

基于机器视觉的钢板表面缺陷检测技术研究

王景景 符志军

江西工程学院

DOI:10.32629/pe.v3i6.17997

[摘要] 钢板表面瑕疵会严重影响其多项性能,检测钢板表面缺陷意义重大。本文采用机器视觉技术结合Matlab图像处理方法,对钢板表面裂纹、划伤、孔洞等瑕疵实时监测与识别。采集不同光照环境下的钢板表面图像并分析,探究光照波动与降噪策略对检测效果的影响。先对缺陷图像预处理,再用二值化与形态学操作分离图像背景与目标形态,提取缺陷特征,计算面积与周长。通过图像细化及骨架提取线性缺陷计算长度,用像素标定转换像素值。研究结果显示,所采用的钢板表面缺陷检测技术在实验中表现出优异的可靠性与重复精度。

[关键词] 机器视觉; 钢板表面; 缺陷检测

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A

Research on Steel Plate Surface Defect Detection Technology Based on Machine Vision

Jingjing Wang Zhijun Fu

Jiangxi Institute of Engineering

[Abstract] Surface defects of steel plates can seriously affect their multiple properties, and it is of great significance to detect surface defects of steel plates. This paper adopts machine vision technology combined with Matlab image processing methods to conduct real-time monitoring and identification of surface defects such as cracks, scratches and holes on steel plates. Collect and analyze the surface images of steel plates under different lighting conditions to explore the influence of lighting fluctuations and noise reduction strategies on the detection effect. First, the defect image is preprocessed. Then, binarization and morphological operations are used to separate the background and target morphology of the image, extract the defect features, and calculate the area and perimeter. The length of linear defects is calculated through image refinement and skeleton extraction, and the pixel values are converted by pixel calibration. The research results show that the adopted steel plate surface defect detection technology demonstrates excellent reliability and repeatability accuracy in the experiment.

[Key words] Machine Vision; The surface of the steel plate; Defect detection

引言

受技术制约,传统钢板表面缺陷检测主要靠人工,存在增加劳动强度、降低效率、难精准识别记录缺陷、易漏检误检、危害人员健康等问题。基于CCD视觉的表面缺陷检测系统由CCD相机、光源装置及计算机构成,操作人员无需到现场即可检测。现有的钢板检测技术包括:(1)电磁感应法,利用导电材料在电磁场中的感应效应无损检测;(2)射线检验方法,通过射线照射识别内部缺陷、用于晶体结构分析,但会造成污染、威胁健康,需防护;(3)磁粉检测法,铁磁性材料磁化后吸附磁粉呈现磁痕识别缺陷,但对工件表面光洁度有要求,依赖操作人员技术经验,效率低、适用范围窄。

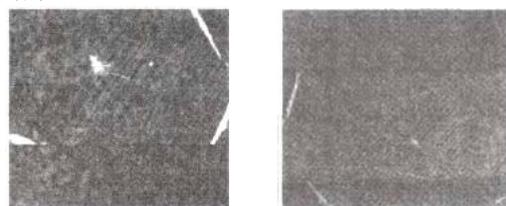
数字图像处理优势明显,具有强大图像重建能力、高处理精

度、广泛适用性和良好灵活性,信息压缩技术前景广阔。其核心依托计算机技术加工图像,已广泛渗透各领域,正朝实时处理、设备小型化及远程操控方向发展。本文的钢板缺陷检测技术用于实际工业场景,依托机器视觉原理,相比其他技术,识别速度快、操作便捷、检测性能优、在光照变化环境下稳定性更强。

1 图像的预处理

图像预处理在图像分析技术中至关重要。图像处理技术分空间域处理和频域处理,空间域处理直接调整像素灰度值,计算负担重但对局部缺陷图像修复效果好;频域分析通过小波变换转换图像到频率空间,用多种小波基分解提取分析特征。图像预处理常通过空间域技术实现,常见技术有直方图均衡、亮度修正、去噪等。为让计算机识别CCD相机在不同光照条件下拍摄的

图像,需进行预处理转换格式,图1展示了白光及自然光环境下的图像结果。



(a) 白光

(b) 自然光

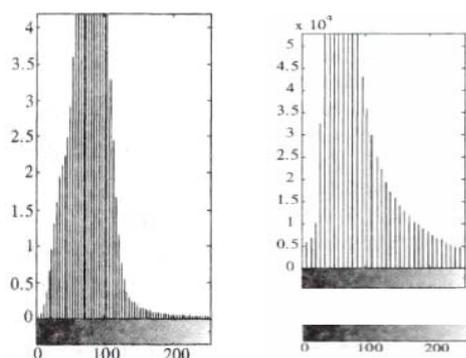
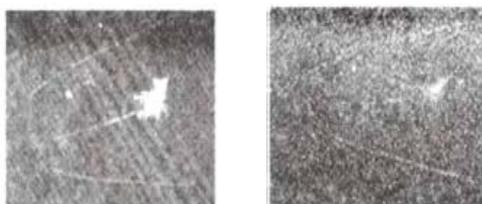
图1 原始图像

1.1 图像剪切

由于只需处理图像中的损伤区域,因此需先对原图进行裁切。

1.2 灰度修正

灰度直方图呈现各灰度级出现频率,反映灰度值分布特征,是描述图像灰度级像素分布的工具,横轴为灰度级,纵轴是对应像素数量。作为关键统计特征,它能反映图像亮度分布。调整灰度直方图旨在增强图像不同区域对比度,通常通过扩展原始图像灰度值分布区间实现。

直方图规划后的图像直方图 $\times 10^4$ 

直方图规划后的图像

图2 白光、自然光修正图像直方图

1.3 图像去噪

技术修正后,图像直方图灰度动态范围拓展,清晰度提升,细节更突出。图像采集中,光电噪声是CCD感光元件自发干扰,脉冲噪声是信号传输或存储瞬时干扰,影响清晰度,需滤波处理。本文对比均值、中值及自适应滤波优劣选最优法。

(1) 均值滤波:是常用线性平滑技术,以目标像素为中心取周围8像素均值替代原像素值作滤波后灰度值。

$$g(x,y) = \frac{1}{m} \sum f(x,y) g(x,y \sum f(x,y))$$

(2) 中值滤波:是非线性去噪技术,可抑制噪声并保留边缘

细节。它局部处理,排序邻域像素灰度值取中位数更新中心像素,随窗口移动实现图像平滑。奇数像素窗口中,中值由中心像素决定;偶数像素窗口,取中央相邻两像素灰度值平均值作中值,可有效去除椒盐或脉冲噪声。

(3) 自适应滤波:Matlab中Wiener2函数是常用工具,能依据图像局部特性动态调整滤波强度 $\sigma^2 = \frac{1}{k} \sum [F^2(i,j) - G^2(i,j)]$ 。

$$F(i,j) = G(i,j) + \frac{\sigma^2 - y^2}{\sigma^2} [F(i,j) - G(i,j)]$$

均值滤波会使图像细节模糊;中值滤波是主流去噪技术;自适应滤波可根据局部区域调整强度,去噪时能保持边缘与细节,但计算复杂度较高。白光环境下,后续用中值滤波兼顾平滑与噪声抑制;自然光环境中,采用自适应滤波。

1.4 图像二值化

通过阈值划分前景与背景,分离目标区域与背景,采用局部阈值法,适用于光照不均或对对比度不足场景。

1.5 形态学图像处理

用特定形状结构元素分析与提取图像形态特征,能精简信息、保留核心形状、剔除无关细节,具备并行计算优势。主要涉及开运算与闭运算,可去除小于结构元素的细节,避免全局几何畸变,增强图像连通性。



开运算后的图像 (a) 白光 (b) 自然光



闭运算后的图像 (a) 白光 (b) 自然光

图3 图像形态学处理

2 图像特征的提取

图像特征提取聚焦形状特征,如区域大小、边缘长度和质心位置等。区域面积计算采用像素计数法,确定区域内像素总数,能无偏一致估算原始模拟区域面积,是最优方案。

2.1 图像分割

区域分割依据图像特征,分析每个像素并划分至对应区域,区域由多个像素点构成。区域生长算法是常用且高效的经典分割方法,以初始像素为起点,检测周边像素特征信息(如亮度、边界、纹理等)进行区域拓展,若相似度达预设阈值,就将像素归入同一区域,最终形成分割后的图像,该技术可识别图像瑕疵,如图4的块状缺陷。

图像面积为: 4679.5 周长为532 图像面积为: 4591 周长为: 798

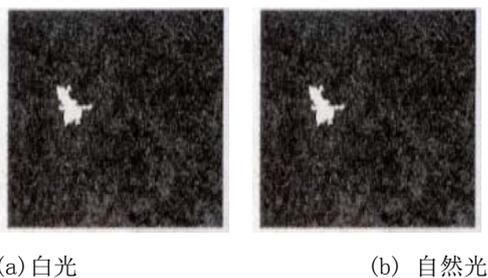


图4 块状缺陷提取

2.2 细化

线长为: 397

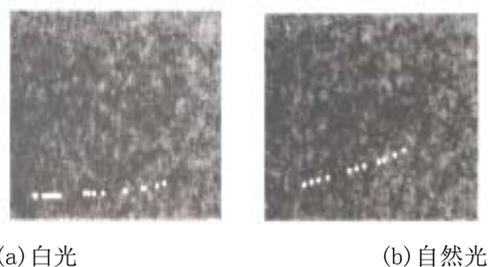


图5 线型缺陷提取

细化流程经两次连续腐蚀运算完成,先常规腐蚀,满足条件时移除可删像素,再去不影响连通性的像素,每次基于 3×3 局部区域运算,可将曲线形目标缩为单像素细线,呈现拓扑结构特征,优化后图形见图5。

3 实验结果与分析

通常用标定板对CCD摄像机标定,实现图像到空间坐标精准转换。标定图形是4个半径与圆心距已知的相同圆形,通过圆拟合与边缘检测提取圆斑边缘点,计算圆心坐标及圆心距。单位像素实际长度通过参考物体实际长度除以像素长度得出,面积标定类似,通过参考物体面积计算每个像素对应实际面积。图6为校准图形,标定后长度为237mm/Pixel,面积为0.048mm²/Pixel。

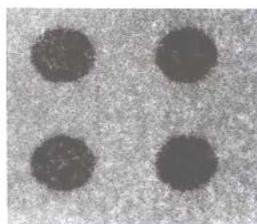


图6 标定图像

误检率和漏检率是评估检测系统精度和准确性的重要指标,误检率低表示正常区域误判少,漏检率低说明系统识别缺陷准确、未发现缺陷概率小。实验收集钢板裂缝与条形缺陷图像数据,结果显示假阳性率为2.0%,线状和块状缺陷测量误差分别为0.310mm和0.230mm,符合钢板在线检测标准要求。

4 结束语

本研究基于机器视觉技术,实现钢板表面缺陷实时检测。流程为:先采集原始数据,再分析图像并预处理及形态学转换,提取缺陷特征参数,计算缺陷总面积与线性缺陷长度;然后通过像素校准建立像素与实际长度、面积单位的定量转换关系。经验证,白光照射下缺陷图像处理效果更理想。

[项目基金]

2025年科学技术研究校级项目基金:“基于机器视觉的无人化修补汽车轮胎关键技术”(编号:2025-JGKJ-03)。

[参考文献]

- [1]吴平川,路同浚,王炎.钢板表面缺陷的无损检测方法及其应用研究[J].无损检测,2020,22(7):312-315.
- [2]何轶.超声波传感器在宝钢钢卷检测中的应用[J].电工技术,2023(10):64-65.
- [3]郭庆华,田陆,袁英宏,等.嵌入式系统在钢板表面缺陷检测中的应用[J].山西冶金,2022(4):54-56.
- [4]向阳,陈黎,张晓龙.基于支持向量机的带钢表面缺陷识别研究[J].工业控制计算机,2022,25(8):99-101.
- [5]高世一,杨永强,杨凯珍.不等厚板激光焊接焊缝缺陷结构光视觉检测[J].激光技术,2021,35(4):440-443.
- [6]宋强,徐科,徐金梧.基于结构谱的中厚板表面缺陷识别方法[J].北京科技大学学报,2017,29(3):342-345.
- [7]Wiltzsch K,Pinz A,Lindeberg T.An automatic assessment scheme for steel quality inspection[J].Machine Vision and Application,2020,12(3):113-128.
- [8]胡亮,段发阶,丁克勤,等.基于线阵CCD钢板表面缺陷在线检测系统的研究[J].计量学报,2015,26(3):200-203.
- [9]赵松青,王敏,黄心汉,等.基于神经网络的带钢表面孔洞检测系统研究[J].华中科技大学学报:自然科学版,2024,32(S1):220-222.
- [10]王学影,张洪涛.基于图像处理的CCD摄像机自动调焦方法研究[J].计量技术,2015(8):16-18.
- [11]胡亮.线阵CCD实现钢板表面缺陷在线检测关键技术及其应用研究[D].天津:天津大学,2025.
- [12]吴平川.带钢表面缺陷机器视觉识别方法的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
- [13]王正林,龚纯,何倩.精通MATLAB科学计算[M].北京:电子工业出版社,2017.
- [14]傅德胜,寿益禾.图形图像处理学[M].南京:东南大学出版社,2022.

作者简介:

王景景(1986--),女,汉族,山东济宁人,硕士,副教授,研究方向:智能控制、机器视觉。

符志军(1980--),男,汉族,江西新余人,硕士,副教授,研究方向:软件工程、人工智能。