

复合材料手动超声成像检测系统的研究

张 锐 陈以方 骆 巍

(清华大学机械工程系 北京 100084)

文 摘 研究了基于 CCD 视频图像定位的超声成像检测技术,设计并完成了工程化的 CCD 定位手动扫描超声成像检测系统,该系统扫描图像最大尺寸为 500 ×500 像素点;扫描分辨率连续可调,最高分辨率可达 0.1 mm/像素点;定位精度为一个像素点。CCD 定位使得超声成像检测不受场地、工件形状的限制,应用面广阔。该系统已在碳纤维增强复合材料的检测上得到了良好的应用。

关键词 手动扫描,超声成像,CCD 视频定位

Manual-scan Ultrasonic Imaging System for Testing of Composite Materials

Zhang Rui Chen Yifang Luo Wei

(Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University Beijing 100084)

Abstract The technique of ultrasonic image testing for composite materials based on the technique of CCD video image locating is studied. The engineering testing system of manual scan imaging based on CCD locating is designed and made with maximum scan dimension of 500pixel ×500pixel. The scan resolution can be adjusted consecutively, maximum resolution can reach 0.1mm/pixel and the locating accuracy is one pixel. The CCD locating technique also enables the ultrasonic imaging test to work without limitation of work fields and composite parts shape. This system has a promising application for the testing of carbon fiber composite materials.

Key words Manual scanning, Ultrasonic imaging, CCD video locating

1 引言

超声手动扫描成像技术主要是为了解决形状、大小以及场地环境条件各异的情况下,各种在役工件的超声实时快速扫描成像检测,它集手动检测的方便、灵活、主动、适用性强与机械自动化扫描检测成像、记录等优点于一身,更加可靠地反映被测材料内部的质量状态,受到国内外重视^[1,2]。

手动检测的核心问题是传感器随机扫查的快速准确跟踪定位和实时缺陷定性定量识别与分析,本

文作者为此设计了一套利用 CCD 视频图像识别技术进行探头定位的手动超声扫描成像系统;并研究了针对复合材料的手动扫描超声成像技术。

2 系统方案设计

2.1 手动扫描成像原理

用手动扫查方式获得机械自动扫描检测的成像效果,必须解决做无序运动的传感器的跟踪定位问题,同时还要协调探头定位和超声信号采集处理之间的关系。设探头在某被测点 F_i 的位置函数为 f_i (

收稿日期:2002-02-10

张锐,1975年出生,硕士研究生,主要从事超声成像检测、超声测厚方面的研究工作

x_i, y_i, z_i), 相应点的超声波信号函数为 $s_i(s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, \dots, s_{in})$, 其中, x_i, y_i 表示被测点 F_i 对应工件的平面坐标, z_i 为被测点 F_i 回波信号对应工件中的缺陷深度, $s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, \dots, s_{in}$ 为 F_i 回波信号的特征参量; 因此, F_i 是 $f_i(x_i, y_i, z_i)$ 和 $s_i(s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, \dots, s_{in})$ 的函数: $F_i = I(f_i, s_i)$ 。

另外一方面, 设被测点 F_i 对应成像的位置点为 F'_i 。设 $f_i(x_i, y_i, z_i)$ 为 F_i 在图像区域内的位置函数, 而 $c_i(r_i, g_i, b_i)$ 为 F_i 对应的图像像素点的颜色值。 x_i, y_i 表示被测点 F_i 对应图像区域的位置坐标, z_i 为被测点的缺陷的深度, r_i, g_i, b_i 分别表示该像素点颜色对应的红绿蓝三色的分量值。 F_i 可以表示为: $F_i = I(f_i, c_i)$ 。

为了以图像方式再现被测工件内部质量状况, 一方面要通过 $f_i(x_i, y_i, z_i)$ 找到其在图像区域中的位置 $f'_i(x_i, y_i, z_i)$; 另一方面要通过回波信号 $s_i(s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, \dots, s_{in})$ 确定对应图像区域像素点的颜色。从 F_i 到 F'_i 的映射关系如图 1 所示。

对于手动扫描成像的两个映射关系, 我们通过 CCD 视频图像定位实现成像位置映射关系 $f_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow f'_i(x_i, y_i, z_i)$; 而成像色彩映射关系 $s_i(s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, \dots, s_{in}) \rightarrow c_i(r_i, g_i, b_i)$ 则通过信号的采集处理和特征扫描成像方法来实现。

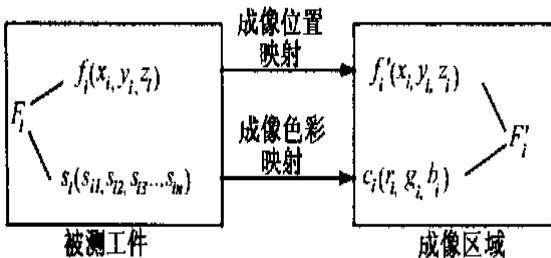


图 1 手动扫描成像原理

Fig. 1 Principle of manual scan imaging

2.2 检测系统总体方案设计

图 2 所示为系统设计方案, 探头上设计一个发光二极管(LED)为识别标志, 摄像机跟踪探头的运动, 图像经 CG210 图像采集卡采集送入内存, 进行信号滤波处理, 然后图像识别确定探头的坐标, 计算成像位置 $f_i(x_i, y_i, z_i)$; 同时数据采集卡采集超声波信号, 然后处理波形数据进行特征提取, 计算成像色彩 $c_i(r_i, g_i, b_i)$, 最后绘制工件检测超声图像。

宇航材料工艺 2002 年 第 3 期

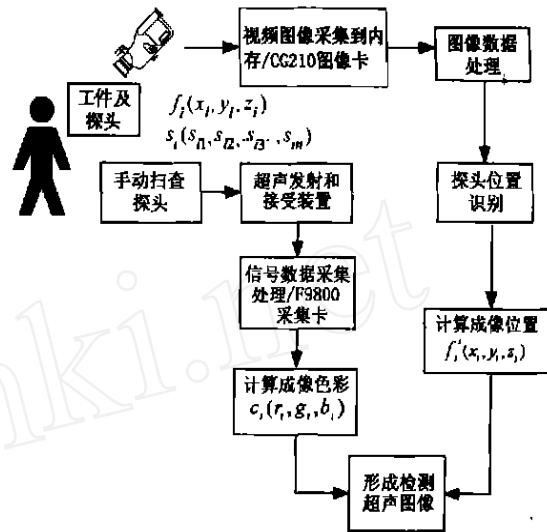


图 2 系统总体设计框图

Fig. 2 Schematic diagram of integrated design

2.3 系统硬件组成

我们设计了一套基于 PC 机的数字化超声成像检测系统, 具体方案如下。

(1) 采用多通道 F9800 数据采集卡作为超声波信号采样设备, 完成对超声波信号的采集。其突出的优点是: 采样速率高(最高可达 135 MHz); 允许多达 16 通道并行工作; 可编程设置内触发、外触发及信号触发三种触发方式。

(2) 采用 DH—VRT—CG210 图像采集卡, 松下 WV—EP230/GCCD 作为视频定位的采样设备。DH—VRT—CG210 是基于 PCI 总线的高速彩色/黑白图像采集卡, 数据的实时传送是它的突出特点, 数据的传送过程是由图像卡控制的, 无需 CPU 参与, 因此图像传输速度可达 40 MB/s。

(3) 针对复合材料检测, 研制接触聚焦换能器作为系统的传感器, 同时设计探头上的识别标志, 即 LED。

(4) 直接用 CTS—26 超声探伤仪作为探头超声脉冲信号发射和接受装置, 还可监控并调节探头工作状态。

(5) 采用 PC 机作为整个系统的载体。

3 CCD 视频图像定位

CCD 视频图像定位的基本思路是: 探头上设计一个 LED, 利用 CCD 电荷敏感元件提取这种色彩变

化,依靠发光线与工件的明显的颜色差异进行图像识别。把图像数据调入内存以后进行数据处理,为了提高检测速度,采用区域搜索确定探头坐标。还可以根据检测传感器的运动特点,采用变区域搜索、轨迹模糊预测等算法,一方面可以满足手动操作探头随机移动的特点;另一方面大大地节省了数据访问时间,提高了检测速度,从而可以达到快速实时手动扫描成像检测。

3.1 CCD 视频定位设计流程

CCD 视频识别设计流程如图 3 所示,首先调用 CG210 图像采集卡进行图像卡的初始化,设置图像采集和显示参数。

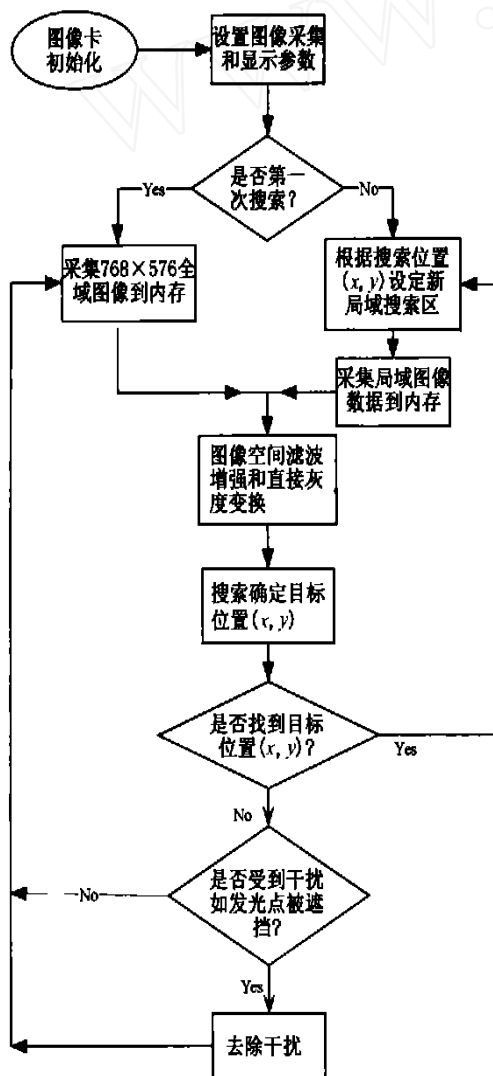


图 3 CCD 视频识别设计流程图

Fig. 3 Design flow sheet for video identification of CCD

由于 CG210 图像卡具有窗口采集和显示功能,我们利用局域开窗口进行采集识别,这样可以大量地减少数据采集量,同时相应地减少了后续处理和识别的数据量,对于提高识别速度有很大的帮助。程序第一次需要采集 768 x576 象素点全屏图像数据,利用全屏搜索找到发光点的位置,然后以找到的位置 (x, y) 为中心设置一搜索窗口。在窗口内进行采集、处理和识别,并依据找到的新探头的移动位置 (x, y) 设置新的窗口,如此循环便可以跟踪探头的移动并识别出探头的位置。

3.2 视频图像数据处理

实际检测中,为了消除图像中噪声点的干扰,特别是灰度值和二极管光斑接近的干扰点,从而更准确的识别发光点的位置,需要运用图像增强技术对图像数据进行处理^[3],即主要是利用空域方法进行灰度图的全局处理,空域是指由象素组成的空间,空域增强方法指直接作用于象素的增强方法,主要有空域变换增强和空域滤波增强两种方法。

3.2.1 空域变换增强

空域变换增强是基于点操作的增强方法,也叫灰度变换,可表示为: $g(x, y) = EH[f(x, y)]$, 其中 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 分别为增强前后的图像,而 EH 代表增强操作。

3.2.2 空域滤波增强

空间滤波器的工作原理可借助频域进行分析,其基本特点是让图像在傅里叶空间某个范围内的分量受到抑制而让其它分量不受影响,从而改变输出图的频率分布,达到增强的目的。在增强中用到的空间滤波器主要有两类:平滑(低通)滤波器和锐化(高通)滤波器。图 4 为中值滤波前后的图像对比。

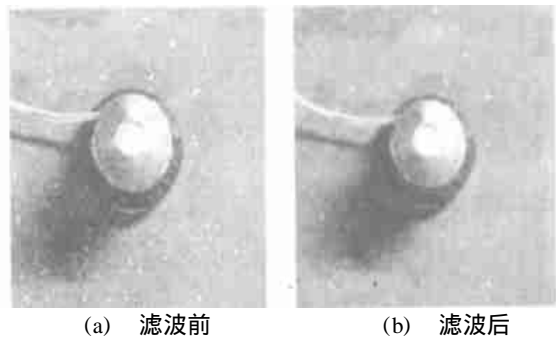


图 4 中值滤波前后图像对比

Fig. 4 Image comparison before and after mid value filtering

我们发现干扰点得到了明显的消除,原来图 4 (a)中灰度值超过 150 的白色噪声点在滤波后的图 4 (b)图中都消失了。

3.2.3 图形定位

从图 5 中可以清楚地看到发光点的象素分布情况,大约是 20 ×20 象素点,相对于全屏 500 ×500 象素点只是很小的一部分。通过空间变换增强和空间滤波增强的处理,发光点的象素点信息被强化,噪声被消除,从而形成整体图像中的一块规则的圆形区域。由于是圆形区域在整个图像中是单一发光区域,我们可以通过寻找圆的矩心来定位发光点位置,同时运用变换区域搜索法来加快搜索速度,提高搜索效率。

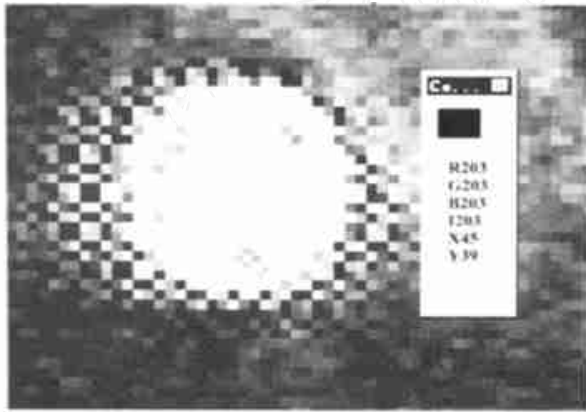


图 5 探头发光点放大图

Fig. 5 Enlarged view of the luminous point of the probe

3.2.3.1 图形矩心法

通过进行灰度切分,找到对应发光点的象素点坐标 $(x_0, y_0), (x_1, y_1) \dots (x_n, y_n)$, 利用求矩心的方法可以得到识别坐标:

$$X = \frac{\iint x dx dy}{\iint dx dy}$$

$$Y = \frac{\iint y dx dy}{\iint dx dy}$$

其中 S 代表发光点区域的面积。

3.2.3.2 变换区域搜索

变换区域搜索如图 6 所示,首先在全局窗口 S_0 中搜索,得到初始坐标 (X_0, Y_0) , 然后根据 (X_0, Y_0) 确定区域搜索窗口 S_1 , 进而开始局域搜索得到新的探头坐标, 据此再设置新的窗口 S_2 , 如此循环。随着探头的移动, 区域搜索窗口是相应地不断变化的, 从而实现对探头位置的快速的跟踪检测, 以适应探头扫描时快速移动的要求。

宇航材料工艺 2002 年 第 3 期

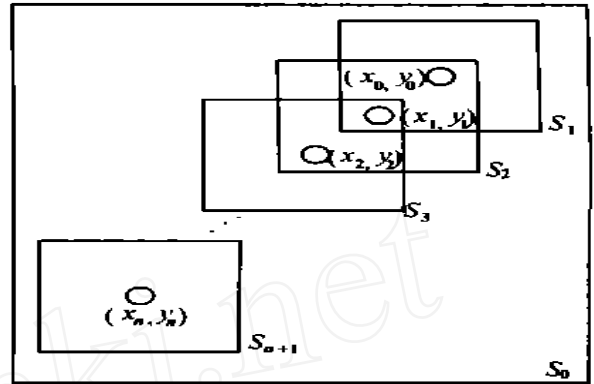


图 6 变换区域搜索示意图

Fig. 6 Schematic plan of changing region searching

4 超声成像检测

根据 2.1 节所述手动超声成像原理, 我们通过 CCD 视频图像定位实现成像位置映射关系 $f_i(x_i, y_i, z_i) \rightarrow f_i(x_i, y_i, z_i)$; 同时利用我们研制的复合材料专用换能器^[4,5]提取复合材料内部的检测信息, 利用数字化技术全波列采集检测信号, 并存储在计算机里, 通过计算机完成对信号的各种处理, 并以图像方式显示各种特征参量, 从而实现成像色彩映射关系 $S_i(s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, \dots, s_{in}) \rightarrow C_i(r_i, g_i, b_i)$ 。

软件系统是在 Windows98/ Windows NT 平台上利用 Visual C++ 和 Visual Basic 开发, 界面友好, 便于操作。在计算机上实现数字化探伤仪的功能, 系统软件包括信号处理和图像显示处理等模块。

4.1 信号处理模块

在超声脉冲回波信号中, 经常夹杂着各种噪声, 有时甚至淹没回波信号。因此需要对采样得到的信号进行信号处理, 以达到图像显示的需要。本文采用了降噪、滤波、相关分析、频谱分析以及小波变换等方法进行信号处理。

4.2 超声成像模块

本系统除了能显示常用的 C 扫描成像外, 还可以做出基于全波列采集的各种特征量的图像, 有相位(深度)特征图像、当量分布特征图像、频谱特征图、超声波层析(CT)显示。开发多种方式的处理和成像显示, 为全面评定复合材料提供了可靠的检测手段。

5 手动成像样品检测实验

图 7 是对一字体试样扫描所得超声图像, 为了显示手动扫描方便、灵活的特点, 故只在特定的一个

小区域进行了扫描。图 8 显示的是对图 7 显示的图像进行后续处理和分析。包括：(1) 游标功能：移动鼠标，可以看到随游标的移动左视图和正视图随之变动，代表样品所对应的截面 B/D 扫描图。(2) 单击鼠标，可以看到对应点的全波波形，并可以进行此波形的频谱分析。

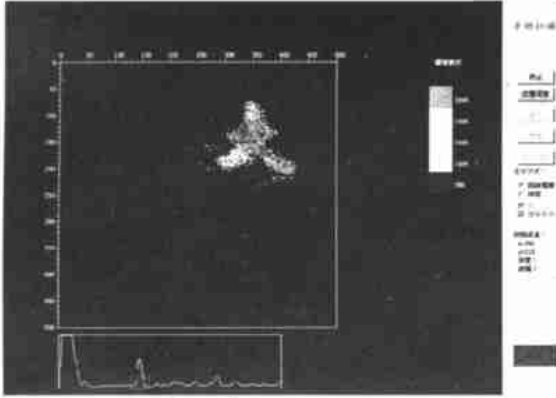


图 7 字体试样手动扫描成像图

Fig. 7 Image of manual scanning test sample

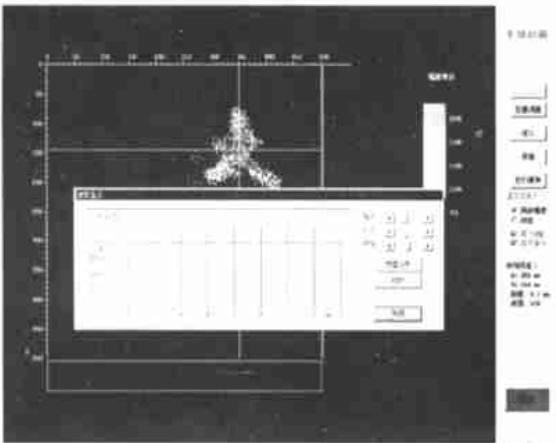


图 8 图像分析和处理

Fig. 8 Analyzing and processing for image

6 结论

本文针对复合材料检测进行了手动扫描超声成像技术的研究，运用扫描成像检测技术和 CCD 视频图像定位技术，设计并完成了工程化的 CCD 定位手动扫描超声成像检测系统，该系统扫描图像最大尺寸为 500 × 500 像素点；扫描分辨率连续可调，最高分辨率可达 0.1 mm/ 像素点；定位精度为一个像素点。

CCD 定位技术的采用使传感器与定位系统之间没有任何的机械连接，克服了机械定位在许多场所设备安装的困难，在野外作业时和对形状位置不定的在役工件进行检测时更加方便灵活，不受场地、工件形状等限制，应用面更加广阔。

系统的研制成功对于推广超声成像检测技术的工程实用具有重要的意义。

参考文献

- 1 刘松平,陈积懋,郭恩明. 先进的超声手动扫描成像检测技术. 无损检测, 1997;19(6):151~153
- 2 James C E. Concept of non destructive evaluation. [J]. Materials Evaluation, 1991;49(9):1 228
- 3 章毓晋. 图象处理和分析. 北京:清华大学出版社, 1999:72~85
- 4 袁易全. 超声换能器. 南京:南京大学出版社, 1992:221
- 5 美国无损检测学会. 美国无损检测手册 超声卷(上下册). 上海:世界图书出版公司, 1996:183

(编辑 任涛)