

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.02.003

基于 HSV 颜色空间与轮廓特征的铜板捆扎带定位方法

刘相何¹, 高新峰², 冯晓峰², 马淑珍³, 李建华¹

(1. 兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050;

2. 金川集团铜业有限公司, 甘肃 金川 737100;

3. 云南文山铝业有限公司, 云南 文山 663000)

摘要: 针对铜板包装线的捆扎钢带快速定位问题, 提出一种基于 HSV(色相-饱和度-明度)颜色空间和轮廓特征的铜板捆扎钢带识别定位方法。对获取的铜板图像由 RGB 颜色空间转化至 HSV 颜色空间。通过对色相通道二值化分割, 提取出钢带的主体区域; 运用 Canny 边缘检测提取钢带边缘, 通过标准霍夫变换进行直线拟合, 采用距离阈值关联对得到的直线定位分类, 实现对捆扎钢带的定位。通过现场实验, 该方法对铜板钢带的定位准确率达 99.77%, 满足铜板自动生产包装线钢带定位的需求。

关键词: 机器视觉; 目标检测; 颜色空间; 边缘检测

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2026)02-0015-05

Copperplate Strapping Localization Method Based on HSV Color Space and Contour Features

LIU Xianghe¹, GAO Xinfeng², FENG Xiaofeng², MA Shuzhen³, LI Jianhua¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2. Jinchuan Group Copper Co., Ltd., Jinchuan 737100, China;

3. Yunnan Wenshan Aluminum Co., Ltd., Wenshan 663000, China)

Abstract: A copperplate bundling steel strip recognition and positioning method based on HSV (hue-saturation-brightness) color space and contour features is proposed to address the problem of rapid positioning of bundling steel strips on copper plate packaging lines. The method converts the obtained copper plate image from RGB color space to HSV color space, and extracts the main area of the steel strip through binary segmentation of the color channel. Canny edge detection is adopted to extract the edges of steel strips, and line fitting is performed through standard Hough transform. Distance threshold correlation is applied to locate and classify the obtained lines, and the positioning of bundled steel strips being achieved. The on-site experiments show that the positioning accuracy of copper plates and steel strips by the proposed method reaches 99.77%, which meets the positioning requirements of copper plate automatic production packaging lines and steel strips.

Keywords: copper plate packaging lines; machine vision; target detection; color space; edge detection

0 引言

铜是重要的基础性原材料, 其被广泛地应用于国防军工、建筑制造以及普通的日常生活中^[1-3]。在企业中, 生产的阳极铜经过电解产生阴极铜后由自动化生产线对其进行打包。在铜板包装过程中, 需要对铜板打包钢带进行定位, 以满足贴标等工序中自动化设备的定位需求。视觉常被运用于类似的定位场景并可以有效解决定位问题^[4], 晏祖根等^[5]基于 OHTA 颜色空间的图像分割法, 对采集到的 RGB 彩色图像转化为 OHTA

颜色空间的图像, 提取出图像中烟箱箱体的位置; 贺智勇^[6]基于涂层锈点的颜色和形状等特征, 利用 HSV(色相-饱和度-明度)颜色空间来区分分层的锈点和无锈点区域。基于以上工作原理, 本文针对铜板捆扎钢带的定位问题, 提出了一种基于 HSV 颜色空间和轮廓特征的铜板捆扎钢带识别定位方法, 经过实际应用场景测试, 该方法对铜板钢带的定位准确率达 99.77%。

1 钢带定位及问题分析

在自动化铜板包装线上, 铜板堆叠后经不同

基金项目: 国家重点研发项目(2020YFB1713603)

第一作者简介: 刘相何(1996—), 男, 河南周口人, 硕士, 研究方向为工业信息化, 374863615@qq.com。

的工位,从而实现冲压、计数、打包、称重等环节^[7-8],其已基本已实现自动化生产,如图 1(a)所示。在铜板打包后,需要在铜板钢带上粘贴相关的产品标签,仍需由人工进行,如图 1(b)所示。本方法基于图像处理技术,把铜板作为钢带提取的背景,钢带作为提取的目标,实现对钢带的定位。



(a) 铜板现场包装线 (b) 手动粘贴钢带标签

图 1 铜板现场包装线

2 基于图像处理的钢带定位方法

本文搭建一套包含工业相机、工控机等硬件设备用来获取铜板的原始图像,经过 ROI 区域处理后得到原始图像,如图 2 所示。

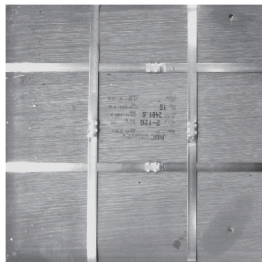


图 2 原始图像预处理

2.1 基于 HSV 颜色空间的钢带轮廓提取

RGB 图像中每一个像素值通过 3 个通道的线性组合进行颜色的显示^[9-11]。光照变化会同时影响 3 个通道的数值变化。相比较于 RGB 颜色空间,HSV 颜色空间则是一种用于描述颜色的三维坐标系,由 H(色相)、S(饱和度)、V(亮度)组成,更符合人眼对颜色的感知和描述方式^[12-14]。

根据 HSV 颜色空间模型,对图像进行由 RGB 颜色空间到 HSV 的转换,根据钢带颜色筛选目标颜色,其算法流程如下:

1) 将图像进行由 RGB 颜色空间转换为 HSV 颜色空间,得到图像的 HSV 图像,如图 3(a)所示;

2) 对得到的 HSV 图像进行通道分离,提取图像的色相 H 通道,如图 3(b)所示;根据钢带颜色

在 H 通道中的对应的色彩数值,设定最小颜色阈值 th_min 、最大颜色阈值 th_max ;

3) 对 H 通道图像中的单个像素值 $src(x, y)$ 进行式(1)处理,若像素点值大于 th_max ,则将该像素值设置为 0;否则,保持像素值不变,得到铜板钢带的主体轮廓区域最小阈值二值化图像,如图 3(c)所示;

4) 对得到的最小阈值二值化图像,对阈值中的单个像素值进行第二次处理如式(2)所示,若像素点值小于 th_min ,则将该像素值设置为 0;否则设置为 255,得到铜板钢带的主体轮廓区域二值化图像,如图 3(d)所示。

$$f(x, y) = \begin{cases} 0, & src(x, y) > th_max \\ src(x, y), & src(x, y) < th_max \end{cases} \quad (1)$$

$$f(x, y) = \begin{cases} src(x, y), & src(x, y) > th_min \\ 0, & src(x, y) < th_min \end{cases} \quad (2)$$

式中 $f(x, y)$ 为像素点灰度值。

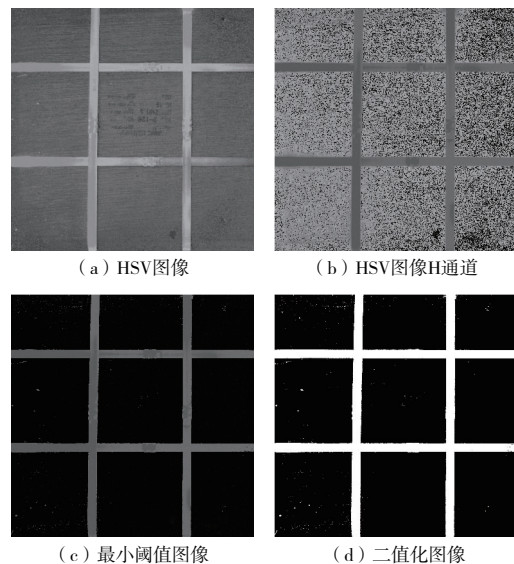


图 3 钢带轮廓提取

2.2 钢带轮廓区域处理

腐蚀和膨胀是图像处理形态学的两种基本运算,能较好地对图像中的噪声进行去除^[15-17]。分别对十字、椭圆、矩形结构元素进行开运算,矩形结构元素在对噪声点去除的同时能较好地保持钢带的直线轮廓。

2.3 轮廓边缘检测

提取图像中的边缘信息对目标定位有着重要的作用。Canny 边缘检测是一种常用的检测算法^[18-21],计算流程如图 4 所示。

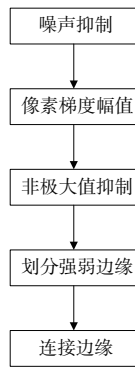


图4 钢带边缘检测流程

使用 5×5 的高斯滤波滤波器(如式(3)所示)平滑图像,以减弱噪声对图像的影响。对于每个像素,与其在梯度方向上相邻的两个像素的梯度方向和幅值相比较,若当前像素的梯度幅值最大,则保留,否则抑制。根据设置的双阈值,将所有的边缘分为强弱边缘,对所有的边缘进行连接输出图像的边缘图像,如图5所示。

$$G = \frac{1}{139} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

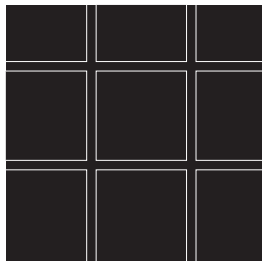
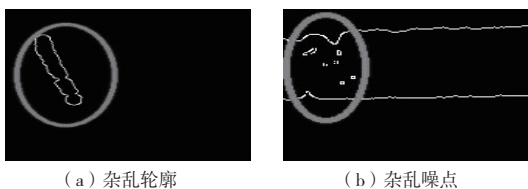


图5 钢带边缘检测

连接图像的边缘轮廓,会存在一些杂乱的边缘轮廓,如杂乱点、杂乱轮廓等,如图6所示。为了避免杂乱边缘对钢带位置提取的影响,根据钢带轮廓特征设置面积阈值 threshArea ,求得各轮廓的当前面积为 $\text{arcArea}[i]$,当满足 $\text{arcArea}[i]$ 大于 threshArea 时,保留当前轮廓;当 $\text{arcArea}[i]$ 不大于 threshArea 时,舍弃当前轮廓,从而选择出有效边缘。



(a) 杂乱轮廓

(b) 杂乱噪点

图6 杂乱轮廓、杂乱噪点

2.4 轮廓直线检测

经过对钢带边缘特征筛选后,图像中保存着钢带边缘轮廓的有效像素,由于钢带的整体轮廓为“#”状难以检测,因此可将钢带分为4条直线钢带部分。标准霍夫直线检测抗干扰能力强、对突出边缘、边缘缺失不敏感^[22-23]。其原理为通过将图像中的任意像素点在直线坐标系中的表示转化为极坐标系表示,坐标系中的单个像素点被映射于极坐标系中的一条曲线。当不同的点对应同一条直线时,极坐标系中出现多条曲线交于一点,当多条曲线的交点累加符合阈值时,则认为这些点组成了一个直线,完成对当前轮廓的检测,如图7所示。

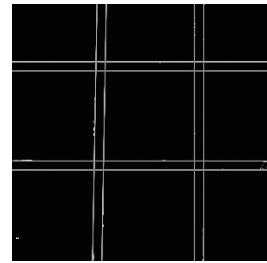


图7 钢带轮廓直线检测显示

由于铜板钢带为4条,检测边缘为8条直线,需要对检测出的直线进行组合区分,具体的各钢带边缘直线定位算法如下:

1) 计算出各直线的斜率记为 $k_i (i=1, 2, \dots, 8)$, 由于钢带直线的斜率近乎水平或垂直,因此可将直线的斜率划分为两组,当 $k_i > 1$ 时,将该直线放入 vector_v 容器中;当 $k_i \leq 1$ 时,将该直线放入 vector_h 容器中;

2) 在得到的两组直线中,分别为水平钢带的4条水平直线和竖直钢带的4条垂直直线,其表达式为 $Ax + By + C = 0$,对各组中的直线进行距离计算,对于直线 i 上的任意一点 (x_0, y_0) ,距离其它直线的距离为 D_1, D_2, D_3 ,其计算公式如下:

$$D_i = \frac{|A_i x_0 + B_i y_0 + C_i|}{\sqrt{A_i^2 + B_i^2}}, \quad i=1, 2, 3 \quad (4)$$

式中 A_i, B_i, C_i 分别对应另3条直线的一般方程系数;

3) 设置钢带的宽度为 W_{wide} , 误差阈值为 S_{scale} , 当 $|D_i - W_{\text{wide}}| \leq S_{\text{scale}}$ 时,则认为当前直线 i 和 D_i 直线为同一条钢带的两个边缘;若 $|D_i - W_{\text{wide}}| > S_{\text{scale}}$ 时,则两条线无关联,由此确定钢带位置,另一组4条直线同理;

4) 确定钢带后,根据钢带的坐标,划分为 GangDaiX1、GangDaiX2、GangDaiY1、GangDaiY2,并在图像上显示,如图 8 所示。



图 8 钢带定位结果

3 实验验证与分析

3.1 硬件搭建

为检验上述钢带定位方法的定位效果,由铜板自动贴标机器人对该方法定位效果进行验证,实验验证用的钢带来自铜厂自动化产线现场,钢带宽度为 32 mm,标签尺寸为 25 mm×100 mm。现

场部署端选用 64 位 win10 系统主机,CPU 主频 3.20 GHz,相机选用海康工业级 600 万像素面阵 CCD 相机。

3.2 软件设计及结果

该系统基于 OpenCV4.5.1 采用 C++ 语言完成钢带定位算法的编写并完成 DLL 的封装,采用 C# 编程完成系统可视化界面的开发。

根据计算的钢带位置,任取钢带上边缘直线上一点为起始点 (X_0, Y_0) ,贴标区域宽度为 WideG、高度为 HighG,贴标上偏移 marginU,贴标左偏移 marginL,则目标区域中心点的位置 $(X_0 + G_{wide}/2 + U_{margin}, Y_0 + G_{high}/2 + L_{margin})$,将该中心点和直线斜率传送给机器人,由机器人进行钢带标签粘贴作为结果显示。

结果如表 1 所示,本文所提方法识别钢带 6 d 的平均准确率为 99.77%,检测耗时平均 2 821 捆/ms,贴标位置误差小于 1 mm,满足现场生产的精度需求。

表 1 现场统计结果

时点	捆数/捆	识别钢带数	机器人贴标数	贴标合格数	贴标准确率/%	检测耗时/(捆/ms)
第 1 天	218	872	218	217	99.54	2 787
第 2 天	215	860	215	215	100.00	2 864
第 3 天	230	919	230	230	100.00	2 872
第 4 天	210	840	210	209	99.52	2 657
第 5 天	224	894	224	223	99.55	2 971
第 6 天	204	816	204	204	100.00	2 776

4 结语

针对铜板自动化产线上钢带定位问题,本文提出了一种基于 HSV 颜色空间与轮廓特征的铜板捆扎钢带定位算法。对铜板图像预处理后,进行由 RGB 到 HSV 颜色空间的转换,然后设置阈值提取钢带轮廓,拟合直线并以距离为关联依据,从而实现对钢带位置的定位。实验证明:本铜板捆扎带定位算法在保证检测速度的同时有着极高的准确性,满足了铜板生产企业机器人自动贴标系统的定位需求。

参考文献:

- [1] 宋刘毅. 面向有色金属浇铸生产线的贴标机器人关键技术研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2023.
- [2] 刘金菊. 浅谈我国有色金属矿产资源综合利用的现

状、问题及对策[J]. 世界有色金属,2023(6):94-96.

- [3] 张楠,刘若曦. “双碳”“双循环”下我国有色金属矿业发展新趋势[J]. 中国有色金属,2022(21):38-41.
- [4] 王荣浩,徐斌,张文博,等. 钢卷自动拆捆机器人捆带定位系统研发与应用[J]. 制造业自动化,2022,44(9):155-158,188.
- [5] 晏祖根,陈召,朱迪,等. 基于机器视觉的铜板垛捆扎带定位技术研究[J]. 包装与食品机械,2023,41(4):76-83.
- [6] 贺智勇. 基于机器视觉的工业钢带表面缺陷检测[D]. 太原:太原科技大学,2023.
- [7] 李长勇,元利伟,曹其新. 基于机器视觉的烟箱包装带识别定位算法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2008,36(增刊1):61-64.
- [8] 沈涛,郭超,刘永兴. 工业机器人视觉定位及图像处理分析[J]. 现代制造技术与装备,2022,58(6):185-187.

