

基于局部分类的铝合金低倍组织图像分割

周祺智,马万太

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:铝合金低倍组织图像存在缺陷分布稀疏、面积极小等检测难题,一般的图像分割法难以将缺陷从背景中分割出来。为此,设计一种基于局部分类的阈值分割法。对图像进行去噪及增强处理以突出缺陷特征,使用滑窗法对图像进行局部阈值分割,由分割结果的轮廓特征划分缺陷区域与无缺陷区域,再根据其各自的阈值分布确定全局阈值,计算图像的错误分类误差以验证算法的有效性。研究表明:所提出的方法相比 Otsu 法和最大熵阈值分割法可更有效地分割铝合金低倍组织图像,适合铝合金低倍组织的缺陷检测。

关键词:铝合金;局部分类;低倍组织检测;缺陷检测;图像分割;图像处理

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)04-0129-04

Image Segmentation of Aluminum Alloy Macro-structure Based on Local Classification

ZHOU Qizhi, MA Wantai

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: To overcome the difficulty in segmenting the defects from the background by general image segmentation method due to poor detections of aluminum alloy macrostructure image such as sparse defect distribution and small area, a threshold segmentation method based on local classification is proposed. The image is denoised and enhanced to highlight the defect features. The sliding window method is used to segment the image by local threshold, and by the contour features of the segmentation results, the defect area and the defect free area are divided. The global threshold is determined according to their respective threshold distributions, and the error aviation of classification error of the image is calculated to verify the effectiveness of the algorithm. The experimental results show that the proposed method is more effective than Otsu method and maximum entropy threshold segmentation method in segmenting the image of aluminum alloy macrostructure, which is suitable for defect detection of aluminum alloy macrostructure.

Keywords: aluminum alloy; local classification; detection of macroploid tissue; defect detection; image segmentation; image processing

0 引言

近年来,随着金属行业生产自动化程度及生产水平的提高,需要快速而精确地对金属表面进行缺陷检测,以适应更快的生产速度及更高的生产质量。而相对生产的快速发展,目前许多传统企业的检测手段仍为人工目视检测,检验人员劳动强度大,长时间工作眼睛容易疲劳,并且检测过程还会受到外界环境光影响,导致检测效率低、准确度低。随着近年来机器视觉技术的迅猛发展,视觉检测作为一种快速、准确的非接触无损检测方法,已广泛应用于工业制造领域^[1]。由于其检测时间短、检测精度高、可以实现完全自动化,不需要接触检测目标等优势,具有较高的应用前景。

基于机器视觉的缺陷检测主要由图像采集和图像处理两部分组成。铝合金低倍组织缺陷提取包括图像去噪、图像增强、阈值分割、缺陷提取等步骤。其中阈值分割是图像处理的重点和难点,直接影响缺陷提取效果及缺陷面积计算误差。

一直以来国内外学者针对不同的应用场景提出了许多阈值分割法。袁小翠等分析了钢轨图像的特点,总结了各种全局阈值分割法对钢轨图像分割存在的问题,提出了一种改进的 Otsu 方法^[2]。杜娟等为了解决注塑共建图像中存在的光照不均匀问题,提出了一种基于行像素灰度校正的不均匀光照图像分割算法^[3]。洪庆等针对航体机器人等装配车间流水线零部件智能感知问题,研究了基于智能视觉的零部件图像分割法^[4]。但是每一种阈值分割法都有其针对的场景,上述方法并不适用于铝合金低倍组织图像的缺陷分割。

铝合金低倍组织图像的特点和缺陷提取难点包括:1)图像尺寸较大,缺陷相比极小,且缺陷分布稀疏,大部分区域没有缺陷;全局阈值分割方法难以计算合适阈值,局部阈值分割会对无缺陷区域错误分割;2)除缺陷以外,铝合金的背景区域也存在颜色差异,这相对缩小了缺陷与背景的灰度差异,增大图像分割难度。

由于铝合金低倍组织图像具有以上特点,一般的阈值分割法无法对其进行有效的分割。为了准确地将缺陷从铝合金低倍组织图像中分割出来,本文提出一种基于局部

分类的图像分割方法,使分割阈值可以仅分割出面积占比极小的缺陷。

1 图像预处理

1.1 去噪

受光照条件以及图像采集与传输过程中的信号干扰,铝合金表面采集的图像往往会存在噪声,这会对后续图像

分割造成影响。因此首先要对图像进行滤波、增强等预处理,提高图片的信噪比。

图像噪声根据统计特征可分为椒盐噪声和高斯噪声两大类。常用的滤波算法有均值滤波、高斯滤波及中值滤波等^[5]。采用这几种滤波算法,分别对铝合金低倍组织图像进行滤波去噪。通过试验对比发现,选用中值滤波对铝合金表面图像进行去噪处理(图1),既能很好地滤除椒盐噪声,同时也对高斯噪声具有一定的抑制作用。

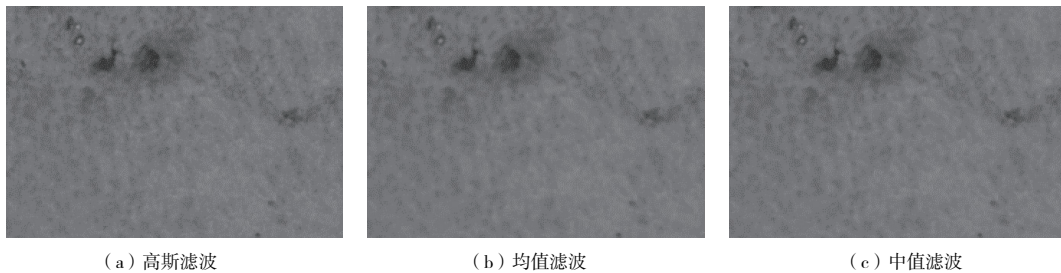


图1 不同滤波器处理后图像

从图1可以看出高斯滤波及中值滤波较好地保留了缺陷边缘,而均值滤波使缺陷边缘变得模糊。

Sobel算子可以计算图像灰度函数的近似梯度,反映

图像中的边缘及噪声,如图2所示。由于原图梯度较小,这里对计算结果进行线性放大,方便观察比较。可以看出中值滤波去噪效果比高斯滤波更好。

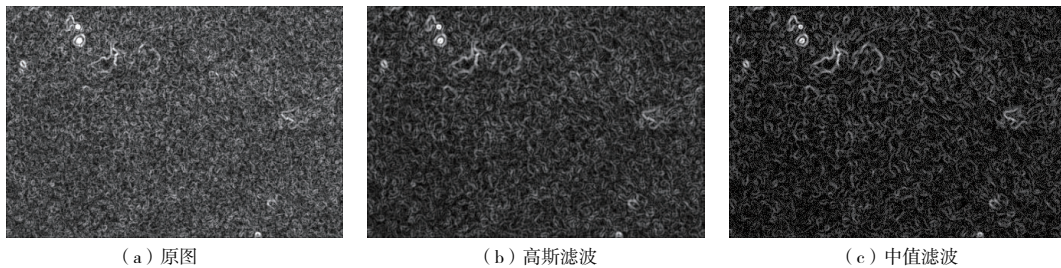


图2 滤波处理图像的Sobel运算结果

综合边缘保留及去噪对比,采用中值滤波进行处理既能较好保留图像边缘,又能有效去除图像噪声。

1.2 图像增强

从CV角度来看,背景灰度分布越平坦,目标与背景的灰度差异越大越有利于目标的提取。而铝合金低倍组织图像整体灰度偏低,缺陷与背景灰度差异较小,且背景灰度分布也并不平坦,导致缺陷特征不够明显,因此需要进行图像增强处理,突出缺陷特征。

根据缺陷灰度较低且整体图像较暗的特点,图像增强手段适用 $0 < \gamma < 1$ 的Gamma变换,可以增强图像暗区的对比度并且提高图片亮度。由于原图灰度分布范围较小(图3(a)),首先采用线性变换将原本图像灰度范围映射到整个灰度范围内,再采用 γ 的Gamma变换,效果如图3(b)所示。由图3对比发现线性增强和Gamma变换的操作显著放大了缺陷和背景的差异,突出了缺陷特征,这有效降低了后续图像分割难度。

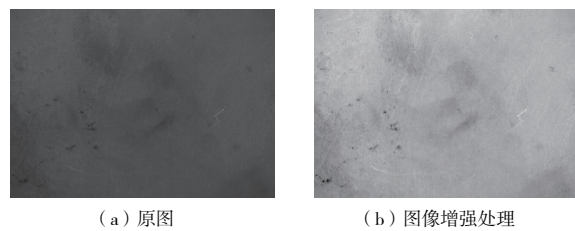


图3 图像增强对比

2 图像分割

图像分割是指将图像中感兴趣的区域从复杂的背景中提取出来的一种图像处理技术。图像分割的方法有基于图像边缘的分割方法,也有基于阈值的分割方法,还有基于区域的分割方法等^[6]。对于本课题的缺陷分割,边缘特征及区域分布特征都无法作为有效的图像分割依据,而本文研究分割的目标缺陷在图像上表现为灰度最低的部分,因此基于阈值的分割方法最适用于本课题。

阈值分割方法根据阈值适用范围可分为两类:全局阈值分割法和局部阈值分割法。全局阈值分割法是根据整张图像的灰度直方图信息来选择一个固定阈值,对整张图像进行划分;而局部阈值分割是将原始图像划分为多个较小的图像,根据每个子图像的灰度直方图信息选取不同的阈值,对局部区域进行划分。但是由于铝合金低倍组织图像特点,全局阈值法及局部阈值法均无法有效分割图像。

全局阈值法一般适用于双模分布的灰度直方图,而铝合金低倍组织缺陷分布稀疏且面积小,全局图像直方图非常近似于单模分布,如图4所示,灰度频率峰值达70 000,而缺陷的灰度频率还不到1 000。

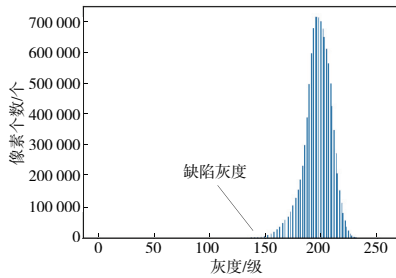


图4 灰度直方图

由于缺陷稀疏分布的特点,低倍组织图像大部分区域不存在缺陷,而局部阈值法总会将图像分为两部分,这就会导致局部阈值法对无缺陷区域的错误划分,如图5所示。

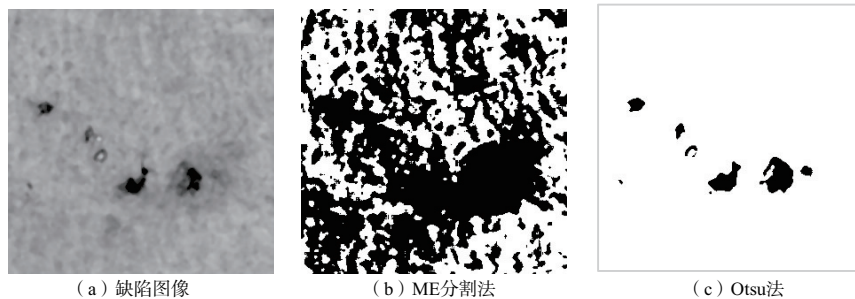


图6 缺陷图像分割

由于背景灰度不均匀,有无缺陷区域的分割结果相差较大(比较图6(b)及图6(c))。因此可以将分割结果的轮廓数量作为区分缺陷区域与无缺陷区域的依据。

本方法采用滑窗法遍历图像进行局部阈值分割,这可以增大采样数量,增强算法鲁棒性。分割结果的轮廓数量统计如图7(a)所示,可以看出直方图明显呈双模分布,适合使用Otsu法可以分割,其中轮廓数量较小的一部分即为缺陷区域。分类结果如图7(b)所示,黑色为缺陷区域。

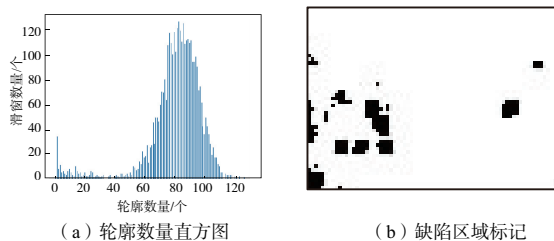
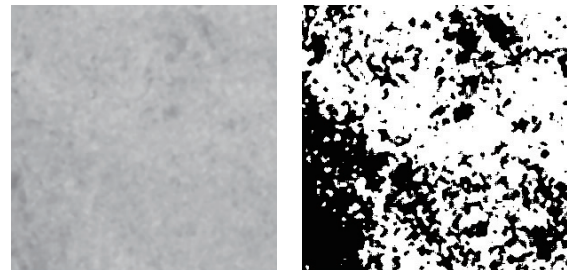


图7 Otsu 阈值分割滑窗轮廓数量

综合以上问题,本文提出一种基于局部分类的图像分割方法。该方法使用滑窗法对图像进行局部阈值分割,由分割结果的轮廓特征划分缺陷区域与无缺陷区域,再根据其各自的分割阈值分布确定全局阈值。



(a) 无缺陷图像 (b) Otsu法分割结果

图5 无缺陷区域分割

2.1 滑窗法区分缺陷区域与无缺陷区域

首先要对缺陷局部图像进行准确分割,根据Sezgin等对40多种阈值分割法的综合比较^[7],Otsu法和最大熵阈值分割法(maximum entropy, ME)是最有效及应用广泛的两种阈值分割法。对该两种方法进行实验对比,结果如图6所示。对比后发现最大熵阈值分割法对缺陷图像的分割效果较差,而Otsu法的分割效果很好。因此Otsu法更适用于本课题的阈值分割。

图7(b)与图3(b)对比发现分类结果较为准确,存在少量非缺陷区域错误分类为缺陷区域。

2.2 计算全局阈值分割图像

对缺陷区域的分割阈值进行统计,由于非缺陷区域的分割阈值一定为错误阈值,因此只统计该错误阈值最小值以下的部分,结果如图8所示。

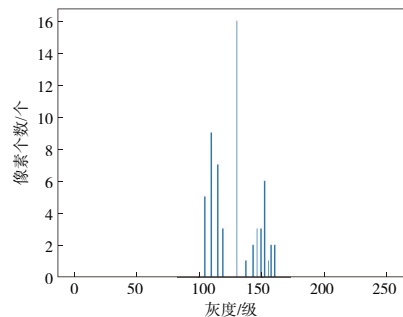


图8 缺陷区域分割阈值直方图

由直方图可以看出阈值仍分布较广,由于高灰度阈值可能为背景区域暗区与亮区的分割阈值,而低灰度阈值一定为缺陷与背景的分割阈值,所以低灰度阈值较高灰度阈值具有更高可信度。对该直方图使用 Otsu 法得到分割阈值,该阈值将直方图划分出灰度较低的可靠分割阈值与灰度较高的不可靠阈值,因此具有较高的可靠性。取此阈值作为最终的全局分割阈值可以分割出完整的缺陷,分割结果如图 9 所示。



图 9 全局阈值分割结果

与图 3(a)原图对比发现,该图像分割方法可以较准确地将缺陷分割出来。

3 检测结果

为了测试本方法对铝合金低倍组织缺陷的分割效果,选用错误分类误差(mis-classification error, MCE)这一权威指标来进行评价。由于 Otsu 算法和 ME 阈值分割法在缺陷检测中应用最广泛,是经典的阈值分割法,因此将本课题方法与 Otsu 算法及 ME 阈值分割法进行对比。

MCE 表示经阈值分割后图像进行阈值分割后图像被错误分类的概率,对于两类分割问题,MCE 定义为

$$M_{CE} = 1 - \frac{|B_o \cap B_T| + |F_o \cap F_T|}{|B_o| + |F_o|} \quad (1)$$

式中: B_o 和 F_o 分别表示标准分割图像的背景区域和目标区域,标准分割图像是采用手动逐个灰度比对得到的最佳阈值的分割图像; B_T 和 F_T 分别为测试图像二值化得到后的背景区域和目标区域; $| \cdot |$ 表示区域中像素点的数目。 M_{CE} 值分布范围为 $[0, 1]$,值越大表示被错分的像素点越多,分割效果越差,值越小则相反。

实验选用不同铝合金锭坯的低倍组织图像进行阈值分割,其缺陷分布及背景灰度分布各有差异。表 1 为各图使用不同方法对应的 M_{CE} 值。

从表 1 不同图像分割结果的 M_{CE} 值得出,Otsu 算法及最大熵阈值分割法分割结果的 M_{CE} 值均较大,即对铝合金低倍组织图像的分割效果很差,而本文提出的方法对 5 张

图像分割结果的 M_{CE} 值较小,即分割结果接近手工比对得到的理想分割结果,其中图像 I 的分割结果与理想分割结果一致。综上,本文方法分割效果最优且达到分割要求。

表 1 3 种方法对 5 张铝合金低倍组织图像的 M_{CE} 值

图像编号	Otsu	ME	本文方法
I	0.453 8	0.474 9	0
II	0.638 9	0.627 7	0.005 6
III	0.537 8	0.584 4	0.004 1
IV	0.489 7	0.552 8	0.016 3
VI	0.553 8	0.583 7	0.012 5

4 结语

本文提出了一种铝合金低倍组织缺陷检测方法——基于局部分类的图像分割方法。铝合金低倍组织的缺陷分布稀疏,面积小,全局图像直方图非常接近单模分布,使用滑窗法对局部进行图像分割,根据分割结果对局部图像分类,再根据缺陷区域及无缺陷区域各自的分割阈值范围确定最终的全局阈值。将该方法与 Otsu 及 ME 阈值分割法进行对比,结果显示本文方法的分割效果最优,适合铝合金低倍组织缺陷检测。

本方法主要针对面积小、分布少的铝合金低倍组织缺陷分布,对于面积大、分布广的缺陷分布需更进一步研究一种通用的阈值分割法。

参考文献:

- [1] 汤勃,孔建益,伍世虔. 机器视觉表面缺陷检测综述[J]. 中国图象图形学报,2017,22(12):1640-1663.
- [2] 袁小翠,吴禄慎,陈华伟. 基于 Otsu 方法的钢轨图像分割[J]. 光学精密工程,2016,24(7):1772-1781.
- [3] 杜娟,谭笑宇,黄涛. 针对不均匀光照高反光注塑工件图像的缺陷定位和分割[J]. 制造业自动化,2021,43(2):31-38.
- [4] 洪庆,宋乔,杨晨涛,等. 基于智能视觉的机械零件图像分割技术[J]. 机械制造与自动化,2020,49(5):203-206.
- [5] 王丽. 高强度噪声条件下边缘保持的图像滤波和分割方法研究[D]. 南京:南京师范大学,2016.
- [6] 贺振东,王耀南,刘洁,等. 基于背景差分的高铁钢轨表面缺陷图像分割[J]. 仪器仪表学报,2016,37(3):640-649.
- [7] KITTLER J, ILLINGWORTH J. Minimum error thresholding[J]. Pattern Recognition,1986,19(1):41-47.

收稿日期:2021-04-06