

基于机器视觉的散热器钎焊缺陷检测系统研发

吕广贤

天津工业大学控制科学与工程学院, 天津
Email: guangxianlv@foxmail.com

收稿日期: 2021年6月14日; 录用日期: 2021年6月28日; 发布日期: 2021年7月14日

摘要

为解决散热器钎焊缺陷在工业检测过程中效率低、差错率高的问题, 本文设计了一种基于机器视觉的缺陷检测系统。针对钎焊环节产生的焊缝和阻塞这两种缺陷, 通过设计的内外双光源照射模块分别对其打光得到各自的原始图像; 其次采用灰度处理、滤波除噪等算法进行预处理; 最后采用区域生长算子和设计的双阈值筛选算法分别得到了图像的焊缝和阻塞缺陷。实验表明, 本系统检测效率比传统人工检测效率提高了6倍, 准确率在97%以上。

关键词

机器视觉, 缺陷检测, 钎焊

Research and Development of Radiator Brazing Defect detection System Based on Machine Vision

Guangxian Lv

School of Control Science and Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin
Email: guangxianlv@foxmail.com

Received: Jun. 14th, 2021; accepted: Jun. 28th, 2021; published: Jul. 14th, 2021

Abstract

In order to solve the problem of low efficiency and high error rate in the industrial detection of radiator brazing defects, a defect detection system based on machine vision is designed in this paper. Aiming at the two defects of welding seam and blocking produced in the brazing link, the original images are obtained by lighting them respectively through the designed internal and external double light source irradiation module. Secondly, the algorithm of gray processing, filtering and removing dryness is used for preprocessing. Finally, the regional growth operator and the de-

signed double threshold screening algorithm were used to obtain the welding seam and blocking defects of the image respectively. The experiment shows that the system greatly improves the detection efficiency of brazing defects, and the accuracy rate is more than 97%.

Keywords

Machine Vision, Defect Detection, Brazing

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

散热器是汽车冷却系统的重要部件之一,其各部件一般采用铝合金材料,通过钎焊炉高温钎焊而成。但在整体成型的钎焊过程中散热器容易出现焊缝泄漏[1]和阻塞缺陷,这两种缺陷严重降低了散热器的使用性能,并且容易产生安全隐患。目前,散热器钎焊处的缺陷检测主要通过人工检测的方式完成,但是随着自动化检测技术的发展,这种落后的检测方式已不适应时代的发展要求。因此,实现对焊件质量的自动化检测具有重要意义。

目前,对钎焊、扩散式焊接质量的检测主要还是采用超声波检测、X射线检测和机器视觉[2]等方法。美国 Cognex 公司设计出了基于机器视觉的 Smart View 系统,该系统在金属表面缺陷检测中取得了很高的识别率[3];而 Westinghouse 公司在钢板钎焊表面的缺陷检测中提供了一种新的检测方案[4],原理是利用不同照明光路与电荷耦合元件(charge coupled device, CCD)线阵相机相结合的方式对其进行检测。国内方面,浙江大学的周红明等人设计了分水岭阈值分割法,利用机器视觉技术实现了对焊缝缺陷定位与尺寸测量[5],从目前的研究成果可以看出,研究关注点主要集中在图像分割提取和缺陷识别分类[6]。

针对散热器钎焊产生的缺陷问题,本文以机器视觉技术和图像处理为基础,通过设计的双光源照射模块、改进图像预处理算法及阈值筛选算法实现了对汽车散热器钎焊缺陷的自动化、高精度的检测。

2. 系统整体方案

2.1. 检测对象

汽车散热器主要是由散热器芯、水管、散热空气叶片、上水箱及下水箱等组合而成。上水箱在散热器上,由水管将上水箱与散热器下水箱相连通,热水由上而下流到下水箱时变为温水,散热空气叶片则构成孔道,经风扇的抽吸使大量的冷空气经空气孔道,将流经水管中冷却水的热量吸收,再发散于大气中。本文检测对象为水管口四周的钎焊处,如图1所示。

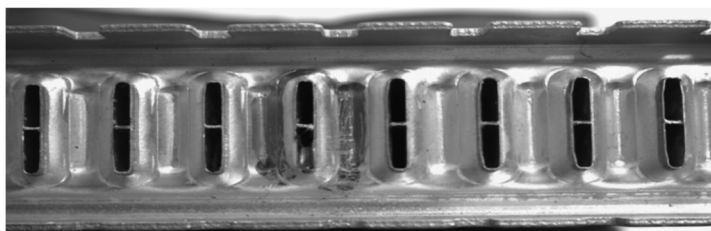


Figure 1. Brazing defects of automobile radiator
图1. 汽车散热器钎焊缺陷

汽车散热器的水管口四周经过钎焊而成的，其中个别管口的钎焊处会存在焊缝缺陷或阻塞缺陷。本检测系统主要基于散热器的这两种缺陷进行检测和识别，图 2 为通过打光即可得到散热器的焊缝缺陷图，图 3 为阻塞缺陷图。

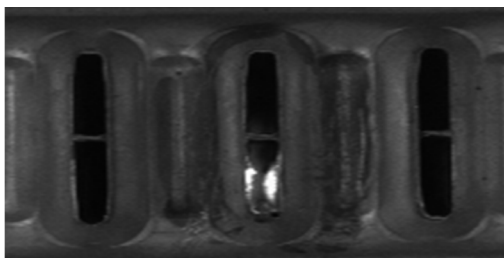


Figure 2. Radiator weld defects (lighting)

图 2. 散热器焊缝缺陷(打光)

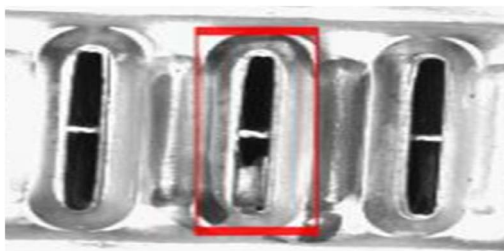


Figure 3. Radiator blocking defect

图 3. 散热器阻塞缺陷

2.2. 硬件系统结构设计

本文针对散热器钎焊缺陷设计的机器视觉检测系统主要由硬件系统和软件系统组成。软件方面主要利用在 VS2017 平台下开发的系统[7]，可以实现图像采集控制、图像处理分析[8] [9]、PLC 驱动和控制、检测数据统计存储、人机交互等系统功能。硬件系统包括工业相机、镜头、光源、图像采集卡、计算机等。

硬件系统整体结构如图 4 所示。

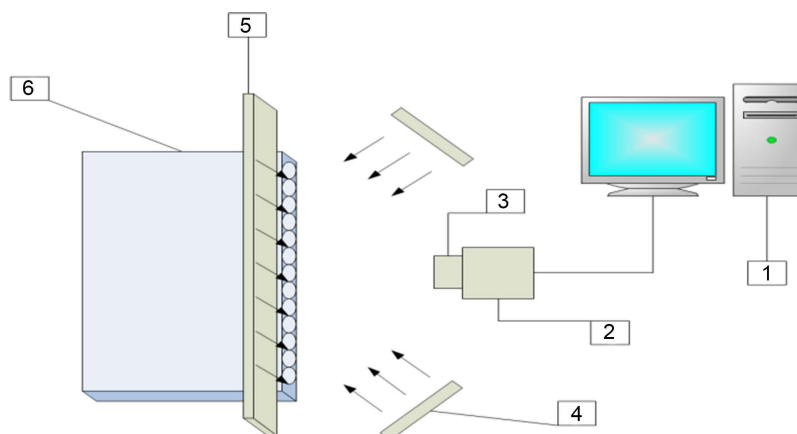


Figure 4. Brazing defect detection system of automobile radiator based on machine vision. 1.Computer; 2. Camera; 3. Lens; 4. External Light; 5. Automotive radiator

图 4. 基于机器视觉的汽车散热器钎焊缺陷检测系统。1. 计算机；2. 相机；3. 镜头；4. 外光源；5. 内光源；6. 汽车散热器

系统工作流程为: 首先通过将散热器放置到由伺服电机带动的传送带上, 当散热器经过检测工位时, 相机给计算机发送工件到位信号。

第一阶段, 计算机对散热器的焊缝缺陷进行检测, 内光源会亮起, 而外光源会关闭, 然后再发送采集信号触发相机拍照。

第二阶段, 计算机对散热器的阻塞缺陷进行检测, 内光源会关闭, 而外光源会亮起, 然后再发送采集信号触发相机拍照。

第三阶段, 计算机接收到前两各阶段拍摄的图片, 并且分别对图像进行实时处理, 并将检测结果信号反馈给计算机来显示检测结果。

2.3. 软件算法设计

本检测算法系统主要分为两个检测模块, 分别对焊缝缺陷以及阻塞缺陷进行检测。该系统通过对原始图像进行处理, 提炼出其中的主要特征(轮廓、亮度等), 便于计算机识别法[10] [11]。首先, 开启内光源对汽车散热器的钎焊处进行焊缝检测, 判断其是否存在缺陷。然后, 关闭内光源, 开启外光源, 对散热器钎焊处的阻塞缺陷进行检测, 判断其是否存在缺陷。若两个模块都未检测出缺陷, 则判定为合格产品, 否则即为不合格产品。本文算法流程图如图 5 所示。

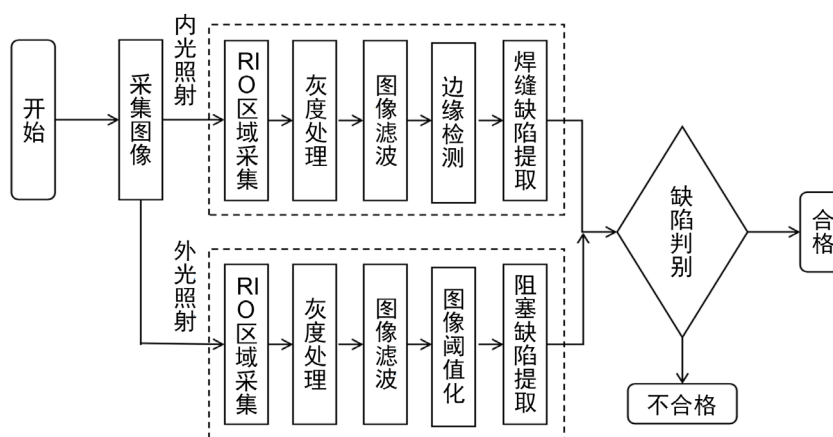


Figure 5. Radiator brazing defect detection algorithm flow
图 5. 散热器钎焊缺陷检测算法流程

3. 钎焊缺陷检测流程

3.1. 焊缝缺陷检测

3.1.1. 灰度处理

本系统的工业相机拍摄到的图像是散热器的三通道彩色图像, 颜色本身非常容易受到光照的影响, 三通道转为一通道后, 运算量将大大减少。图 6 为灰度处理后的焊缝缺陷图像, 图 7 为它的灰度直方图。

3.1.2. ROI 区域提取

在对图像采集的过程中往往会因为相机视场较大出现目标以外的场景, 而目标缺陷区域只存在于散热器钎焊处的图像中。因此, 在进行图像处理以前, 需要对散热器钎焊图像进行有效区域的提取。有效区域也可称为感兴趣区域(Regions of Interest 简称 ROI), 去除背景无关部分, 尽可能的保全散热器钎焊处的部分。图 8 为提取后的 ROI 图像, 图 9 为 ROI 图像的灰度直方图。

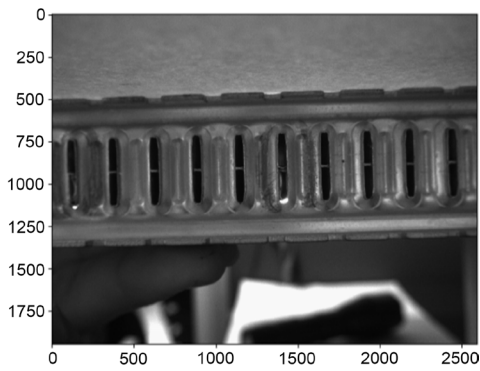


Figure 6. Weld defects after gray processing
图 6. 灰度处理后的焊缝缺陷

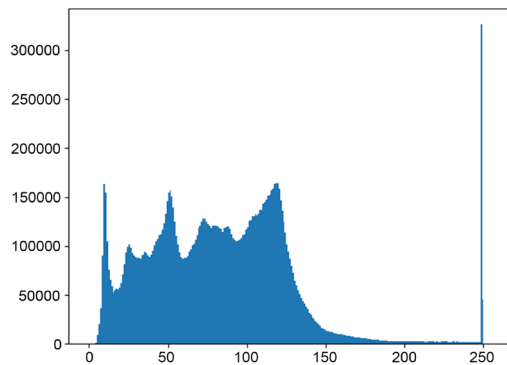


Figure 7. The gray level of weld defects is straight
图 7. 焊缝缺陷的灰度直方图

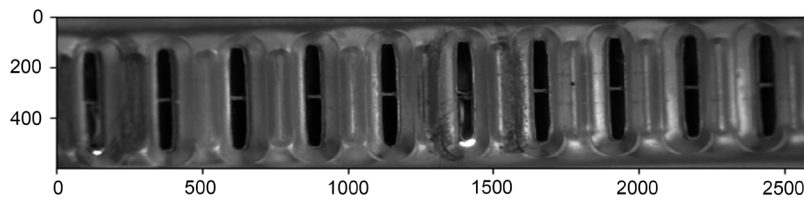


Figure 8. ROI weld defects after extraction
图 8. 提取后的 ROI 焊缝缺陷

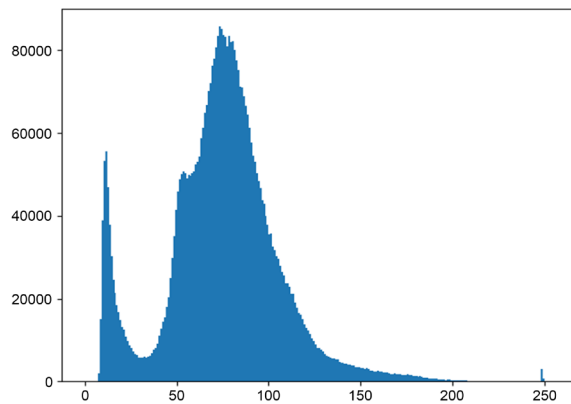


Figure 9. Grayscale histogram of ROI weld defect image
图 9. ROI 焊缝缺陷图像的灰度直方图

3.1.3. 滤波算法

图像去噪算法有很多种类，而高斯滤波是里面最常用的去噪算法之一。因为高斯滤波是一种低通滤波，所以它能有效地滤除掉图像中出现的噪点。高斯滤波会对边缘信息进行平滑，使图像变得模糊，当能滤除掉图像中噪声信号。由于它在滤波过程中只关注了位置信息，所以会使图像变得模糊；权重的计算方法如下式：

$$G(P) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{\|p-q\|^2}{2\sigma^2}}$$

高斯滤波处理后的图像如下图 10 所示。

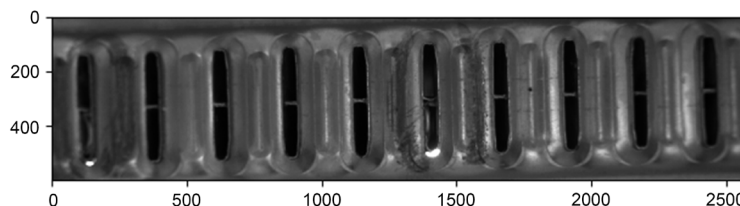


Figure 10. Radiator weld defects after filtering

图 10. 滤波后的散热器焊缝缺陷

3.1.4. 焊缝缺陷提取

本文将采用区域生长算子对滤波后的图像进行阈值化处理，将打光的焊缝提取出来。首先，需要对每一个区域指定一个种子点作为生长的起点，然后将种子点周围领域的像素点和种子点进行对比，将具有相似性质的点合并起来继续向外生长，直到没有满足条件的像素被包括进来为止。这样一个区域的生长就完成了。

具体步骤如下：

- 1) 对图像顺序扫描，找到第 1 个还没有归属的像素，设该像素为 (x_0, y_0) ；
- 2) 以 (x_0, y_0) 为中心，考虑 (x_0, y_0) 的 8 邻域像素 (x, y) ，如果 (x, y) 满足生长准则，将 (x, y) 与 (x_0, y_0) 合并，同时将 (x, y) 压入堆栈；
- 3) 从堆栈中取出一个像素，把它当作 (x_0, y_0) 返回到步骤 2；
- 4) 当堆栈为空时，返回到步骤 1；
- 5) 重复步骤 1~4 直到图像中的每个点都有归属时。生长结束，区域生长法分割。

提取后的散热器焊缝缺陷图如下图 11 所示。

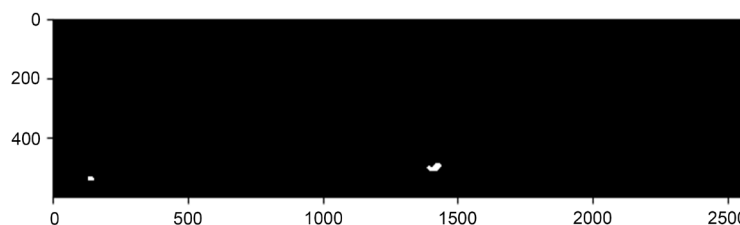


Figure 11. Radiator weld defects after extraction

图 11. 提取后的散热器焊缝缺陷

3.2. 阻塞缺陷检测

3.2.1. 图像预处理

首先，采用上文的算法分别对原始图像进行灰度处理、ROI 区域提取，然后对其进行滤波除燥后，即可得到阻塞缺陷的预处理图像。

本章节将采用双边滤波算法去除图像中的噪点。它处理后的图像能够保持边缘、降噪平滑。这是因为双边滤波的权重不仅考虑了像素的欧氏距离，还考虑了像素范围域中的辐射差异，在计算中心像素的时候同时考虑到了这两个权重。

$$BF = \frac{1}{W_q} \sum_{p \in S} G_s(p) G_r(p) * I_p = \frac{1}{W_q} \sum_{p \in S} \exp\left(-\frac{\|p-q\|^2}{2\sigma_s^2}\right) \exp\left(-\frac{\|I_p - I_q\|^2}{2\sigma_r^2}\right) * I_p$$

其中 W_q 为滤波窗口内每个像素值的权重和，用于权重的归一化。

$$W_q = \sum_{p \in S} G_s(p) G_r(p) = \sum_{p \in S} \exp\left(-\frac{\|p-q\|^2}{2\sigma_s^2}\right) \exp\left(-\frac{\|I_p - I_q\|^2}{2\sigma_r^2}\right)$$

在图像中的平坦区域，滤波器中每个像素点的 G_r 值相等，空间距离权重 G_s 主导滤波效果。通过实验我们可以看出来，在图像的边缘区域，边缘信息能够得到有效的保护。在进行归一化后，这些权值得到了提升，因此在平坦区域内出现的噪声点也有滤除效果。本文采用双边滤波，如图 12 所示。

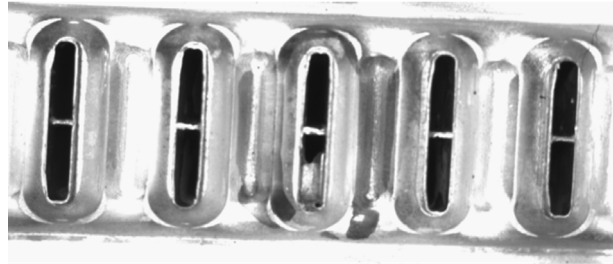


Figure 12. Blocking defects after gray processing
图 12. 灰度处理后的阻塞缺陷

本文在传统的 Canny 法基础上，对 Canny 算法进行改进。采用了在 Canny 边缘的梯度图像上进行二次曲面拟合，并参考 Canny 边缘位置及边缘方向进行更精确的边缘提取。本文采用改进的 Canny 算法使最后的图像边缘达到了较高的尺寸检测精度，如图 13 所示。

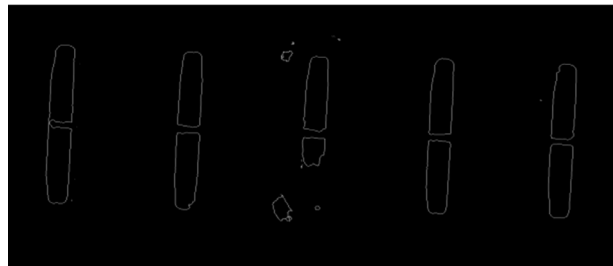


Figure 13. Blocking defects after edge extraction
图 13. 边缘提取后的阻塞缺陷

3.2.2. 阻塞缺陷提取

本文将采用双阈值筛选算法对阻塞缺陷进行提取。首先，经过改进的 Canny 边缘检测之后，可以清晰的将散热器钎焊处的边缘轮廓提取出来。其次，缺陷管口的轮廓在面积和长度方面都远远的小于正常管口。因此，本文结合轮廓的高度和面积设计了一种新的缺陷提取算法 - 双阈值筛选算法，该算法通过设置尺寸的阈值来筛选出缺陷的轮廓，算法流程图如图 14 所示。

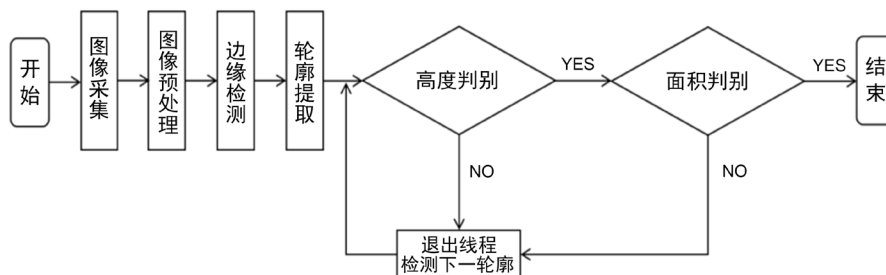


Figure 14. Double threshold filtering algorithm flow
图 14. 双阈值筛选算法流程

图 15 即为该算法提取出的阻塞缺陷图。

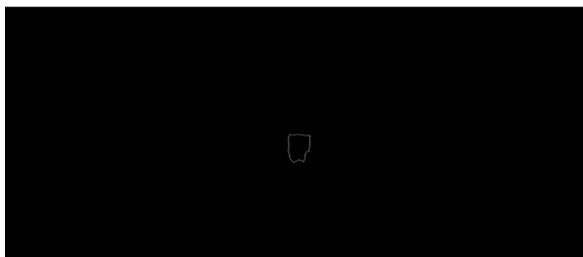


Figure 15. Curve: system result of standard experiment
图 15. 提取后的散热器阻塞缺陷

4. 缺陷检测结果及分析

为了判别待处理的散热器是否为合格产品，本文对 300 张图像进行实验分析，其中 87 张为焊缝缺陷图像、93 张为阻塞缺陷图像以及 120 张非缺陷图像。本文采用了适合本材质的光照进行补光，并在传统图像算法的基础上进行了诸多改进以达到更好的检测效果。实验检测结果统计如表 1 所示。

Table 1. Radiator defect detection system test data

表 1. 散热器缺陷检测系统试验结果数据

汽车散热器图像	检测个数	正确个数	正确率
焊缝缺陷图像	87	87	100%
阻塞缺陷图像	93	91	97.8%
非缺陷图像	120	118	98.3%

实验结果表明，本算法检验正确率在 97% 以上，在缺陷检测方面的失误较小，尤其对焊缝缺陷的检测尤为准确，可满足汽车散热器钎焊缺陷的检测要求。

5. 结论

本文针对散热器钎焊处的焊缝和阻塞这两类缺陷分别采用了不同图像算法进行检测，首先通过相机、镜头、光源、图像采集卡和计算机等硬件设备搭建采集缺陷图像，然后分别进行焊缝缺陷和阻塞缺陷两个模块的检测，最后再结合两个模块的检测结果对采集到的图像进行最后的判定。文章不仅改进了相关的图像算法，也提出了新的筛选算法来判定提取到的轮廓是否为缺陷图像。

结果表明本检测平台对散热器钎焊缺陷检测的正确率达到 97% 以上，充分验证了本系统的可靠性，满足了对散热器钎焊缺陷的自动化检测要求，具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 李政, 李扬. 铝质型管汽车散热器[J]. 汽车零部件, 2018(10): 90-94.
- [2] 王宇, 吴智恒, 邓志文, 刘进军, 童季刚, 莫爵贤. 基于机器视觉的金属零件表面缺陷检测系统[J]. 机械工程与自动化, 2018(4): 210-211, 214.
- [3] 郭皓然. 高亮回转表面缺陷识别方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [4] 王磊. 基于光度立体的金属板带表面缺陷三维检测方法[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2019.
- [5] 周红明. 薄材焊缝自动化超声 TOFD 成像检测关键技术研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学机械工程学院, 2014: 87-89.
- [6] 郭俊磊. 基于机器视觉的焊件外观缺陷检测系统的设计[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
- [7] 李琳娜. Visual C++编程实战宝典(配光盘) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [8] 冈萨雷斯. 数字图像处理的 MATLAB 实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [9] Bradski, G. and Adrian, K. 学习 OPENCV (影印版) [M]. 南京: 东南大学出版社, 2009.
- [10] Ding, Z.Y., Yang, W.Q. and Xie, K.Q. (2010) Study on Casting Technique for the Stainless Steel Blade Castings. *Foundry Technology*, **31**, 388-391.
- [11] Ahmed, M. (1995) *Image Processing*. McGraw-Hill, New York.