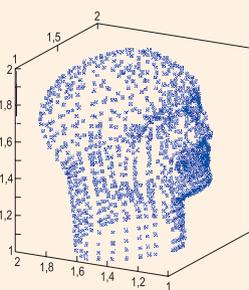


Рис. 1. Множество точек в трехмерном пространстве, полученное после сканирования гипсовой копии головы человека

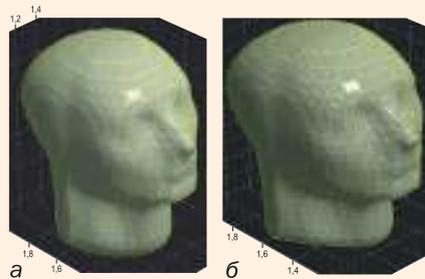


Рис. 2. Визуализация модели гипсовой копии головы человека с использованием RBF (а) и CSRBF (б)

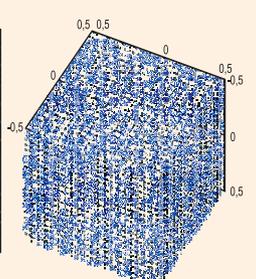


Рис. 3. Множество точек в трехмерном пространстве, расположенных случайным образом на поверхности куба

Моделирование какой-либо поверхности – это построение математической модели поверхности с помощью некоторой функции (или набора функций) с заданными областями определений. После построения модели поверхности необходимо ее визуализировать, т.е. отобразить смоделированную поверхность на экране дисплея.

Для построения объемной модели был выбран метод с использованием функции радиального базиса (Radial Basis Functions, RBF) [1]. Основная идея данного метода состоит в описании поверхности тела одной единственной функцией $f(x, y, z) = 0$, которая задается в неявном виде. Функция $f(x, y, z)$ имеет вид:

$$f(P) = p(P) + \sum_{i=1}^N \lambda_i \phi(|P - P_i|), \quad (1)$$

где N – число точек исходного набора, P – соответствует некоторой точке с координатами (x, y, z) , P_i – соответствует точке P_i исходного набора с координатами (x_i, y_i, z_i) , $p(P) = c_0 + c_1x + c_2y + c_3z$ – полином первой степени, $|P - P_i|$ – Ев-

клидова норма в трехмерном пространстве, λ_i – коэффициенты интерполяции, ϕ – базисная функция.

Опуская математические преобразования, перейдем к полученным результатам. Для их проверки первоначально был проведен компьютерный эксперимент. В качестве исходных данных были использованы данные лазерного сканирования гипсовой копии головы человека (рис. 1). Количество точек – 1488. В эксперименте был использован компьютер следующей конфигурации: Intel PentiumM 1300 МГц (Centrino), 512 Мбайт, RAM, операционная система – Windows XP. Все алгоритмы были реализованы в среде MatLab 6.5.

На рис. 2 приведены результаты построения поверхностей с использованием метода RBF и его модифицированного варианта CSRBF. Модифицированный вариант предполагает меньшее количество вычислений. Численные показатели процессов компьютерного моделирования и визуализации модели приведены в табл. 1. Внешний вид построенных мо-

Об авторе



Самедов Явер Юзифович

Зав. лабораторией автоматизации НК ОАО НПО ЦНИИТМАШ (Москва), к. т. н., III уровень по акустическому, вихретоковому и визуально-измерительному видам НК.

делей практически не отличается. Время визуализации – время, необходимое компьютеру для прорисовки модели, отличается в разы. Эти результаты указывают на эффективность применения модели CSRBF с точки зрения времени.

Для численной оценки погрешностей при использовании этих моделей

Табл. 1

Метод построения модели	Время построения модели, с	Время визуализации модели, с
RBF	48,4	1526,8
CSRBF	24,1	112,14

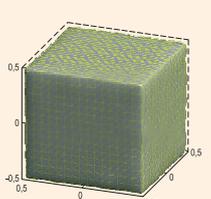


Рис. 4. Визуализация куба, построенного с помощью RBF

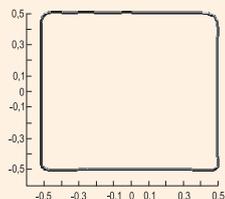


Рис. 5. Сечение куба, построенного с помощью RBF плоскостью $z = 0$

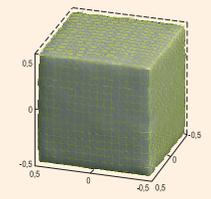


Рис. 6. Визуализация куба, построенного с помощью CSRBF

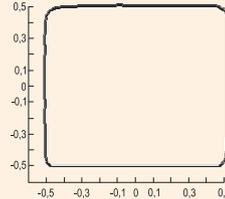


Рис. 7. Сечение куба плоскостью $z = 0$, построенного с помощью CSRBF

необходимо восстановить объект с заранее известными значениями площади поверхности и объема. Этому критерию отвечает куб. Площадь сечения в плоскости $z = 0$ и объем куба (V_c) с единичной длиной ребра равны 1. Был получен набор точек в трехмерном пространстве, расположенных случайным образом на поверхности куба (рис. 3).

Количество исходных точек 2000. Первоначально были произведены расчеты с применением RBF модели, а далее – с применением CSRBF модели. Результаты визуализации приведены на рис. 4 – 7. В табл. 2 приведены показатели, характеризующие точность построения.

Как следует из полученных результатов, куб, смоделированный с помощью RBF, и куб, смоделированный с помощью

CSRBF, практически не отличаются. Погрешности вычисления объема, площади поверхности и площади сечения имеют в обоих случаях одинаковый порядок, но время выполнения алгоритмов с использованием CSRBF существенно ниже, чем время выполнения с использованием RBF. Это подтверждает целесообразность использования CSRBF.

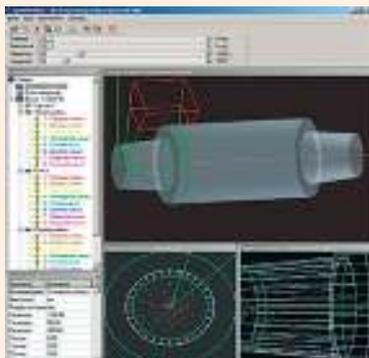


Рис. 8. Графический интерфейс программы визуализации

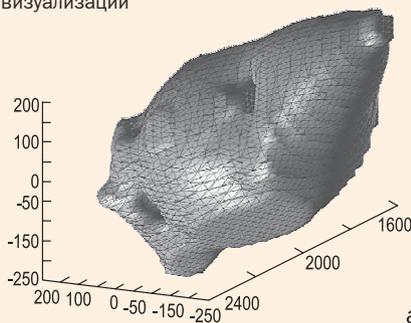


Рис. 10. Компьютерная визуализация дефектной области (а) и эквивалентный эллипсоид (б)

Следует обратить внимание на форму сечения в плоскости $z = 0$. Как видно из рис. 5 и рис. 7. углы квадрата несколько закруглены. Это объясняется тем, что RBF (CSRBF) – дифференцируема во всех точках, где она определена, и поэтому должна быть гладкой и непрерывной. В связи с этим к моделированию «острых» углов и ребер при помощи RBF (CSRBF) нужно относиться внимательно: для наиболее адекватного моделирования скопление точек в районе углов и ребер должно быть более плотным.

Значительные погрешности вычисления площади поверхности обусловлены погрешностью триангуляции и тем фактом, что в районе ребер плотность скопления точек не отличается от плотности скопления на гранях. С учетом изложенного было разрабо-

Табл. 2

Метод	Объем	Площадь	Площадь сечения	Погрешность вычисления		
				объема, %	площади, %	сечения, %
RBF	0,9999	5,6442	1	0,01	5,93	0
CSRBF	0,9998	5,6450	1,0067	0,02	5,92	0,67

тано специализированное программное обеспечение для визуализации результатов УЗК. На рис. 8 показан графический интерфейс программы визуализации. Эта программа была опробована на автоматизированной установке УЗК прокатных валков. При УЗК прокатных валков были обнаружены дефектные зоны. На рис. 9 отоб-

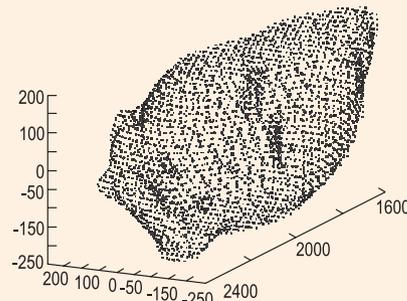
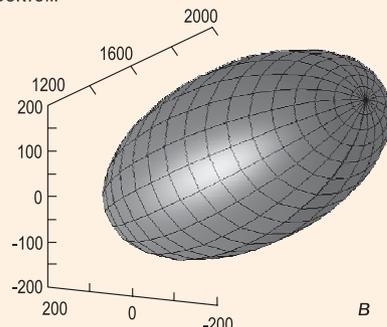


Рис. 9. Результаты УЗК валка с внутренним дефектом



ражены результаты контроля валка с внутренним дефектом, полученные по данным последовательного кругового прозвучивания валка.

Результат визуализации дефектной зоны показан на рис. 10а. Для построения эквивалентного эллипсоида был применен метод наименьших квадратов. Результат построения эквивалентного эллипсоида показан на рис. 10б.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет не только получать реалистичные картины внутренних дефектов, но и производить количественные измерения размеров дефектов (объем, площадь поверхности и любого сечения и т. д.). Полученные результаты могут быть полезны при проведении прочностных расчетов.

Литература

1. Carr J. C., Mitchell T. J. Reconstruction and Representation of 3D Objects with Radial Basis Functions, Computer Graphics. – In: SIGGRAPH 2001/Proceedings. – Los Angeles: 2001, p. 67–76.

Статья получена 31 июля 2007 г.