

X 射线安检设备测试图像分割方法

谷 柱¹, 武 卫², 高翌飞¹, 魏 东¹, 周正干¹

(1. 北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191;

2. 中国民用航空总局 航空安全技术中心, 北京 100028)

摘 要:从 X 射线安检设备测试图像中分割出各测试项目, 是客观评价 X 射线安检设备成像图像质量的基础。针对测试图像中测试项目轮廓突出和色彩信息鲜明的特征, 采用基于 HSI 色彩空间对图像边缘进行多边形逼近简化处理后按照几何特征进行分割的方法。试验结果表明, 基于 HSI 颜色空间的图像分割算法在图像质量较差, 边缘变形较严重的情况下仍能正确地对图像进行分割, 取得了较好的效果。

关键词:X 射线检测; 安检设备; HSI 色彩空间; 多边形逼近; 图像分割

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)03-0169-04

The Segmentation Method for Testing Images of X-Ray Security Inspection Systems

GU Zhu¹, WU Wei², GAO Yi-Fei¹, WEI Dong¹, ZHOU Zheng-Gan¹

(1. School of Mecha Eng & Auto, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. Center of Aviation Safety Technology, Civil Aviation Administration of China, Beijing 100028, China)

Abstract: The segmentation for the image of different test items is the foundation of quality assessing for testing image which is generated by X-ray security inspection systems. The segmentation method mentioned is based on HSI color space, using polygon approximation to accomplish image edge extraction, segment image depending on geometric features. The experiment results showed that it could accomplish segmentation for the low quality image with large noise and distortion.

Keywords: X-ray inspection; Security inspection system; HSI color space; Polygon approximation; Image segmentation

X 射线安检设备的成像质量对检查的准确性和可靠性具有非常重要的意义, 其探测能力集中体现在成像图像质量上, 主要包含图像的分辨力和材料分辨力。在 GB 15208. 1—2005《微剂量 X 射线安全检查设备》标准中, 提供了标准测试体 A 和 B, 通过对测试体进行拍摄, 获得可反映相应 X 射线安检设备性能的测试图像。根据测试图像中不同测试项目(如线分辨力、穿透分辨力等)的可辨识程度, 确定设备性能指标, 进而判定设备是否合格。目前对测试图像的评价采用的是主观评价方法, 例如平均评价

分数法(MOS), 该方法在实际应用中存在许多局限, 诸如观察者的选取、试验条件的确定等, 且容易受到观察者本身的知识背景、情绪、动机以及疲劳程度等因素的影响。因此, 研究一种基于客观评价的 X 射线安检设备测试图像评价系统十分必要。

1 测试图像自动分割

1.1 测试图像

图 1 是测试体 A 的图像, 由四个测试项目组成, 分别用于测试 X 射线安检设备的线分辨力、穿透分辨力、空间分辨力和穿透力(分别对应图中 TEST1, TEST2, TEST3 和 TEST4)。

图 2 是测试体 B 的图像, 用来测试 X 射线安检设备的材料分辨力, 包含 5 个测试项目: 用来测试薄

收稿日期: 2008-05-07

基金项目: 民航安全技术分析和鉴定实验室开放研究基金项目

作者简介: 谷 柱(1984—), 男, 硕士, 主要研究方向为图像处理技术。

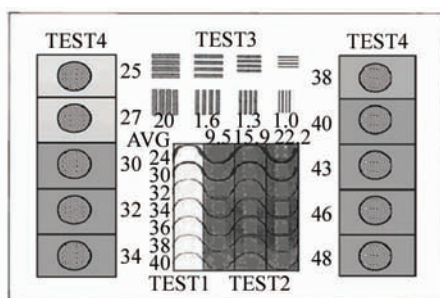


图1 测试体 A 的图像

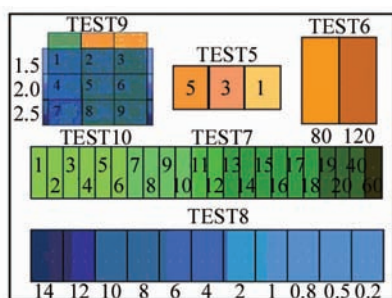


图2 测试体 B 的图像

厚有机物分辨力的 TEST5 和 TEST6,用来测试灰度分辨和混合物分辨力的 TEST7,用来测试无机物分辨力的 TEST8 以及测试材料分辨力的 TEST9 和 TEST10。

1.2 自动分割

测试图像自动分割是对图像内容进行分析、自动提取目标特征进而评价图像质量的关键步骤。图像分割的准确性直接影响图像评价质量的结果。分割方法的选取与由测试体形成的 X 射线测试图像特征密切相关。

由测试图像特征可见,测试体 A 和 B 中各测试项目矩形轮廓特征鲜明,色彩信息丰富(测试体 B),并且相对位置固定。因此,针对上述 X 射线安检设备测试图像特征,提出了基于 HSI 色彩空间的多边形逼近算法,以实现各测试项目的自动分割,为进一步的图像质量评价奠定了基础。

2 基于 HSI 色彩空间的多边形逼近算法

基于 HSI 色彩空间的图像分割方法是利用接近人类视觉特性的 HSI 色彩空间对图像进行阈值分割,然后采用多边形逼近的方法配合四边形判断准则提取不同测试项目所在区域。以下详细介绍 HSI 颜色空间选取、轮廓多边形逼近以及在此基础上提取矩形的算法原理。

2.1 算法总体结构

基于 HSI 色彩空间的多边形逼近采用 HSI 色

彩模式,对图像 HSI 色彩模式的三个通道分别采用不同阈值(例如 1 byte 图像,则在 0~255 之间 N 等分选取不同阈值)进行固定阈值分割,然后对固定阈值分割后的二值图像进行轮廓提取,对提取的轮廓点集进行多边形逼近,最后综合三个通道检测到的多边形信息进行归并,根据测试图像先验特征获得分割结果,算法流程如图 3 所示。



图3 基于 HSI 色彩空间的多边形逼近

为避免图像中多边形轮廓信息的漏检,需尽可能地细分阈值,然后进行轮廓提取和多边形逼近,并重复该过程。这样,在同一个位置可能检测到多个同样的多边形,需在后续处理中利用位置和形状信息来消除数据冗余。阈值细分程度的选取可根据图像质量而定,在图像质量较好的情况下,可选择较小的 N 值,在不影响检测结果的前提下可提高计算速度;若图像质量较差,则需选择较大的 N 值,以保证多边形不会漏检。

2.2 HSI 色彩空间

色彩空间又称为色域空间,它表示的是一个彩色影像所能够表现的色彩范围。常见的色彩空间有 RGB, CMYK, YIQ, YUV, YCbCr 和 HSI 等。在图像分割算法中,选择合适的色彩空间,可突出图像中的颜色特征,改进轮廓提取效果,进而减少多边形的漏检。

在检测图像中,不同测试项目由于使用了不同的材料和厚度,因此成像结果会显示出不同的颜色和亮度。但由于设备老化和摆放位置不固定等原因,色彩会出现失真,主要表现为亮度和饱和度不均匀,同时可能有少量不同测试区域重叠的现象产生。当 HSI 空间中某个分量产生变化时,映射在 RGB 色彩空间中,会造成三个分量同时产生变化,从而弱化了在单一分量上的影响。因此,在 HSI 色彩空间中,边缘的划分更符合人类的视觉系统^[1]。

数字图像处理中最常用的是 RGB 色彩空间,它的颜色是由红、绿、蓝三基色组合而成。在 RGB 空间中,颜色信息和亮度信息融合在一起,可以方便地显示各种颜色,但受图像亮度变化的影响,无法用固定的阈值来区分各种颜色。而在 HSI 色彩空间

中,所有的颜色都是由色调、饱和度和亮度三个分量来表示的。色调是指光的颜色,如红、橙、黄、绿、青、蓝等。从波长的意义来理解,色调和颜色的平均波长成正比,色调的变化范围是 $0^\circ \sim 360^\circ$ ($0 \sim 2\pi$ rad);饱和度表示某种颜色的“纯度”,其物理意义是光谱线的颜色和白光的混和程度;亮度是人眼感觉到的物体的明亮程度,它与人眼视觉特性有关,也与物体本身的特性(如反射比、投射比)有关。

HSI 空间将颜色信息与亮度信息区分开来,在 HSI 空间下进行分色处理可以不受亮度的影响。采用固定的阈值即可将各种颜色有效地分离出来,这一点在色彩信息特征提取的过程中至关重要。由于 HSI 空间能很好地与人眼的视觉系统相匹配,所以也被称为视觉彩色空间。

2.3 多边形逼近算法

二值图像提取的轮廓为数字化边界,它反映出轮廓的位置和形状信息,在本算法流程中采用边缘跟踪法并以 Freeman 链码表示图像的轮廓信息。数字化轮廓一般使用多边形逼近作任意准确性的近似。多边形逼近的基本思想是用最少的多边形线段,获取边界形状的本质。寻找最小基本多边形的的方法一般有两种:点合成法和边分裂法。

文中采用的多边形逼近算法是道格拉斯(Douglas-Peucker)算法^[2-3],该算法原本用于二维曲线形状化简,其特点是从形状复杂的曲线点列中,通过全局递归运算,选出那些反映曲线总体及局部形态的主要特征点,它具有严格的保凹凸性,能保持曲线形状特征、减少线性位移量和保持分维值的优势。其基本思路见图 4^[4]:

(1) 对曲线点集的首尾连线所形成的线段称为基线;连接 A 点与 B 点,A 点称为锚点,B 点称为漂浮点。

(2) 计算间所有点到基线的垂直距离,找出距离最大点;C 点为垂直距离最大点。

(3) 若该点的垂直距离小于给定的限差,则曲线上的点都舍去。

(4) 若该点的距离大于给定的限差,则该点作为第一个保留点。C 点大于给定的限差,那么 C 点为分裂点,通过该点把该曲线分成两个曲线段,重新把 C 点作为 B 点。

对每条曲线重复步骤(1)~(4),直到所有保留点都提取完成。将道格拉斯算法用于多边形逼近,实际上属于多边形逼近方法中分裂边算法的一种。

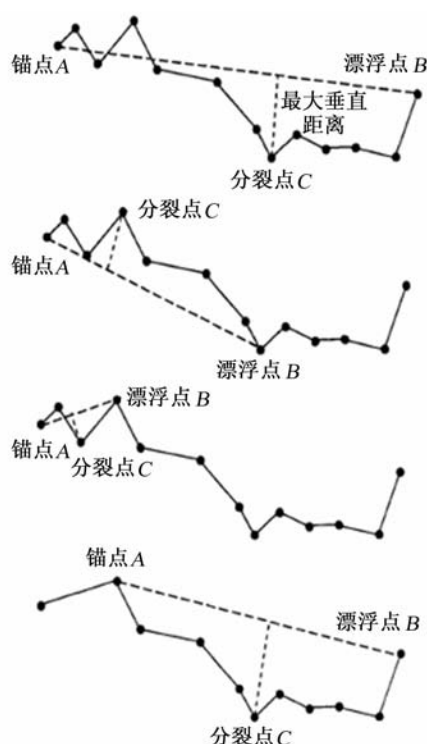


图 4 道格拉斯算法示意图

算法最后保留的特征点数等于最后多边形的边数。道格拉斯算法需要输入一个限差参数(正交距离),多边形逼近的结果受输入限差大小的影响,限差值越小,逼近后得到的特征点越多。在算法流程中输入限差大小取轮廓周长的 0.02 倍,试验结果证明这个比例比较恰当,符合实际要求。

在算法当中对于非封闭的曲线直接采用道格拉斯算法,而对于封闭的轮廓曲线则将其分裂成 2 个部分,分别用道格拉斯算法进行多边形逼近,然后综合两部分的多边形结果。

2.4 测试项目区域矩形提取

测试图像中,不同测试项目均存在矩形轮廓,在使用多边形逼近算法获得待选区域后需根据边数、凹凸性、面积和矩形允许角度偏差等规则对候选多边形进行筛选,提取其中近似矩形的四边形,得到最终的区域分割结果。多边形逼近算法的结果中所保留的特征点数即为连接后的多边形边数,因此可通过对特征点数的判断筛选出四边形。

而凹凸性采用角度法^[5]进行判断,即逐个计算多边形各顶点的内角,若各内角均 $< \pi$,则为凸多边形;任一内角 $> \pi$,则为凹多边形。

理想测试图像中,各测试项目应为矩形,即各内角均为直角,但由于设备老化、测试箱摆放位置等原因造成图像形变,导致轮廓角度变形,使理想状态的

矩形变成近似矩形的四边形。文中四边形近似矩形的程度可通过矩形允许角度偏差的值来调整,通过对四边形内角角度的计算,可判断四边形与矩形的相似度。当拍摄结果较理想,图像变形较小时,四边形各内角应接近直角,而变形较大时,相应角度会偏小或偏大,可通过设置一个允许角度偏差值来限制可接受的变形范围,若超出这一偏差值则说明四边形与矩形相似度较低,不符合测试项目区域的特征。偏差值的设定对结果影响较大,若设置过小则条件过于严格,图像轻微变形即可造成漏检,过大则会将无效区域误作为测试区域进行下一步计算,造成误检。因此在使用中,通常根据实际图像变形程度进行设定。

面积参数通过实际测试图像,对测试区域的面积进行了限定。通过对实际测试图像进行试验,得到不同测试项目的区域最小的为 TEST5,面积约占整幅测试图像的 4.8%;最大的为 TEST7 或 TEST8,面积约为整幅图像的 16%。因此可将多边形面积 S 限制为: $0.16 + T_1 \geq S \geq 0.04 - T_2$, 其中 T_1, T_2 为 >0 的容差值。

3 应用实例

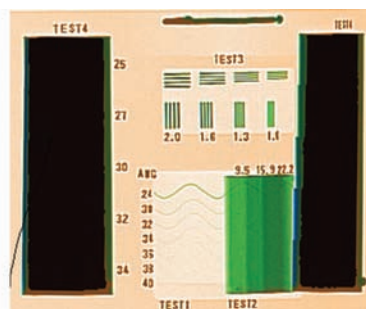
基于 HSI 的轮廓提取算法充分利用了测试图像中不同测试项目颜色区分明显、矩形轮廓信息鲜明的特点,应用在 X 射线安检设备成像质量客观评估软件中,可较好地完成测试图像中测试项目的分割。

软件采用 C++ 语言实现。下面分别以测试体 A 和测试体 B 的实际图像为例说明算法的实际使用效果。算法参数选取如下:道格拉斯多边形逼近正交距离限差取轮廓周长的 0.02、阈值等分数 N 取 31、提取多边形的边数为 4、凸多边形和矩形允许角度偏差为 17° 、多边形面积 >0.001 倍总输入图像面积且 <0.5 倍总输入图像面积。

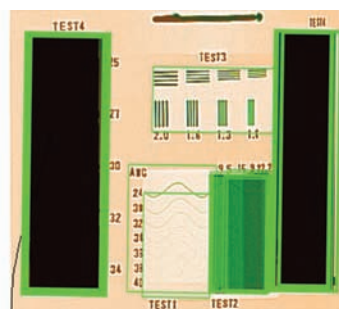
3.1 测试体 A 测试图像的初步分割

由测试体 A 获得的原始测试图像如图 5a 所示,包含 4 个测试项目。由于所含测试项目较少,因此各项目区域所占面积均较大,识别结果中候选多边形的数据也少于测试体 B 的图像,但测试体 A 中颜色信息较少,不利于分割。图 5b 为分割后效果。

完成分割后,还需根据结果,将不同测试项目和相应矩形区域对应起来,以便后续处理。利用各个矩形的相对位置信息即可完成此项工作,遍历检测到的矩形就能对测试图像中 TEST4(图中左右两个



(a) 实际测试体 A 图像



(b) 矩形提取后图像

图 5 测试体 A 实测及提取后图像

黑色矩形区域)位置进行定位。继而用同样的方法对在 TEST4 中间的 TEST1, TEST2 和 TEST3 定位。TEST3 的位置能否检测出来视图像质量而定,若 TEST3 漏检,程序设有相应的算法,根据 TEST1, TEST2 和 TEST4 的位置自动推测 TEST3 所在区域,以适应图像质量较差的情况。

3.2 测试体 B 测试图像的初步分割

由测试体 B 获得的原始测试图像如图 6a 所示,测试体 B 中各测试项目颜色特征明显,因此基于 HSI 多边形逼近相对于基于 RGB 多边形逼近具有更好的效果。图 6b 为基于 HSI 多边形逼近矩形提取的结果,提取参数设置与前述相同。图 6c 为基于 RGB 矩形提取效果。可以看到,由于设备老化和测试箱摆放位置等原因造成图像变形严重,其中 TEST6 和 TEST7 还产生了重叠现象。在图 6b 中,由于使用了基于 HSI 的多边形提取算法,不同测试项目的轮廓被准确地识别并完成了分割,而在图 6c 中,由于颜色变化时 RGB 分量变化不明显,造成边缘对比度较弱,导致漏检,无法识别 TEST6 和 TEST7 所在区域,并且对 TEST5 所在区域也提取不完整。

4 结语

针对 X 射线安检设备测试图像中颜色区分明显、矩形轮廓信息鲜明的特点,提出了基于 HSI 多

(下转第 176 页)

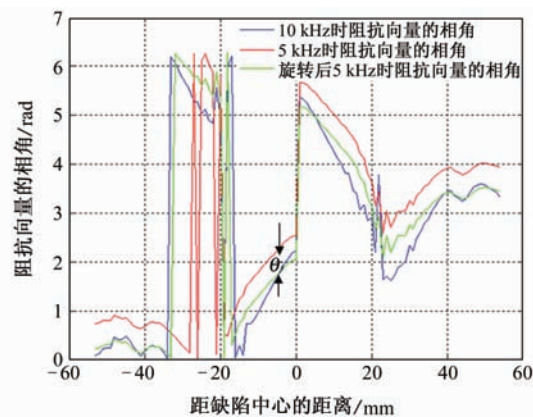


图6 阻抗向量的相角

板信号已经基本剔除,红色混频信号的阻抗图与单主频检测无支撑板管道时获得的缺陷信号形状和相位一致,幅值略有减小,但不影响对缺陷信号的判读。

5 结语

在阻抗分析的基础上,将相位旋转相减算法应用于双频涡流检测仿真数据,有效地去除了支撑板干扰信号,有利于缺陷信号的正确判读。该算法具有较强的通用性,在实际检测中也有很好的借鉴作用和广阔的应用前景。

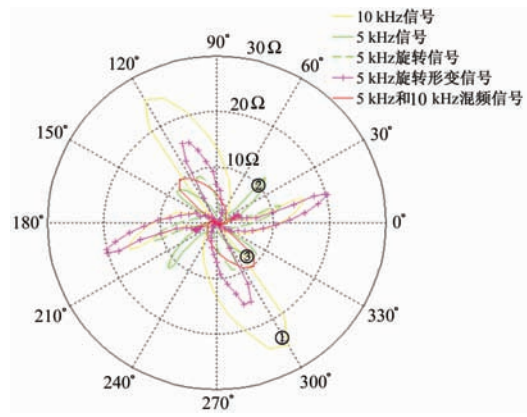


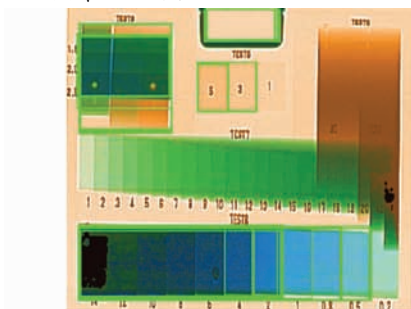
图7 过程信号和混频信号的阻抗图

参考文献:

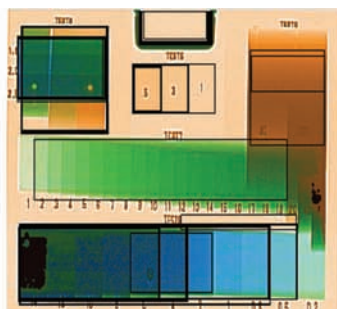
- [1] 林俊明. 多频涡流检测原理及应用[J]. 无损检测, 1996, 18(1): 23—26.
- [2] 孙朝明, 徐彦霖, 刘宝. 有限元方法在涡流传感器设计中的应用[J]. 传感器技术, 2005, 24(10): 80—85.
- [3] 美国无损检测手册译审委员会. 美国无损检测手册·电磁卷[M]. 上海: 上海世界图书出版公司, 1999.
- [4] 任吉林, 林俊明, 等. 电磁检测[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [5] 邹建伟. 多频涡流技术在冷凝铜管检测中的应用[J]. 湖南电力技术, 1992, (3): 31—36.



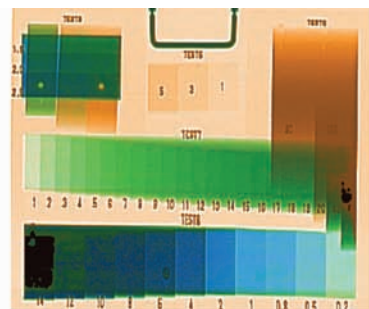
(上接第 172 页)



(a) 测试体 B 实测图像



(b) 基于 HSI 空间矩形提取效果图



(c) 基于 RGB 空间矩形提取效果图

图6 测试体 B 实测及提取后图像

边逼近的矩形提取方法,实现了 X 射线安检设备测试图像自动分割。对识别中产生的冗余多边形信息根据实际图像特点进行特征筛选,提高了识别的准确性和有效性。试验结果表明,基于 HSI 多边形逼近的矩形提取方法相较于 RGB 空间中的轮廓提取方法检测结果更完整、全面且准确率较高。

参考文献:

- [1] 林生佑, 石教英. 基于 HVS 的彩色图像边缘检测算子[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(1): 43—47.

- [2] Douglas D H, Peucker T K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature[J]. The Canadian Cartographer, 1973, 10(2): 112—122.
- [3] Teh C H, Chin R T. On the detection of dominant points on digital curves[J]. IEEE Tr PAMI, 1989, 11: 859—872.
- [4] 刘敏. 基于三维道格拉斯改进算法的地貌自动综合研究[D]. 西安: 西北大学, 2007.
- [5] 许如初, 张智平. 确定任意多边形顶点凹凸性的快速算法[J]. 华中理工大学学报, 1997, 25(1): 103—104.