

文章编号: 2095-2163(2020)02-0194-03

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

基于 N 形模板的超声相控阵三维成像实现

朱铃琳

(上海工程技术大学 航空运输学院(飞行学院), 上海 201620)

摘要: 提出一种超声工业无损检测技术在数据采集、图像处理并实现三维可视化的方法。采用超声相控阵一维线阵探头对 N 形模板进行扫描,然后将采集到的数据在 Matlab 平台编程进行三维成像。结果表明,该方法增强了图像的直观性和客观性,具有实用价值。

关键词: 超声相控阵; 三维成像; 可视化

Realization of ultrasonic phased array 3D imaging based on N-form template

ZHU Linglin

(School of Air Transportation /Flying, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] This paper introduces a method of ultrasonic industrial non-destructive testing technology in data acquisition, image processing and 3D visualization. The N-shaped template is scanned by an ultrasonic phased array one-dimensional linear array probe, and then the acquired data is programmed in the Matlab platform for three-dimensional imaging. The results show that the method enhances the intuitiveness and objectivity and has practical value.

[Key words] ultrasonic phased array; three-dimensional imaging; visualization

0 引言

超声检测技术已经广泛应用于无损检测领域,适用于检测物体表面及内部区域包括隐藏的裂纹、空隙等各种缺陷。由于超声波的传递要求介质是连续的,而在缺陷处的界面产生的干扰信号,使超声信号发生反射,以此成像来判断此界面是否有缺陷。超声相控阵检测技术能够在—个位置开展—系列不同的检测,在每个检测的位置产生图像,操作上更加灵活。这些优点使超声相控阵在工程应用上更广。

诸多学者的研究成果均表明了超声相控阵成像在工业领域有很大的应用前景^[1-2],近年来,计算机图形图像等技术不断发展,基于计算机图像处理、计算机图形学等三维重建技术,已经逐渐发展成为—门颇具特色的交叉性学科^[3]。三维重建是从—系列的二维图像中获取三维结构信息的—个过程,与二维图像相比,三维图像能够提供更加丰富的信息和更直观的感受。在医学超声成像领域,传统的 B 扫描成像方式应用最为广泛,可以直观地显示目标组织的二维切面图。将 B 扫描成像方式应用到工业检测领域,能有效地检测到目标内部的切面图^[4],给工业检测活动带来了极大的便利。

1 实验平台搭建与超声扫描

现以实验室已有设备为例。实验平台如图 1 所

示。以二维超声相控阵检测图像为基础,进行图像三维空间定位机理与成像研究。使用机械臂夹持超声相控阵探头扫描 N 型模板,利用图像采集卡采集二维超声图像序列。用爱普生 C3 紧凑型六轴机器人末端夹持超声探头和光学传感器,爱普生 C3 机器人具备出色的灵活性,专为狭小空间内的大型工作而制造。实验中使用的便携型相位阵列式超音波探伤仪 Phasor XS,这是用于材料测试的仪器,适用于工业环境中。在航空航天工程中,相控阵技术常用来对飞机机翼和机身上的铝合金材料以及复合材料结构进行大面积检测。



图 1 实验平台

Fig. 1 Experimental platform

本文实验中,使用了液浸式—维线阵相控阵探头,如图 2 所示。即使用时需将探头的下表面浸入液体中,目前,—维线阵是相控阵探头中应用最多的一种形式,其特点是能在相控阵的轴平面实现声束偏转和轴向聚焦。

作者简介: 朱铃琳(1996-),女,硕士研究生,主要研究方向:超声图像三维重建。

收稿日期: 2019-09-20

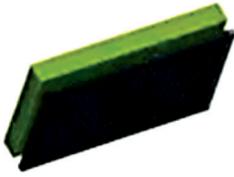


图2 一维线阵相控阵探头

Fig. 2 One-dimensional linear array phased array probe

本实验中设计的 N 型模板如图 3 所示^[5]。由图 3 可知,以水为耦合液,将 N 型模板放置于水箱中,注意需使水面高度超过模板表面。人工操纵六自由度机器人,使末端的超声探头下表面浸入水中,然后在 N 型模板的垂直于棉线的方向进行等间距超声扫秒,利用图像采集卡进行图像采集。在金属线框中,使用直径为 0.3 mm 的棉线按“N”型依次穿过线框边缘的直径为 1 mm 的小孔,棉线具有较好的弹性,在干燥和潮湿的环境中均能够保持绷紧状态,将模板置入水中时棉线不易发生变形,从而保证棉线的位置精度。

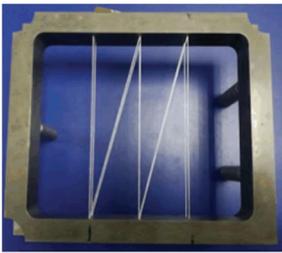


图3 N型模板

Fig. 3 N-type template

2 图像采集、处理及三维成像

超声扫描检测中的重建步骤可表述为:

(1) 数据采集。通过扫描得到二维序列图像,如图 4 所示。

(2) 图像预处理。通过对原始图像再加工,其中包括图像增强、图像复原、图像分割等。

(3) 三维建模及数据可视化。将处理的数据转为几何描述,对一维标量数据可采用线画图、直方图或者柱形图来表示。对三维标量可采用表面模型和体素模型进行表达。

(4) 绘制与显示。将几何数据转换为图像数据,使其能在计算机屏幕上显示出来。

实验中以计算机向六自由度机器人发送控制指令,驱动机器人对 N 型模板进行等间距扫描。利用图像采集卡实时采集相控阵图像。当超声探头扫描 N 形模板时,超声探头的成像平面在每一个成像位置都与单个 N 形靶线交于 3 个点,在超声图像上显示为 3 个亮斑,由于模板每层 N 线共用中间的一条

边,所以每层 N 线成像特征点为 5 个,一次扫描两层 N 线,则超声图像上会有 10 个目标点。

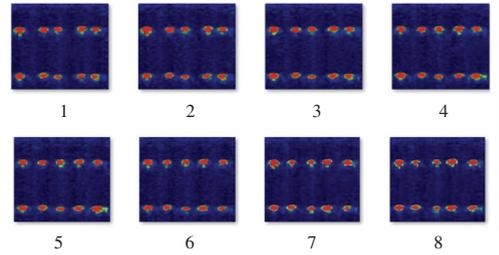


图4 N形模板目标点超声成像图

Fig. 4 N-shaped template target point ultrasound imaging

经过目标区域提取,去除原始图像中多余的无用区域,减少后续步骤的工作量。对图像序列进行分割结束后,提取边缘坐标并计算边缘轮廓的中心点,再经过阻尼最小二乘算法^[5]对图像进行标定后,实现相控阵图像序列的三维重建。

2.1 阻尼最小二乘算法

阻尼最小二乘法(DLS)是高斯-牛顿法与 Levenber-Marquardt(LM)算法^[6-7]的结合。DLS 方法的优点主要在于可以在标定的过程进行调节:如果梯度下降太快,则使用较小的阻尼系数 λ ,使之更接近高斯牛顿法;如果梯度下降太慢,则使用较大的系数 λ ,使之更接近梯度下降法,适用于求解非线性多元目标函数优化问题。研发设计流程分述如下。

Step 1 对于给定的函数 $y=f(x;c)$,按 n 组数据点 (x_i,y_i) 及 c 的初始值 c_0 定义矩阵 $F=[f(x_i,c_0)]$, $J=\left[\frac{\partial f(x_i)}{\partial c_j}\right]$, $Y=[y_i]$, 选择初始迭代 λ 。

Step 2 计算 $Q_k=J^T J$, $g_k=Y-F_k$ 。

Step 3 解迭代方程 $(Q+\lambda I)p_k=-J^T g_k$, 求得 p_k 。

Step 4 检验条件 $g_k^T(c+p_k)g_k(c+p_k)<g_k^T(c)g_{k+1}(c)$ 是否成立,若成立则 $c=c+p_k$, $\lambda=\lambda/r$, 然后转到 Step 5, 否则, $\lambda=\lambda r$, 转到 Step 3。

Step 5 若 p_k 满足精度则结束,否则 $k=k+1$, 回到 Step 1。

2.2 数据处理

通过区域提取和缺陷分割技术可以提取出目标点的像素坐标值。通过 N 线三个点间距离比值关系可以得到对应目标点在模板坐标系中的坐标值。将获得的二维中心点坐标经过转换矩阵求得三维实际坐标,部分三维数据点见表 1。(下转第 199 页)