

面向模制品披峰的机器视觉智能检测系统构建

刘怀海, 郭武, 刘建平, 刘旭, 李宗嘉

湖南应用技术学院, 湖南 常德 415100

DOI:10.61369/ECE.2025150041

摘 要 : 针对模制品披峰检测中人工检测效率低、误差大等问题, 设计了一种机器视觉智能检测系统。以金属盘毛边检测为例, 详细阐述机器视觉智能检测系统设计、实现路径, 旨在为模制品披峰的高效、精准检测提供方案。该系统采用先进的图像处理技术和机器学习算法, 能够快速、准确地识别模制品上的披峰; 精心搭建、调试硬件系统, 确保系统能够稳定运行。在实际应用中, 该系统展现出检测效率高、误差低等优势, 有着十分广阔的前景。

关 键 词 : 模制品披峰; 机器视觉; 智能检测系统; 金属盘毛边检测

Construction of an Intelligent Machine Vision Inspection System for Molded Part Flash

Liu Huaihai, Guo Wu, Liu Jianping, Liu Xu, Li Zongjia

Hunan University of Applied Technology, Changde, Hunan 415100

Abstract : Addressing issues such as low efficiency and high error rates in manual inspection of flash on molded products, an intelligent machine vision inspection system is desi. Taking the detection of burrs on metal discs as an example, this paper elaborates on the design and implementation path of the intelligent machine vision inspection system, aiming to provide a tion for the efficient and precise detection of flash on molded products. The system employs advanced image processing techniques and machine learning algorithms to rapidly and accurately identify flash on molded products; the hardware system is constructed and debugged to ensure stable operation. In practical applications, the system demonstrates advantages such as high detection efficiency and low error rates, holding broa.

Keywords : molded part flash; machine vision; intelligent inspection system; metal disc burr detection

引言

披峰(如毛边)会影响模制品外观质量、性能、使用寿命, 相关检测工作十分重要。但是, 传统的人工目视检查效率低、准确性差, 且检查结果容易受主观影响。当前, 如何提升模制品披峰检测效率和准确性, 是模制品生产领域需要重点研究的问题。机器视觉技术克服人工目视检查的弊端, 为模制品披峰检测提供了新思路, 它具备快速、准确、客观等优点, 能够在复杂的工业生产环境中实现高效、精准检测^[1]。故而, 本文以金属盘毛边检测为例, 探讨机器视觉智能检测系统在模制品披峰检测领域的应用, 旨在为类似产品的质量检测提供新方案。

一、面向模制品披峰的机器视觉智能检测系统设计

(一) 模制品披峰检测系统硬件平台构建与优化

1. 模态光源 - 相机协同成像系统设计

结合环形光源、同轴光、背光照明下, 不同材质(金属/塑

料)披峰成像特性, 构建基于漫反射与明场背光的自适应照明方案; 优化工业相机分辨率($\geq 5\text{MP}$)、帧率(0fps)、镜头景深参数, 解决高反光表面成像噪点与运动模糊问题^[2]。

2. 实时触发与数据流架构开发

采用“光电传感器-相机-PLC”的精准触发链路, 实现对模

项目信息:

常德市科技创新指导性计划项目, 项目名称: 基于机器视觉的模制品披峰检测(项目编号: 2025ZD136);

湖南省教育厅科学研究项目; 项目名称: 基于机器视觉的模制品毛边智能检测系统研究(项目编号: 25C1365)。

制品的精确捕捉；基于 GigE Vision/USB3.0 协议构建图像传输通道，以确保大数据量（1080P 60Hz）传输的稳定性、即时性^[3]。

3. 执行机构动态响应优化

通过 PLC 控制逻辑与伺服电机驱动算法，实现检测结果到分流器动作的毫秒级响应（ $\leq 50\text{ms}$ ）；设计机械夹具防抖动模块，确保剔除精度达到 $\pm 0.1\text{mm}$ ^[4]。

（二）基于区域形态学与机器学习的缺陷检测算法研究

1. 多阈值融合分割模型构建

对比全局阈值（Otsu）、动态阈值（局部自适应）与变差模型在复杂纹理背景下的分割效果，发现单一阈值分割方法存在一定局限性，所以提出基于图像梯度熵加权的混合阈值选择策略，旨在解决低对比度毛边漏检问题^[5]。

2. 鲁棒圆拟合与轮廓特征提取

开发改进型 RANSAC 圆拟合算法，引入轮廓曲率约束条件，抑制噪声干扰导致的圆心漂移（误差 ≤ 2 像素）；构建轮廓特征分类体系，提取毛边区域的凸包缺陷度、面积周长比等 12 维特征向量。

3. 深度学习辅助的缺陷分类模型

建立轻量化 CNN 网络，采用深度可分离卷积和瓶颈残差结构，有效减少模型参数数量，提高计算效率。融合区域形态学预处理特征与原始图像数据，实现披峰与其他缺陷（如油污、划痕）的准确分类^[6]。

（三）多特征融合的披峰量化分析模型建立

1. 几何参数精确测量方法

基于距离变换与形态学骨架提取，构建毛边最大偏移距离计算模型，同时采用亚像素边缘检测技术，从而将测量精度控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ ；开发极坐标映射算法，定位毛边起止角度（分辨率 $\leq 1^\circ$ ）^[7-8]。

2. 工艺质量关联性分析

研究披峰几何特征与模具磨损、注塑参数之间的映射关系，建立缺陷成因诊断规则库，为工艺优化提供数据支撑。

3. 动态基准自校正技术

提出基于参考圆拟合的工件位姿补偿算法，通过坐标变换消除传送带偏移（ $\pm 5\text{mm}$ ）对检测结果的影响，以提升系统鲁棒性。

（四）智能检测系统集成

1. 模块化软件架构开发

基于 Halcon/OpenCV 构建分层式视觉处理框架，实现图像采集、算法调度、结果输出的解耦设计；开发人机交互界面（HMI），支持检测参数动态配置与历史数据可视化分析。

2. 跨平台协同控制实现

设计 OPC UA 通信协议接口，打通机器视觉软件与 PLC 的数据交互通道，实现报警信号、剔除指令的实时响应。

3. 产线级验证与效能评估

在合作企业注塑产线部署原型系统。采集 1000+ 样本进行交叉验证，统计分析检测准确率、误检率与单件检测耗时，编制系统可靠性评估报告。

二、面向模制品披峰的机器视觉智能检测系统实现路径——以金属盘毛边的检测为例

（一）检测任务分析

需要检查工艺生产中金属盘部件上的毛边。检测到毛边后，确定毛边的大小和在圆边上的位置。

（二）检测系统硬件及软件的选择与组合

硬软件研究的主要内容有：机器视觉硬件的选型组合设计、视觉软件的应用、算法的设计及应用、视觉软件处理工具的选择及使用、外部执行机构的设计^[9]。本研究基于机器视觉，通过摄像机、照明器、触发图像采集的光电传感器、I/O 接口、计算机、机器视觉软件等采集并分析被测物图像是否与设定参数相符；通过数字 I/O 检测结果与 PLC 通信，将检测结果传输至 PLC 以控制执行机构动作。

（三）检测系统实现路径

金属盘毛边的检测系统构建路线如图 1 所示：

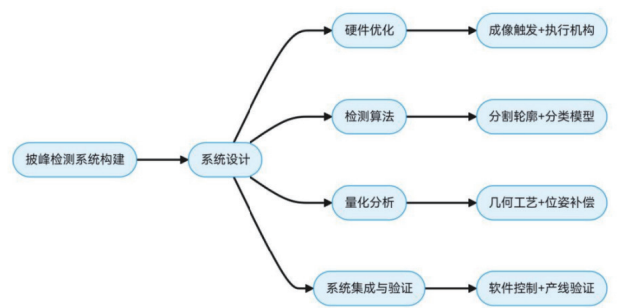


图 1 系统构建路线示意图

1. 硬件系统搭建与调试

硬件系统搭建与调试主要分为相机与镜头安装、光源布置、传感器与执行机构连接等三个部分。

相机与镜头安装：根据金属盘的尺寸和检测精度要求，选择分辨率适宜（ $\geq 5\text{MP}$ ）的工业相机，并将其安装在能够清晰拍摄金属盘圆边的位置；选用具有合适景深和焦距的镜头，以确保整个金属盘圆边都在拍摄范围内，且不会出现图像模糊问题；安装完成后，对相机和镜头进行初步调试，调整相机的焦距、光圈、快门速度等参数，使拍摄出的图像清晰、亮度均匀。

光源布置：结合环形光源、同轴光、背光照明下，金属材质披峰成像特性，选择漫反射与明场背光相结合的自适应照明方案。将环形光源安装在相机周围，提供均匀的辅助照明；同轴光布置在相机正前方，用于突出金属盘表面的细节；背光布置在金属盘后方，增强披峰与背景的对比度。安装完成之后，调整光源的角度和强度，以获得最佳成像效果。

传感器与执行机构连接：将光电传感器安装在适宜位置，使其能够准确感知金属盘位置，并触发相机进行图像采集；通过 I/O 接口将相机、光电传感器与计算机连接起来，实现数据的传输；将 PLC 与计算机进行通信连接，伺服电机驱动的分流器与 PLC 相连，以确保检测结果能够及时控制执行机构动作^[10]。

2. 软件系统开发与配置

软件系统开发与配置主要分为视觉处理框架搭建、人机交互

界面设计、通信协议接口开发等三个部分。

视觉处理框架搭建：基于 Halcon/OpenCV 构建分层式视觉处理框架。在底层通过调用相机 SDK，与相机通信，获取实时图像数据。在中间层进行算法调度，根据预设的检测流程，依次调用多阈值融合分割、鲁棒圆拟合、深度学习辅助分类等算法模块。顶层负责结果输出，将检测结果以直观的方式呈现在人机交互界面（HMI）上，并生成检测报告。

人机交互界面设计：开发友好的人机交互界面，支持检测参数的动态配置。

通信协议接口开发：设计 OPC UA 通信协议接口，实现机器视觉软件与 PLC 之间的数据交互。机器视觉软件按照 OPC UA 协议对检测结果进行封装，并通过网络发送给 PLC。PLC 接收到数据后，根据预设的逻辑判断是否发出报警信号或剔除指令；将自身的状态信息反馈给机器视觉软件，实现双向通信。

3. 系统集成与调试优化

系统集成与调试优化主要包括硬件与软件集成、参数优化与校准、产线级联调与验证等工作。

硬件与软件集成：将开发好的软件系统安装到计算机中，与硬件系统连接，并进行调试，以确保图像采集、算法处理、结果输出等环节能够正常工作。

参数优化与校准：采集大量的金属盘样本图像，进行样本分析，根据分析结果调整多阈值融合分割模型的参数，以提高分割的准确性；优化鲁棒圆拟合算法的曲率约束条件，从而减少圆心漂移误差；对深度学习辅助分类模型进行训练和调优，以提高分类的精度。

产线级联调与验证：在合作企业注塑产线部署原型系统，进

行产线级联调。首先，通过系统与生产线的其他设备协同工作，模拟出实际生产环境；其次，采集 1000+ 样本进行交叉验证，统计分析检测准确率、误检率和单件检测耗时等指标；最后，根据验证结果进一步优化、改进检测系统，并编制系统运行可靠性评估报告。

三、结语

本文构建的机器视觉智能检测系统，在硬件搭建、软件开发、系统集成等方面进行了全面优化，能够实现高精度、高效率的披峰检测。该检测系统在实际产线应用中取得了良好效果，有效提高了生产效率和产品质量。这不仅验证了机器视觉技术应用于模制品披峰检测领域的可行性和有效性，而且为行业内其他类似产品的质量检测提供了可借鉴的范例。

随着技术的不断进步，机器视觉智能检测系统将推动整个行业向智能化、自动化方向迈进，技术人员要从以下几个方向入手对其进行改进与优化：

（1）持续优化算法性能，不断探索新的图像处理和机器学习算法，进一步提高披峰检测的准确性和效率，降低误检率和漏检率；

（2）加强系统的通用性和适应性，使其能够适用于更多类型的模制品披峰检测；

（3）提升系统的智能化水平，引入人工智能技术实现系统的自主学习和自我优化；

（4）加强与其他生产系统的集成，实现数据的共享和协同工作。

参考文献

- [1] 白凯, 赵丽. 机器视觉技术下的纸张瑕疵智能检测系统设计与实现研究 [J]. 造纸科学与技术, 2024, 43(09): 74-77.
- [2] T/PEIAC 中国印刷及设备器材工业协会团体标准机器视觉单张纸平版印刷机在线智能视觉检测系统技术规范 [J]. 印刷工业, 2024, (05): 59-74.
- [3] 李燕婷, 鲍文杰, 李明洪, 等. 基于线性 CCD 的工业带材缺陷智能检测系统设计 [J]. 物联网技术, 2025, 15(10): 7-9+15.
- [4] 秦寅初, 李涛, 李旭, 等. 基于机器视觉的苹果表皮损伤智能检测系统设计 [J]. 食品与机械, 2024, 40(06): 138-142.
- [5] 萧泽健. 基于机器视觉的汽车产线车外灯在线智能检测系统 [D]. 东莞理工学院, 2024.
- [6] 陈伟彬. 注塑件缺陷在线智能检测系统研发与应用 [D]. 东莞理工学院, 2024.
- [7] 王光辉. 基于机器视觉的集装箱型号智能检测系统研究 [D]. 华北水利水电大学, 2024.
- [8] 付靖凯. 基于机器视觉与机械臂协同的智能产线检测系统设计与分析 [D]. 沈阳理工大学, 2024.
- [9] 高博轩. 基于机器视觉的管道缺陷智能检测方法研究 [D]. 中国石油大学 (北京), 2024.
- [10] 张燕, 李诚志. 机器视觉技术支持下的纸病智能检测系统架构设计研究 [J]. 造纸科学与技术, 2024, 43(02): 106-109.