

图像处理在轴承荧光磁粉探伤中的应用研究

张家栋, 张强, 霍凯

(北京交通大学机械与电子控制学院, 北京 100044)

摘要:针对目前轴承荧光磁粉探伤人工观察方法存在的问题,介绍了一种轴承荧光磁粉探伤结果的自动识别方法。论述了裂纹图像识别处理方案的原理及流程,采用选定色彩范围的方法获取图像可疑成分,使用二值图像来表示图像的可疑成分与背景,主要应用数学形态学的方法对可疑图像进行处理,通过计算图像连通区域的大小和圆形成度并与设定值比较来确认裂纹。算法在 Matlab 中进行测试,证实可有效识别出裂纹图像,说明自动轴承荧光磁粉探伤的可行性。

关键词:荧光磁粉探伤;图像处理;数学形态学;自动识别

中图分类号: TG115.28+.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)08-0216-04

Study on Application of Image Processing in Bearing Fluorescent Magnetic Detection

ZHANG Jia-dong, ZHANG Qiang, HUO Kai

(School of Mechanical & Electronic Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Aim at the existing problems of the manual inspecting in bearing fluorescent magnetic detection, introduced an automatic identification method on the result of bearing fluorescent magnetic detection. Narrated in detail the principle and the flow of the crack pattern recognition processing plan, gain image suspicious ingredient by designates the color scope, used binary image to express the suspicious composition and background, mainly used mathematical morphology method to carry on the image processing, calculate the regional image's size and roundness then confirm the crack by compare them with the specified value. The algorithm is tested in Matlab, confirmed that may distinguish the crack image effectively, shows the feasibility of bearing automatic fluorescent magnetic particle detection.

Key words: fluorescent magnetic detection; image processing; mathematical morphology; automatic identification

0 引言

机车车辆滚动轴承故障是铁路车辆运输中的主要故障之一,也是影响铁路运输畅通和安全生产的关键因素。轴承的表面裂纹及缺陷是造成行车事故的潜在威胁,在装车运行一段时间后需要对其进行表面缺陷检测^[1,2]。荧光磁粉探伤是轴承表面检测的一种常用方法。由于传统荧光磁粉探伤采用的是人工观察,检测人员长期在暗室里处于紫外光照射下,不仅工作环境差,而且很容易疲劳,造成人为漏检^[3,4]。针对人工观察方法的不足,拟采用数字图像采集及图像处理的方法,对轴承表面缺陷磁痕的图像进行判断和报警,改善检测人员工作环境,克服主观因素造成的失误,提高检测的准确性和可靠性,最大程度地避免漏检事故发生。

对荧光磁粉探伤的工件进行图像采集,得到彩色图像,其中工件表面吸附的荧光磁粉在紫外线辐射下激发出黄绿色荧光。系统采集的图像受到水滴、水迹、刀痕、表面污染和表面反光等干扰信息的影响,不可避免地存在一些噪声。图像处理的任务是获取图像中的可疑成分,去除噪声的影响,对图像可疑区域进行判断,获得裂纹的信息。

1 图像可疑成分的获取

采集的数字图像采用 RGB 色彩模式存储。RGB 色彩模式是工业界的一种颜色标准,是通过红(R)、绿(G)、蓝(B)三个颜色通道的变化以及它们相互之间的叠加来得到各式各样的颜色的,RGB 即是代表红、绿、蓝三个通道的颜色,这个标准几乎包括了人类视力所能感知的所有颜色,是目前运用最广的颜色系统之一。

RGB 色彩模式使用 RGB 模型为图像中每一个像素的 RGB 分量分配一个 0~255 范围内的强度值。例

收稿日期:2008-12-18;修回日期:2009-03-27

基金项目:北京交通大学基金(KMJ06012532)

作者简介:张家栋(1956-),男,河北人,副教授,研究方向为微机测控。

如:纯红色 R 值为 255,G 值为 0,B 值为 0;灰色的 R、G、B 三个值相等(除了 0 和 255);白色的 R、G、B 都为 255;黑色的 R、G、B 都为 0。RGB 图像只使用三种颜色,就可以使它们按照不同的比例混合,在屏幕上重现 16581375 种颜色^[5,6]。

文中图像的可疑成分即是轴承工件表面吸附荧光磁粉的部分,亦即图像中的荧光色彩部分。由于荧光磁粉受紫外线辐照所激发出光的色彩与光源的强度、荧光磁粉的自身特性有关,故该色彩应在实际环境中测定,文中的取值为 R=76、G=136、B=122。由于工件所受的光照不均、所吸附的磁粉密度不同等因素,不能要求图像中的荧光图像色彩数值与标准值完全相等,需要设定一定的容差 TH。

图像中可疑成分的提取过程即:遍历判断图像中的各个点,用该点的色彩 RGB 数值与标准值做比较,若 RGB 三个值与对应标准值的差值均小于容差 TH,即判定此点属于可疑成分,判断完成后的结果存储为二值图像,即每一像素点使用一个布尔值表示,true 表示白色点,false 表示黑色点。原图的可疑成分表示为白色,背景表示为黑色。

容差 TH 值的大小选取由实验确定,容差过大会使背景区域被误判做可疑区域,造成误判;容差过小会使可疑区域点被漏判,导致可疑区域选取过小,甚至丢失。文中选定 TH = 30。所得结果图像为 P1,如图 1 所示。

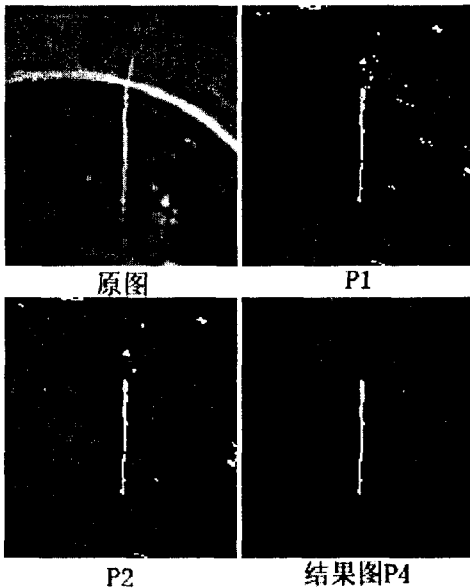


图 1 图像处理各阶段结果

2 可疑图像的处理分析

2.1 噪点去除

上述过程提取出的结果 P1 为轴承工件图片中工

件表面吸附荧光磁粉的部分,即可能存在裂纹或表面缺陷,但也包含由于工件表面不够光滑、锈迹等因素而吸附磁粉的部分,本过程需要去除小的噪点及像素块,减少噪声的影响。文中采用数学形态学的方法进行除噪。

数学形态学的基本思想是用具有一定形态的结构元素去量度和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的。数学形态学的数学基础和所用语言是集合论,因此它具有完备的数学基础,这为形态学用于图像分析和处理、形态滤波器的特性分析和系统设计奠定了坚实的基础。数学形态学的应用可以简化图像数据,保持它们基本的形状特性,并除去不相干的结构。数学形态学的算法具有天然的并行实现的结构,实现了形态学分析和处理算法的并行,大大提高了图像分析和处理的速度。

数学形态学是由一组形态学的代数运算子组成的,它的基本运算有 4 个:膨胀(或扩张)、腐蚀(或侵蚀)、开启和闭合,它们在二值图像和灰度图像中各有特点。基于这些基本运算还可推导和组合成各种数学形态学实用算法,用它们可以进行图像形状和结构的分析及处理,包括图像分割、特征抽取、边界检测、图像滤波、图像增强和恢复等。数学形态学方法利用一个称作结构元素的“探针”收集图像的信息,当探针在图像中不断移动时,便可考察图像各个部分之间的相互关系,从而了解图像的结构特征。数学形态学基于探测的思想,与人的 FOA(Focus Of Attention)的视觉特点有类似之处。作为探针的结构元素,可直接携带知识(形态、大小,甚至加入灰度和色度信息)来探测、研究图像的结构特点^[7-9]。

除噪使用数学形态学算法中的开运算。开运算用来消除小物体、在纤细点处分离物体、平滑较大物体的边界的同时并不明显改变其面积。

笔者使用如图 2 所示 4 个结构元素分别对 P1 图进行开运算,所得的 4 个结果相加得到去除单个像素噪声点后的结果 P2 图,如图 1 所示。此过程清除了单个的噪声点,较大的像素块噪声待后文处理。

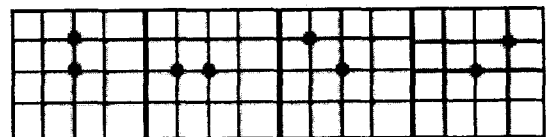


图 2 滤除噪声的 4 个结构元素

2.2 裂纹断点的连接

图像的采集以及可疑成分的提取过程可能会使裂纹荧光磁痕的图像出现间断点,这时需将裂纹图像连接起来,文中采用数学形态学中的闭运算方法对 P2 图

进行处理。

此过程的关键是选取适当大小的结构元素,采用直径为 D 的圆形结构元素对 P2 图进行闭运算即可连接图像中的间断点和微小缺陷,平滑图像。直径 D 的选取直接影响处理效果的好坏,D 过大会导致裂纹图像与附近噪声区块甚至另一条裂纹相连,造成图像的模糊及裂纹判定准确度的下降;D 过小则可能无法连接裂纹中的间断点,并可能丢失裂纹信息。文中选取 D=7 的圆形结构元素,对 P2 进行闭运算后的结果记为图像 P3。

2.3 连通区域的提取

需要提取 P3 图像中的每一个连通区域,判定其是否为裂纹。在此采用一个简便的提取图像连通区域的方法,过程如下:

(1) 创建一个与 P3 图像大小等同的二值图像 R,并设置所有值为 false(即全黑),用于临时存放一个提取出的连通区域。

(2) 在 P3 中自上而下,自左而右,遍历各个像素,查找第一个值为 true 的点的坐标,在图像 R 中设置该坐标点的值为 true。

(3) 用 3×3 的结构元素对图像 R 做膨胀运算,所得结果与 P3 做逻辑与运算得到图像 R1,比较 R 与 R1,若 R1 中 true 值点的数目多于 R,则令 R=R1,再次重复上述运算,直至 R 中 true 值点的数目与 R1 的相等,即图像 R 中的连通区域大小不再增加,表示一个连通区域提取完成。

(4) 提取一个连通区域后,令 P3 = P3 - R,即在 P3 中去除已提取的连通区域,再次查找 P3 中的首个 true 值点,进行另一个连通区域的提取,直至 P3 中所用值为 false。如此即可提取 P3 中的所有连通区域。

此方法使用 3×3 的结构元素对连通区域的已知点做膨胀运算,得到连通区域可能增加的所有点,再与图像 P3 做逻辑与运算,即可实现原连通区域的增加,当连通区域不再增加时即为提取出了一个连通区域。该方法实现简便,计算效率也可满足需要。

2.4 对连通区域是否为裂纹的判断

经过上述 4 个步骤后所提取出的连通区域尚不一定是裂纹图像,仍可能是工件表面污渍、锈迹等形成的斑痕,这些斑痕有可能较大,若直接使用连通区域像素数量的多少来判别连通区域是否为裂纹会产生误判。故此,采用连通区域大小判别结合连通区域圆形度大小判别的方法来判定区域是否为裂纹。

首先判断连通区域的大小,即统计图像 R 中 true 值点的个数 AREA。由图像与实际工件尺寸的比例来计算和设定区域大小的门限阈值 THA,即若 AREA >

THA,则该区域可能为裂纹;若 AREA < THA,则该区域不可能为裂纹,应为未消除的噪声像素块,将其忽略不计。文中设置 THA 值为 20。

对于可能为裂纹的连通区域,计算连通区域图像的圆形度大小。圆形度用来描述区域形状接近圆形的程度,它是测量区域形状常用的量。圆形度的一种计算方法是:圆形度 $YD = 4\pi \times AREA / C^2$ (AREA 为区域的面积、C 为区域的周长),该算法圆形度 YD 的最大值为 1,区域形状越复杂、狭长则圆形度 YD 值越小^[10]。通过实验确定圆形度阈值 THYD,将计算出的连通区域的圆形度 YD 与 THYD 做比较,若 YD < THYD,则判定该区域为裂纹,文中设定 THYD=0.3。

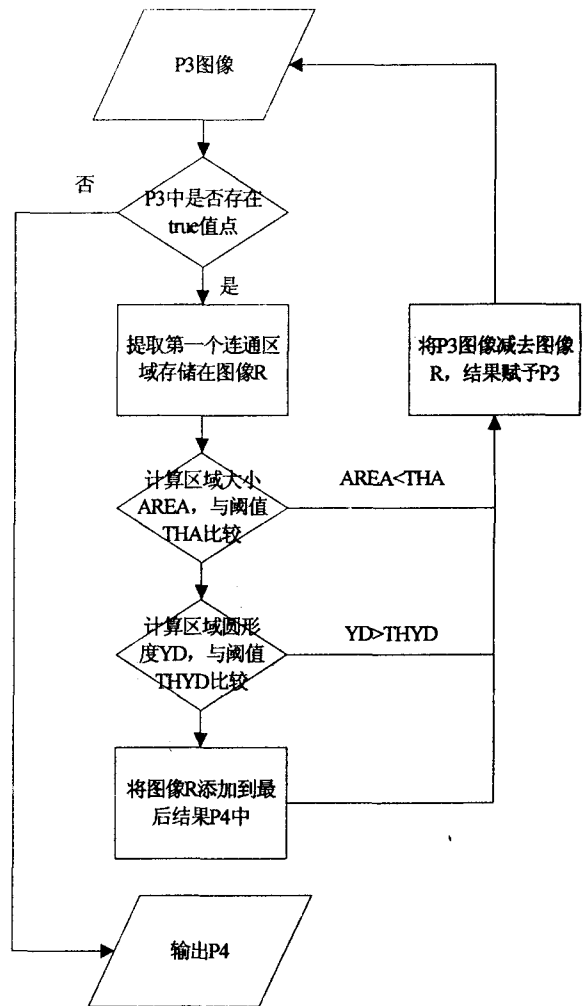


图 3 连通区域图像的提取与裂纹判定流程

圆形度的计算中,参数 AREA 即为连通区域中像素点的个数。周长 C 的计算最简便的方法是统计区域与背景交界点的个数,该个数计为 C,这种计算方法在裂纹为斜向时会产生较大误差,文中的方法是跟据区域与背景交界点的不同状态赋予不同的权重,若交界点在上下左右四个方向只有一侧为背景区,则该点的边长权重为 1,若交界点在两个方向接触背景区(如

上和右),则该点的边长权重为 $\sqrt{2}$,若交界点在三个方向接触背景区,则该点的边长权重为 $2\sqrt{2}$ 。这种计算方法在测量斜向的边界时较为准确,使用直径从10到100的圆形区域做测试,此种方法计算出的圆形度在0.89~1.01之间,误差较小。

创建与P3图像大小相同的二值图像P4,用于存放被判定为裂纹的连通区域,P4各点初值设置为false,得到一个判定为裂纹的连通区域图像R时,P4与R做逻辑或运算,结果返回P4,即 $P4 = P4 \vee R$,将所有连通区域判断完成后即得到原图像中所有裂纹的图像,用于存储和记录。连通区域图像的提取与裂纹判定的流程图如图3所示。

文中的处理结果如图1中P4所示,完成了荧光磁粉探伤图像的裂纹提取及识别。

3 结束语

使用裂纹自动识别系统代替轴承荧光磁粉探伤中的人工观察具有实用价值,笔者对裂纹自动识别的图像处理方法进行了探讨和尝试,使用了一种简便的连通区域提取方法,改进了数字图像区域周长的计算方法。该算法在Matlab中完成测试,识别结果具有一定的准确度,证实了图像处理方法的可行性。

参考文献:

- [1] 谭任芳. 机车轴承检测流水线的应用[J]. 内燃机车, 2006(12):41-43.
- [2] 达正雄, 朱元高, 陆 玮. 加强轴承检测, 防止机车故障[J]. 铁道机车车辆, 2001(1):35-44.
- [3] 吴海滨, 郑宏伟, 李明琥, 等. 轮箍表面自动荧光磁粉探伤系统及其图像处理技术[J]. 无损检测, 2007, 29(3):128-131.
- [4] 王恒迪, 尚振东, 马 伟. 轴承套圈磁粉探伤机的研制[J]. 轴承, 2005(3):32-33.
- [5] 许万里, 苑惠娟, 郑 伟. 工业视觉检查系统中的图像处理及模式识别[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2001, 6(4):22-27.
- [6] 苏彦华. Visual C++ 数字图像识别技术典型案例[M]. 北京:人民邮电出版社, 2004.
- [7] 王树文, 闰成新, 张天序, 等. 数学形态学在图像处理中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2004(32):89-92.
- [8] 崔 屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社, 2000.
- [9] 张艳玲, 刘桂雄, 曹 东, 等. 数学形态学的基本算法及在图像预处理中应用[J]. 科学技术与工程, 2007(2):356-359.
- [10] 高 潮, 任 可, 郭永彩, 等. 基于DSP和图像识别的拉索表面缺陷检测技术[J]. 重庆大学学报, 2007(9):36-38.

(上接第215页)

- [3] Duineveld A J. Wonder tools: A comparative study of ontological engineering tools[J]. Int'l Journal of Human-Computer Studies, 2000, 49(6):1111-1133.
- [4] Noy N F, Ferguson R W, Musen M A. The knowledge model of protégé - 2000: Combining interoperability and flexibility [C]// In Proc of the EKAW. [s.l.]: [s.n.], 2000:17-32.
- [5] Bozsak E. KAON - Towards a large scale semantic web [C]// In Proc. of the 3rd Int'l Conf. on I - Commerce and Web Technologies. Heidelberg: Springer - Verlag, 2002:304-313.
- [6] Gruber T R. A translation approach to portable ontology specifications[J]. Knowledge Acquisition, 1993, 5(2):199-220.
- [7] Maedche A. Ontology Learning for the Semantic Web[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [8] Buitelaar P. Ontology Learning from Text[M]. Porto, Portugal: [s.n.], 2005.
- [9] 刘柏嵩, 高 济. 基于Web的通用本体学习研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [10] Murata M, Lee D, Mani M. Taxonomy of XML Schema Languages using Formal Language Theory [M] // In Extreme Markup Languages. Montreal, Canada: [s.n.], 2001.
- [11] Compton P, Jansen A. A philosophical basis for knowledge acquisition[J]. Knowledge acquisition, 1990, 2(6):241-257.
- [12] 钱 平, 郑业鲁. 农业本体论研究与应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006.
- [13] 谢能付, 王文生. 农业知识本体构建方法[J]. 农业网络信息, 2007(8):13-14.
- [14] 何 琳, 杜慧平, 侯汉清. 领域本体的半自动构建方法研究[J]. 图书馆理论与实践, 2007(5):26-27.
- [15] 贾秀玲, 文教伟. 一种本体学习中分类关系提取方法的研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(10):33-34.
- [16] Johannsson P. A method for transforming relation schemas into conceptual schemas [C] // In: Rusinkiewics M, ed. Proceedings of the Tenth International Conference on Data Engineering. Houston: IEEE Press, 1994:115-122.
- [17] Velardi P, Fabriani P, Missikoff M. Using text Processing techniques to automatically enrich a domain ontology [C] // In: Proceedings of the International Conference on Formal Ontology in Information System, Ogunquit, 2001. New York: ACM Press, 2001:270-284.
- [18] 孔 敬. 本体学习: 原理、方法与相关进展[J]. 情报学报, 2006, 25(6):657-665.