

自动磁粉探伤系统中数字图像预处理方法研究

Digital Image Preprocessing Method in Automatic Magnetic Particle Testing System

李 亚 刘洁峰

摘要: 研究了自动磁粉探伤系统中数字图像预处理问题。将 CCD 传感器采集的磁痕图像先进行单色化处理,再采用浮动阈值和条件跟踪复合分割得到了较好的二值化图像,最后对图像进行膨胀收缩处理,满足了自动磁粉探伤系统对缺陷识别的要求。

关键词: 磁粉探伤 裂纹 数字图像分割 膨胀收缩

关键词: 磁

荧光磁粉自动无损检测系统是光、机、电一体化表面无损探伤新技术,微机通过 CCD 传感器采集磁粉探伤的图像并进行处理和识别,同时控制工作过程以达到自动探伤的目的。其中数字图像处理技术是磁粉探伤自动化的关键技术之一^[1],数字图像处理主要包括图像二值化处理和缺陷识别。原始图像的二值化处理是简化图像识别算法、减少计算量、保证缺陷实时自动识别的关键。本文根据自动磁粉探伤系统的要求,给出一种图像二值化处理方法。

1 自动磁粉探伤系统的工作过程

系统原理结构如图 1 所示。在自动磁粉探伤中,经过磁化、喷淋荧光磁粉悬浮液后的工件放置在转动平台上,转动平台由步进电机经过一对齿轮带动。如果工件表面有裂纹,则裂纹处的漏磁场会吸附带有绿色荧光物质的磁粉,磁粉在紫外光的照射下呈现绿色。利用 CCD 摄像机系统将图像采集后传入计算机,计算机软件完成图像二值化和裂纹缺陷的自动识别等处理,即确定裂纹的位置、长度和宽度,根据标准分档,判断被测工件属报废或通过。

2 图像的单色化

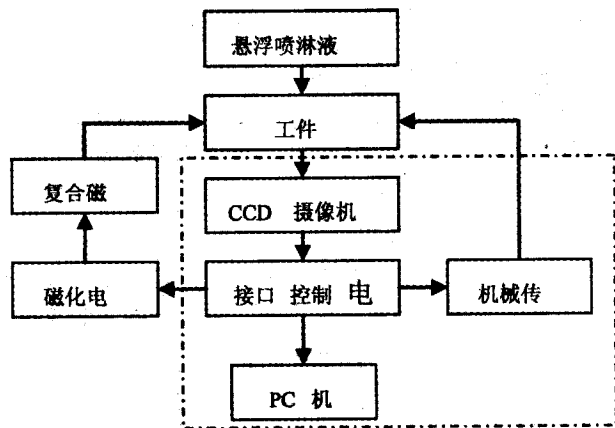


图 1 系统原理结构框图

在紫外光的照射下,裂纹磁痕呈现鲜明的绿色,背景为紫色。经过摄像机的黄绿色滤色片,图像的信噪比显著提高。但是滤色片的过滤不是很彻底,图像中还保留了一些背景信号。根据三基色原理,紫色由红、蓝两色合成,不含绿色^[2],因此对图像进行单色化处理只提取图像中的绿色成分可进一步提高信噪比。

图像格式是 RGB4:8:4,即一个像素用两个字节来表示,每个像素的颜色组成结构如图 2 所示。其中 R_i 表示红色的第 i 位($1 \leq i \leq 4$), G_i 表示绿色的第 i 位($1 \leq i \leq 8$), B_i 表示蓝色的第 i 位($1 \leq i \leq 4$)。

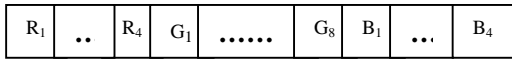


图 2 像素三元色组成示意图

图像单色化处理的算法：

$$\text{Green} = (p[i] \& 0xf0) \ll 4 + (p[i+1] \& 0xf0) \ll 4 \quad (1)$$

公式(1)表明每个像素只取绿色成份,令其值为Green。用 $p[i]$ 代表每个像素的低字节, $p[i+1]$ 代表每个像素的高字节,那么, $p[i] \& 0xf0$ 式表示保留每个像素高字节的后四位,然后通过移位操作,通过逻辑与和移位操作,除掉红色和蓝色的影响。图像的单色化处理既提高了图像的信噪比,又为其后的图像二值化工作奠定了基础。

3 浮动阈值和条件跟踪复合分割法

在本系统中,磁化后裂纹处的荧光强度很强,而其余部分的光强较弱,再加上滤光片的使用和对图像的单色化处理,使得采集到的信号信噪比就非常高。因此,在二值化过程中,首先应用浮动阈值法进行第一次分割,接着再利用条件跟踪法对图像进行第二次分割,最后得到完整的二值化图像。

3.1 图像的第一次分割

浮动阈值方法是根据图像特征自动调整二值化分割所需的阈值,避免了使用固定阈值对于不同亮度图像产生的不适应性,即信号检测中经常采用的恒虚警检测技术^[3]。背景灰度变化由多种因素共同作用引起,可认为背景像素的灰度符合正态分布。浮动阈值在实时处理中根据每幅图像的平均亮度和亮度均方根偏差自动形成。通常裂纹只占整幅图像的少部分,整幅图像的均值和方差可以近似认为是背景的均值和方差。设服从正态分布的背景灰度的均值为 E 、方差为 σ ,则背景的概率密度分布为

$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(t-E)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

在确定一个阈值后,所有灰度级低于的像素点都作为背景来考虑,而灰度级在以上的所有像素点都考虑为伤点。则虚警概率为:

$$P_f = \int_T^\infty p(t)dt = \int_T^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(t-E)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (3)$$

为得到归一化的概率密度分布,可取新的变量

$$k = \frac{t-E}{\sigma} (k > 0) \quad (4)$$

通过变量代换,可从式(1)得到新变量的概率密度分布

$$p(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{k^2}{2}} \quad (5)$$

则虚警概率为

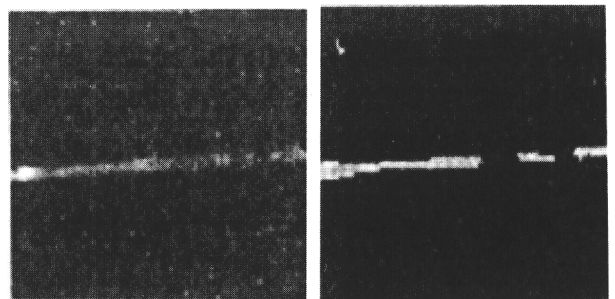
$$P_f = \int_K^\infty p(k)dk = \int_K^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{k^2}{2}} dk \quad (6)$$

假定式(3)和(6)中为常数,即虚警恒定,则

$$K = \frac{T-E}{\sigma} \text{ 即 } T = E + K\sigma \quad (7)$$

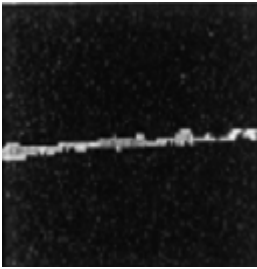
根据正态分布的“3”准则^[4]及本系统大量的试验结果表明,取 3~4 之间的值对各种不同裂纹的自动识别比较合理。值越大,即阈值越高,则二值化后的目标像素点越少,后续处理速度快,但对图像的质量要求高;值越小,即阈值越低,二值化后的目标像素点越多,则后续处理工作复杂,因此图像处理软件必须根据实际情况合理确定值。

利用浮动阈值法对单色化后的图像进行初步分割,将图像分为 64 个绿色灰度等级,并对不同图像处理区域分别求出绿色灰度的均值和方差来算出浮动阈值,将图像中绿色亮度高于浮动阈值的像素作为伤点集中的成员,同时求出其坐标,伤点集图像为待处理的目标图像。图 3(b)为一幅经浮动阈值分割的典型裂纹图像,经过本次分割后的二值化图像显得不够完整,这是因为一个完整的裂纹图像通常是一部分很亮另一部分较暗,使用浮动阈值法分割后,往往只提取了相对亮的目标像素而丢掉了较暗的目标像素,给图像的正确识别处理带来困难,所以追回丢掉的部分目标图像是非常有必要的。



(a) 裂纹图像

(b) 第一次分割后



(c) 第二次分割后
图 3 图像分割实例

3.2 图像的第二次分割

图像的第二次分割是为了找回第一次分割丢掉的目标点并最终完成图像的二值化。分析裂纹的亮度可知，通常情况下，一条裂纹尽管有些部分不很亮，但还是明显的高于本底亮度。在此设置一个条件跟踪阈值，其值略低于浮动阈值但明显高于本底值。若想成为新伤点就必须满足如下两个条件：一是亮度值要大于条件跟踪阈值；二是必须与已经建立的伤点集中的伤点是 8 连通的。条件跟踪法就是从已有的伤点集的每个伤点出发去搜索与其 8 连通的近邻中亮度大于跟踪阈值的所有点，将其置为最亮并作为新伤点并入伤点集。然后从新伤点出发再进行搜索，直到将满足跟踪条件的所有点全部搜索完毕构成最终的伤点集，最后将非目标置为最暗，至此整个二值化过程完成。图 3(c) 为第二次分割后的图像，可以看到裂纹图像断开的部分被重新连通。

4 膨胀收缩处理技术

裂纹有时各部分深浅不同，在图像上显示的是一条断续的线段，需要将断开的区域连在一起。基本方法是将图像细化后，判断这两条线的走向是否一致并且断开处的两点距离是否小于一个预先给定的值。显然，这样的方法极其复杂，十分耗时。在此，本文采用基于连接数的收缩方法，对膨胀后图像进行一次收缩。

连接数就是某个像素点连接相互独立连接成分的个数^[5]。其计算公式如下：

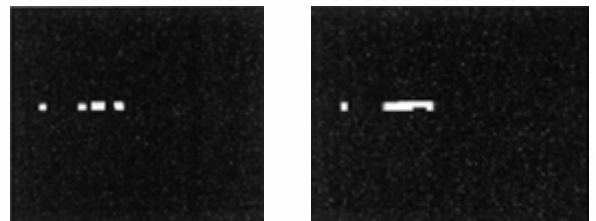
$$N_c(x_0) = \sum_{k \in S} \{ \bar{f}(x_k) - \bar{f}(x_k) \bar{f}(x_{k+1}) \bar{f}(x_{k+2}) \} \quad (8)$$

上式中 $N_c(x_0)$ 表示点的连接数， $S = \{1, 3, 5, 7\}$ ， $f(x_i)$ 表示 x_i 的值， x_i 的位置如图 4 所示，其中 $x_9 = x_1$ ， $\bar{f}(x_i) = 1 - f(x_i)$ 。

x_4	x_3	x_2
x_5	x_0	x_1
x_6	x_7	x_8

图 4 x_i 的位置

经证明知，连接数为 1 的像素点是可以删除的，就是说连接数为 1 的点被删除不会影响原图像的连通性。因此，在闭变换处理时，只对连接数是 1 的点进行收缩。利用上述方法对一幅裂纹图像进行了处理，其结果如图 5(b) 所示：



(a) 断裂裂纹图像 (b) 膨胀收缩处理后图像
图 5 膨胀收缩处理图像

5 结论

本文重点研究了自动次磁粉探伤系统中数字图像的预处理方法。系统采集的 CCD 图像经过浮动阈值、条件跟踪复合分割和图像膨胀处理后，可以得到效果较好的二值化图像，为后续的裂纹缺陷自动识别提供了良好的前提条件，能够满足自动磁粉探伤系统的要求。

参考文献

- 王家应, 关钰. 数字图像处理技术在自动磁粉探伤系统中的应用. 无损检测, 2001, 23(5): 209-212.
- 程炜, 黄曙荣. 全自动荧光磁粉检测系统. 无损检测, 2000, 11: 505.
- 周军, 彭培欣. 自动磁粉探伤系统中的图像技术. 仪器仪表学报, 2003, 24(4): 461-462.
- 景晓军, 周贤伟, 付娅丽. 图像处理技术及应用. 第一版, 北京: 国防工业出版社, 2005: 206-211.
- 陈久生. 智能化自动探伤中数字图像处理技术研究. [硕士学位论文]. 北京: 航天工业总公司第二研究院, 2000.