

DOI:10.19344/j. cnki. issn1671-5276.2024.03.014

基于机器视觉的镍板材表面缺陷检测研究

李建华^a, 刘广鹏^a, 赵正天^b, 雷春丽^a

(兰州理工大学 a. 机电工程学院; b. 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:针对电解法提纯镍板材表面出现的质量缺陷,设计改进 Canny 的缺陷检测方法。利用双边滤波使图像去噪保边,研究一种增强梯度的掩模并融入 Sobel 中形成双层卷积核,增强缺陷边缘梯度,弱化缺陷内部及背景区域的梯度。采用分水岭算法代替非极大抑制与形态学边缘连接算法进行边缘细化。实验结果表明:本算法对镍板缺陷的检测效果优于经典算法和其他几种改进算法。

关键词:机器视觉;表面缺陷检测;改进 Canny;最大熵

中图分类号:TP391;TB302.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2024)03-0066-04

Nickel Plate Surface Defect Detection Base on Machine Vision

LI Jianhua^a, LIU Guangpeng^a, ZHAO Zhengtian^b, LEI Chunli^a

(a. School of Mechanical & Electromechanical Engineering; b. College of Electrical & Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: To handle the quality defects on the surface of nickel sheet, a defect detection method combining adaptive fractional differentiation and improved Canny algorithm is proposed. Bilateral filtering is used to denoise and preserve the edge of the image. A gradient-enhancing mask is designed and integrated into Sobel to form a double-layer convolution kernel, enhancing defect edges gradient and weakening the gradient inside the defect and in the background area. The watershed algorithm is applied to replace the non-maximum suppression and the morphological edge connection algorithm for edge refinement. The experimental results show that the detection effect of the proposed algorithm on nickel plate defects is better than the classical algorithm and some other improved algorithms.

Keywords: machine vision; surface defect detection; improved Canny; maximum entropy

0 引言

镍是我国钢铁、电池、航天等领域使用的重要有色金属,常用提纯方法为电解法。电解槽作为电化学反应的母槽,镍板在其电解液中生长速度不均匀及夹杂气泡,导致板材表面形成大量圆球状凸起缺陷。这些缺陷会对后续码垛包装工序、下游销售及板材质量造成影响。基于此,对电解后的板材进行缺陷检测尤为必要。

目前,镍板材的缺陷检测基本采用人工目视检测法,而利用机器视觉技术对此种板材进行缺陷检测的研究与应用相对较少。对于其他相似的表面缺陷检测问题,黄梦涛等^[1]通过改进 Canny 算子,将最大熵和 Otsu 算法相融合,实现锂电池

极片的表面缺陷检测,该算法对少量缺陷可获得较好效果。郑安义等^[2]提出了芯片的气泡瑕疵缺陷检测算法,利用均值切块和加权融合进行图像光照补偿和增强,最后进行最大熵的阈值分割,该算法检测芯片气泡缺陷取得了不错的效果。刁子健等^[3]利用改进的 Canny 算法进行气泡检测,与 Canny 算子相比获得了更好的连接性。

上述算法只对部分缺陷检测效果较好,其他部分检测很难达到理想效果,故具有一定局限性。本文提出了一种改进的 Otsu-Canny 算法进行表面缺陷检测。为验证算法的效果,与其他算法进行了对比实验,结果显示本文算法具有良好的适用性。

基金项目:国家重点研发计划项目(2020YFB1713600)

第一作者简介:李建华(1975—),男,甘肃兰州人,教授,博士生导师,博士,研究方向为机器视觉、计算机集成制造。中国机械工程学会高级会员;高效轧制国家工程研究中心特聘专家;科技部智能数字家电产业技术创新联盟专家委员会委员。先后主持科技部国家重点研发计划任务 2 项,国家工信部项目 1 项,国家科技支撑计划研究任务 1 项。近年来发表论文 50 余篇,SCI/EI 检索近 30 篇,获甘肃省科学技术进步奖一等奖 1 项,甘肃省机械工程学会科学技术奖一等奖 4 项,参与起草国家标准 1 项,zt_1919@163.com。

1 表面缺陷检测问题分析

镍板缺陷个体微小、对比度偏低、缺陷数量及分布区域差异较大。图1为镍板灰度和梯度分布。由分布图可知,图像的灰度分布在平滑和缺陷区域之间会产生一个差值;图像梯度在缺陷区域会产生阶跃性突变。为更直观清晰地观察图像灰度及梯度变化情况,选取两条直线分别通过平滑和缺陷区域,直线位置如图1(a)所示;由图1(d)、图1(e)曲线可知,平滑区域的曲线变化在一个较小范围内波动,缺陷区域的每一缺陷灰度和梯度大小不一,在边缘检测时,易造成误检和漏检现象。

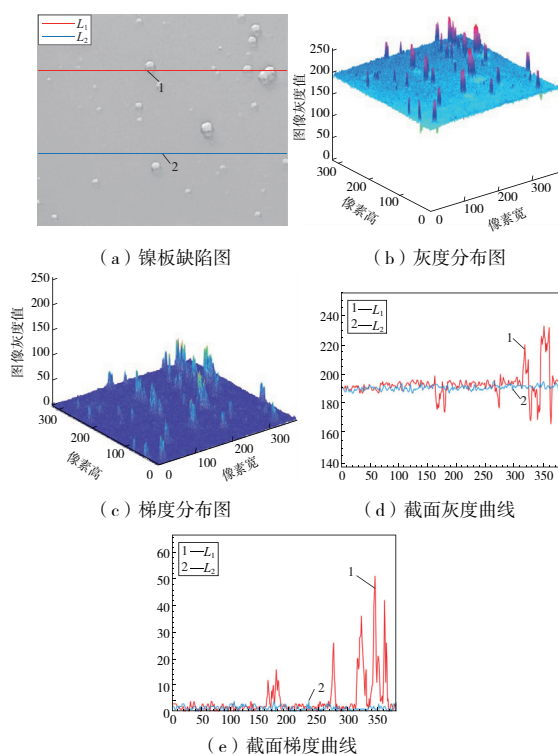


图1 镍板灰度与梯度分布图

2 改进 Canny 的表面缺陷检测

Otsu-Canny 是在经典 Canny 算子的基础上加入最大类间方差实现自适应阈值^[4]。镍板缺陷边缘及内部梯度值大小不一,Otsu-Canny 算法检测时会产生误判。针对传统算法的不足,本文提出以下改进:将高斯滤波改为双边滤波避免造成缺陷边缘模糊;提出了一种增强边缘梯度的方法,结合最大熵阈值,融入 Sobel 算子中,强调缺陷边缘;分水岭算法代替非极大值抑制等方法去除冗余,细化边缘。算法基本流程如图2所示。

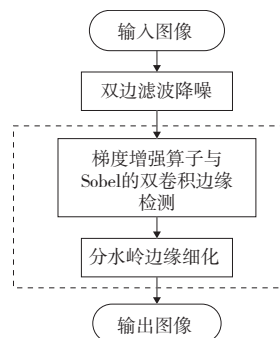


图2 算法流程图

2.1 双边滤波降噪

Canny 采用的高斯滤波方法对此类对比度偏低、前景目标小而多的图像效果不理想,图像缺陷模糊。本文采用双边滤波方法,使图像在去噪的同时一定程度上保留了图像边缘信息。

双边滤波^[5]在考虑高斯滤波空间域信息的同时加入像素值域权重,形成双重权重滤波。平坦区域内,邻域内像素灰度值变化不大,空间域为主要权重,在边缘区域,邻域内像素有较大梯度,像素灰度值为主导权重。双边滤波前后的图像效果如图3所示,达到了去噪保边的作用。

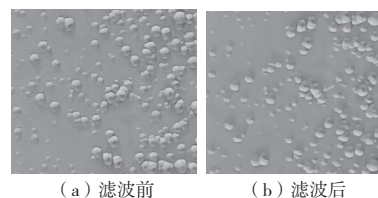


图3 滤波前后效果对比

2.2 图像边缘检测与细化

1) 梯度增强与 Sobel 的双卷积算子

梯度增强算子是借鉴注意力机制的思想,拉伸目标与背景的灰度差值。图像经梯度增强算子与 Sobel 算子进行双卷积操作完成梯度边缘检测,如图4所示。此方法能够突出前景的目标区域,模糊背景区域,增强了边缘的灰度突变,使输出的梯度图更能强调边缘,弱化背景及前景内部等无用区域。

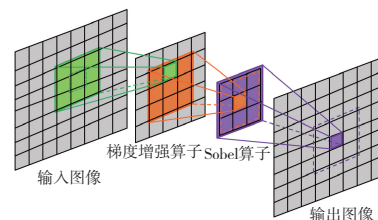


图4 梯度增强与 Sobel 的双卷积

本文提出的梯度增强表达式如下:

$$G_{\text{rad}} = f(x, y) * \left[\text{sigmoid} \left(\sum_s \frac{(g - t) \cdot k}{\sigma} \right) g_0 \right] * \text{Sobel} \quad (1)$$

式中: * 表示卷积操作,其左为预处理后的图像 $f(x, y)$,中间为梯度增强算子,右为 Sobel 算子;增强梯度的算子中, sigmoid 为权重归一化激活函数; s 表示卷积核区域; σ 表示卷积核的标准差; g_0 为卷积核中心位置灰度值;在激活函数参数中, k 为高斯核函数,代表卷积核到中心位置的权重; t 为目标与背景的边界阈值,采用最大熵获取; g 为梯度增强算子对应的图像内各像素的灰度值。图像经改进后的卷积操作能够较好地获得边缘梯度图像,减少了其他边缘的干扰,效果如图 5 所示。

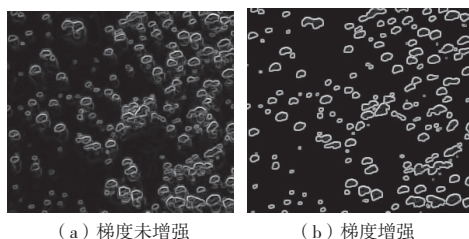


图 5 增强梯度边缘检测效果对比

2) 分水岭算法的边缘细化

改进后的 Sobel 算法获得的梯度图经阈值后得到的边缘较宽,为去除边缘冗余、采用分水岭算法^[6]代替非极大值抑制与边缘连接方法细化边缘。

进行分水岭细化边缘前,需找出图像标记点进行注水。本文缺陷边缘为闭合轮廓,以边缘内孔洞作为注水点,以梯度图的边缘轮廓作为泛水区域,找出边缘极值点进行边缘细化。细化效果如图 6 所示,与非极大值抑制去除冗余,后进行形态学边缘连接相比,避免了出现连接中断和存在伪边缘现象。

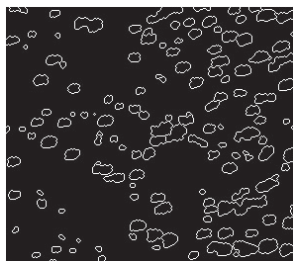


图 6 分水岭边缘细化

3 实验结果分析

为验证本算法的有效性,实验所使用的硬件

平台配置为 AMD R5-4600H 3.00 GHz 16 GB 内存 4.00 GB RAM,软件平台为 C++ 联合 OpenCV, Matlab2020b, Windows10 操作系统。通过实验对本文方法进行验证,并将本文提出的算法与经典算法及现有文献算法进行比较分析。

3.1 图像去噪效果对比

将本文采用的双边滤波去噪算法与其他几种经典滤波方法作比较,如图 7 所示。对比可知,高斯滤波和均值滤波边缘清晰度较差;中值滤波部分干扰噪声无法去除;双边滤波在去除平滑区域干扰噪声的同时,较好地保留了缺陷边缘区域。

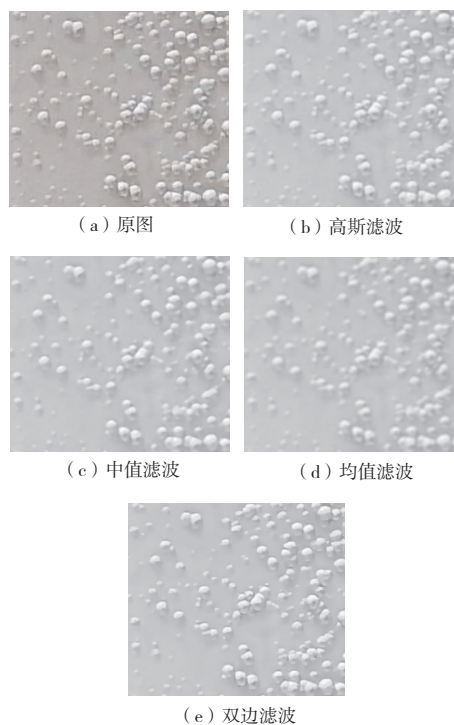


图 7 镍板材滤波去噪效果对比

为更客观评价以上几种滤波对镍板图像的去噪能力,本文利用峰值信噪比(PSNR)作为去噪性能评价指标。峰值信噪比越大,降噪效果越好。由表 1 可知,随机选取的几张镍板图像经滤波后,双边滤波的效果要好于其他几种滤波算法。

表 1 峰值信噪比滤波质量评价 单位: dB

序号	均值滤波	中值滤波	高斯滤波	双边滤波
1	32.557 7	34.182 5	33.772 1	37.902 6
2	24.583 9	26.130 0	28.294 8	37.816 6
3	36.076 3	37.192 0	39.560 2	43.965 5
4	26.259 2	27.532 3	29.848 4	38.434 7
5	28.413 4	29.865 3	31.929 5	40.817 1

3.2 缺陷检测效果对比

为验证本文提出的边缘检测算法的有效性,现选取几种典型的镍板缺陷分布,将常用的几种经典缺陷检测算法及现有文献提出的算法与本文方法进行比较分析,如图8所示。由于单个缺陷相对于镍板整体而言非常微小,为便于观察比较,取局部灰度图,如图8(a)所示。图8(b)为Otsu-Canny边缘检测算法,此算法存在一定伪边缘和断连接现象;图8(c)为文献[1]算法,在镍板检测中效果稍好于Canny算法,但提升效果不明显;图8(d)的文献[2]算法能够检测出镍板缺陷的二值图,并取得不错的效果,但会出现如第4张的翻转现象;图8(e)为文献[3]算法,该算法与本文算法检测效果相似,但会出现边缘中断现象,连接性不如本文算法,此外该方法第3张图像检测失败;图8(f)为本文算法效果,相较于上述算法,本文能够更好地检测出镍板缺陷,同时获得了较好的效果。

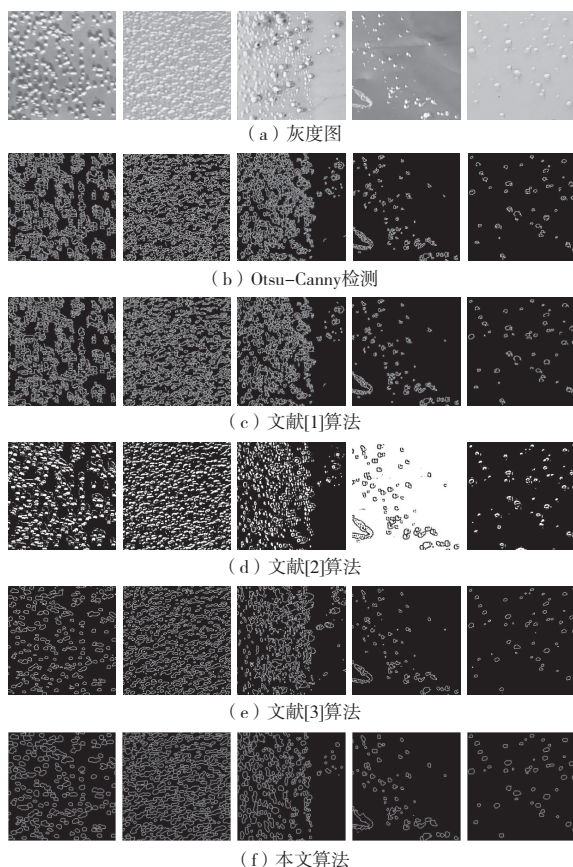


图8 缺陷检测效果对比

为更客观评价本文算法,减少样本特殊性对检测结果的影响,抽取100张镍板缺陷图像作为实验对象进行比较。精确率 P 、召回率 R 及 F 值(F -Score)为评估边缘检测效果的常用指标^[7]。

多数镍板缺陷数量过多,采用人工标注获取真实缺陷工作量巨大,为对比文献与本文算法的检测效果,提出了相对精确率 R_p 、相对召回率 R_R 及 F 值作为评价指标。不同于全部比较每一缺陷的检测状况,现只统计文献与本文算法检测结果相异部分,即文献与本文算法交并之差,进行两两对比,相关表达式如下:

$$\begin{cases} R_p = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FP}}; R_R = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FN}}; \\ F = 2 \frac{R_p \times R_R}{R_p + R_R} \end{cases} \quad (2)$$

式中: N_{TP} 代表交并之差后正确识别缺陷的个数; N_{FP} 代表错误识别缺陷的个数; N_{FN} 表示正确未被识别缺陷的个数。两算法相对精确率和相对召回率较高者,缺陷误检率和漏检率越低; F 值是精确率与召回率的均衡值,越高检测效果越好。将文献[2]、文献[3]分别与本文算法对比,统计随机选取100张镍板图像中的正确识别、错误识别及正确未识别缺陷总个数,计算 R_p 、 R_R 、 F 值如表2所示。对比可知,本文检测算法优于其他方法。

表2 缺陷检测结果对比

评价指标	对比一		对比二	
	文献[2]	本文算法	文献[3]	本文算法
正确识别/个	462	1 328	308	643
错误识别/个	143	139	58	56
正确未识别/个	1 328	462	643	308
相对精确率	0.76	0.91	0.84	0.92
相对召回率	0.26	0.74	0.32	0.68
F	0.39	0.82	0.46	0.78

4 结语

本文针对镍板材图像的缺陷问题,以Otsu-Canny边缘检测为基础,设计了增强梯度的算子与Sobel结合,利用最大熵阈值,实现边缘检测,提出了分水岭的边缘细化。将该算法应用于镍板材缺陷检测。实验结果表明:本算法检测缺陷效果优于其他经典算法及几种现有文献算法,对镍板缺陷检测具有一定的参考与应用价值。在后续工作中,需继续改进该方法,提高缺陷识别率,同时可以考虑将该算法移植到电解铜等其他具有相似缺陷的有色金属检测中。

(下转第118页)

求解结果均匀,制造资源负载均衡,避免了超载或闲置的情况,进一步提升了生产效率,能够有效解决分布式制造资源优化配置问题,实现整个系统协同化生产的最大化收益。

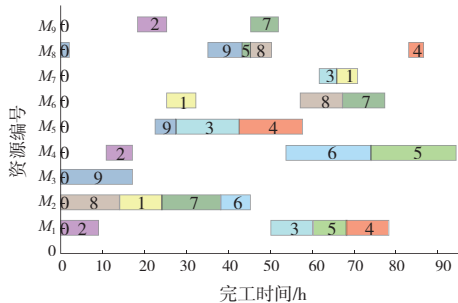


图3 基于 MSMOPSO 的优化配置结果甘特图

4 结语

本文针对云制造环境下分布式制造资源优化配置问题,在构建了分布式制造资源优化配置数学模型的基础上,将制造任务进行形式化描述。为了提高制造资源的匹配程度以及效率,针对制造资源需求方发布的复杂制造任务进行合理分解,形成相应的任务队列。改进了传统的 MOPSO 算法,提出了 MSMOPSO 算法,解决了多目标优化

配置问题。本文算法所得的 Pareto 解集采用综合评价策略进行最优方案选择,针对分布式制造资源优化配置问题进行了仿真实验,验证了本文算法的合理性和优越性。

参考文献:

- [1] 李伯虎,柴旭东,侯宝存,等. 云制造系统 3.0——一种“智能+”时代的新智能制造系统[J]. 计算机集成制造系统,2019,25(12):2997-3012.
- [2] 叶聿圣. 机械装备云制造服务平台运营机制研究[J]. 科技创新与应用,2021,11(26):64-66.
- [3] 吴书强,栾飞. 基于改进型鲸鱼算法的云制造资源配置研究[J]. 制造业自动化,2019,41(12):95-98,124.
- [4] 赵道致,张笑,杜其光. 云制造模式下基于 Pareto 最优的制造资源动态优化配置[J]. 系统工程,2015,33(9):109-115.
- [5] JAPPES J T W, BRINTHA N C, BENEDICT S. Resource allocation in cloud manufacturing using bat algorithm[J]. International Journal of Manufacturing Technology and Management, 2020,34(3):296.
- [6] YUAN M, ZHOU Z, CAI X. Service composition model and method in cloud manufacturing[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2020,61:101840.

收稿日期:2022-11-04

(上接第 69 页)

参考文献:

- [1] 黄梦涛,连一鑫. 基于改进 Canny 算子的锂电池极片表面缺陷检测[J]. 仪器仪表学报,2021,42(10):199-209.
- [2] 郑安义,曾祥进. 芯片表面气泡瑕疵检测方法[J]. 计算机应用,2021,41(增刊01):255-258.
- [3] 刁子健,张寿明. 基于 OpenCV 的气泡检测系统设计[J]. 电子测量技术,2021,44(12):6-11.
- [4] 王冬云,唐楚,鄂世举,等. 基于导向滤波 Retinex 和自适应 Canny 的图像边缘检测[J]. 光学精密工程,2021,29(2):443-451.

- [5] USHA NANDINI D, LENI E S. Efficient shadow detection by using PSO segmentation and region-based boundary detection technique[J]. The Journal of Supercomputing, 2019,75(7):3522-3533.
- [6] 刘聪,董文飞,蒋克明,等. 基于改进分水岭分割算法的致密荧光微滴识别[J]. 中国光学,2019,12(4):783-790.
- [7] 吴京城,施露露,杜亚南,等. 基于双重高斯滤波的细胞图像快速分割方法[J]. 激光与光电子学进展,2022,59(2):0210002.

收稿日期:2022-11-07