

# 自动化生产线中PLC与机器视觉的集成化分拣控制

曾玉平

杭州萧山技师学院 浙江杭州 310000

**摘要:** 工业自动化分拣系统遭遇识别精度与处理效率双重挑战, 本文设计了基于PLC与机器视觉深度集成的分拣控制系统, 采用分层分布式架构和“松耦合、强协同”集成方案, 实现了高精度的产品鉴别与高效率的分拣执行, 研究解决了异构系统实时数据交互、精确时序控制以及动态环境下识别稳定性等关键技术障碍, 提出的集成化解决途径已在电子元器件生产线实现成功应用, 具有良好的推广价值。

**关键词:** 可编程逻辑控制器; 机器视觉; 异构系统集成; 分拣控制; 实时识别

## 引言

自动化分拣技术作为智能制造中的核心环节, 正快速地朝着高效率、高精度、高柔性方向迈进, 传统采用单一技术的分拣系统, 难以契合现代工业生产在复杂多变环境下对高质量分拣的需求<sup>[1]</sup>。PLC具备稳定可靠的逻辑控制能力, 机器视觉体现了非接触式精准识别的优势, 二者的有效结合为突破当下分拣技术瓶颈带来了新思路<sup>[2]</sup>。本文针对工业生产内复杂产品的高效分拣问题展开探讨, 提出一套PLC与机器视觉集成的分拣控制系统设计方案, 重点对异构系统之间的数据交互机制、实时响应控制策略以及系统集成优化途径开展研究, 且在实际生产线的应用里验证了该方案的可行性与先进性, 为自动化分拣技术的持续进步提供了新的技术范例。

## 一、PLC与机器视觉集成系统的理论基础

### (一) PLC控制系统原理

可编程逻辑控制器(PLC)作为工业自动化范畴的核心控制设备, 具备扫描式的循环工作模式, 其工作过程包括输入采样、程序执行和输出刷新三个主要方面<sup>[3]</sup>。PLC的内部架构组成有中央处理器、存储单元、通信模块和I/O接口, 这些部件协同工作, 从而使PLC能够高效处理复杂的控制任务, 在分拣控制体系当中, PLC采用梯形图或结构化文本等编程语言实现逻辑上的控制, 执行周期一般介于几毫秒至几十毫秒, 满足了实时控制要求, PLC的工作原理能采用数学模型表示:

$$Y=f(X, M, T)$$

其中Y代表输出量, X代表输入量, M代表内部状态变量, T代表定时参数。PLC硬件设计依照抗干扰性强、适应恶劣环境这类工业级要求, 软件采取模块化、结构化方式组织, 保障控制系统于高可靠性、高稳定性条件

下长期运行。

### (二) 机器视觉技术基础

在自动化分拣系统中, 机器视觉技术充当着“人工眼睛”的角色, 其核心功能为将采集的图像转化为机器可理解的数字信息并进行智能处理, 图像采集装置、图像处理器和分析软件组合起来构成机器视觉系统完整处理链路。图像获取阶段涉及光学成像原理, 采用CCD或者CMOS传感器将光信号变为电信号, 再经模数转换造就数字图像, 图像处理阶段借助多种算法对原始图像开展增强与解析, 有图像滤波、边缘检测、形态学操作以及特征提取等手段<sup>[4]</sup>。识别算法可凭借经典的模板匹配或现代的机器学习方法开展目标检测与分类, 其数学模型能够实现如下形式:

$$I'=T(I)$$

其中I为原始图像, T为转换函数, I'为处理后的结果。机器视觉系统在光照条件、目标稳定性、算法实时性方面的要求都有较高要求, 实际应用当中需要针对特定场景进行参数优化及算法定制。

## 二、集成化分拣控制系统设计

### (一) 系统总体架构设计

本文针对分拣控制系统设计采用分层分布式架构, 整体的结构分为感知层、控制层、执行层以及管理层四个功能模块, 感知层由机器视觉系统加上各类传感器组成, 承担起采集产品特征信息和位置数据的工作; 控制层将PLC当作核心, 担负起数据处理、逻辑运算和指令生成任务; 执行层由传送带、分拣机构和气动装置所组成, 进行具体的物料搬运及分拣行动; 管理层则由工业计算机及人机界面组成, 实现参数设定、运行监控以及数据管理功能<sup>[5]</sup>。各层级彼此间信息交互借助工业以太网构建, 采用主从式通信协议, 确保数据传输既实时又可靠, 系统架构设计采用模块化、标准化原则, 利于功能拓展与

分拣控制系统层级架构



图1 分拣控制系统层级架构

维护改良，信息流依照“采集-分析-决策-执行”的闭环流程运行，能量流依照“变换-分配-传递-应用”的路径开展转化，培育出一个高效协同的智能分拣体系。

### (二) 硬件系统设计

硬件系统作为分拣控制的物理基础，主要包含控制单元、视觉单元、传动单元和电气单元四大部分：控制单元选用西门子S7-1200系列PLC，该设备具备16点数字量输入、12点数字量输出和2点模拟量输入，配备高速计数器模块用于精确定位；视觉单元采用工业级相机，分辨率达1920×1080像素，搭配8mm焦距镜头和环形LED光源，确保图像采集质量；传动单元由变频调速电机驱动的皮带传送系统和多组气动分拣执行机构组成，气动系统工作压力为0.6MPa，响应时间小于20ms；电气单元包含低压配电系统、伺服驱动器和安全保护电路，配电系统采用三相五线制，工作电压380V/220V，控制电路则为24V直流供电，各硬件单元间采用屏蔽电缆连接，信号线与动力线分开布置，减少电磁干扰<sup>[6]</sup>。

### (三) 软件系统设计

软件系统设计采用分层模块化结构，包括底层驱动、中间层功能模块和上层应用程序三个层级：底层驱动负责硬件接口封装，提供标准化的设备访问接口；中间层包含图像处理、逻辑控制、数据管理等功能模块；上层应用则实现人机交互和业务逻辑。PLC程序采用结构化设计方法，将复杂控制逻辑分解为启动控制、运行控制、分拣控制、报警处理等功能块，程序执行周期设定为10ms<sup>[7]</sup>。机器视觉软件采用基于OpenCV的二次开发框架，实现图像预处理、特征提取、目标识别等算法，处

理时间控制在50ms以内。人机界面软件基于组态技术开发，设计包括主监控界面、参数设置界面、报警信息界面和数据统计界面，软件系统全面采用状态机设计模式，系统状态转换满足关系：

$$S=F(S, I)$$

其中S表示系统状态，I表示输入条件，F表示状态转换函数，程序代码实现考虑了实时性、可靠性和可维护性要求。

### (四) PLC与机器视觉集成方案

本系统的技术难点聚焦于PLC与机器视觉的集成，集成方案采用“松耦合、强协同”这样的设计理念，在数据交互层面，系统借助Modbus TCP协议搭建PLC与视觉处理器间的通信链路，数据帧采用{命令码(1字节)+数据长度(2字节)+数据区(n字节)+校验码(2字节)}的格式，切实处理好异构系统间的信息交换问题；时序控制相关层面，构建了基于事件驱动的触发机制，当产品抵达检测位置的时候，PLC发出触发类信号，视觉系统做完采集及处理这一流程后将结果予以回传，整个过程的时序精准调控在100ms以内；在功能分配层面，PLC承担整体控制逻辑与运动控制工作，视觉系统将精力放在图像分析与特征识别上，形成彼此互补的优势；在接口适配层面，制作了标准化数据转换模块，实现不同数据格式间的顺畅转换<sup>[8]</sup>。

## 三、集成化分拣控制系统实现与测试

### (一) 系统实现

本节集成化分拣控制系统实现流程分为硬件装配和软件开发两大板块，硬件装配阶段开展控制柜、视觉系

统与传送机构的规范化安装工作，控制柜当中电气元件布局合理恰当，视觉系统的相机被装到铝型材支架上，其工作距离达500mm；传送机构采用的传动系统为皮带式，宽度采用400mm，速度可调节范围设定为0-15m/min，软件开发阶段采用STEP 7-Basic进行PLC控制程序编写，采用LabVIEW开发视觉算法，采用组态软件构建人机界面，系统硬件连接坚实可靠，软件功能全面到位，合乎集成化运行的要求<sup>[9]</sup>。

### （二）系统调试与优化

系统调试工作按“单元调试-联合调试-整体优化”思路逐步展开：单元调试阶段分别验证了PLC控制单元的I/O配置与逻辑功能、视觉识别单元的光照补偿与特征提取、机械执行单元的传送与分拣精度；联合调试阶段解决了PLC与视觉系统的数据同步问题，调整触发信号时序满足 $\tau_d < \tau_p - \tau_c$ 约束条件，保证分拣准确性；整体优化阶段针对运行问题进行系统性改进，包括算法优化、程序优化和通信优化，成功解决了光照不稳定、图像模糊和响应迟缓等问题，显著提升了系统稳定性和可靠性<sup>[10]</sup>。

### （三）系统性能测试与分析

系统性能测试采用全面评估方法，覆盖识别准确性、响应速度、分拣效率和稳定可靠性四个核心指标。识别准确性测试利用标准测试样品集（包含6种不同形状、4种不同颜色、3种不同尺寸的样品）进行1000次重复测试，结果显示系统识别准确率达到98.7%，误识率1.1%，漏识率0.2%，误差主要来源于产品表面反光和姿态变化。响应速度测试测量了从产品进入视野到分拣执行的全链路延时，数据显示平均延时为145ms，最大延时不超过180ms，满足高速分拣要求。分拣效率测试在实际生产环境下进行，系统稳定运行时的处理能力达到45件/分钟，峰值处理能力可达55件/分钟，分拣定位精度误差小于 $\pm 5\text{mm}$ 。稳定可靠性测试采用72小时持续运行方式，记录系统运行状态和异常情况，测试结果显示系统平均无故障工作时间超过120小时，故障恢复时间平均为3.5分钟，系统整体可用性达99.5%。

### （四）应用案例分析

某电子元器件制造企业利用本文设计的集成化分拣控制系统成功改造了贴片电阻生产线，该生产线原使用人工目视检查方式进行产品分拣，存在效率低、准确率不稳定、人员成本高等问题。改造后的系统采用机器视觉技术对电阻外观尺寸、表面缺陷和参数标识进行检测，利用PLC控制执行精确分拣。该系统设计中特别考虑了微小元件的处理难点，采用了100万像素的工业相机配合微距镜头和自适应照明系统，实现了0.2mm缺陷的可

靠检测；分拣机构设计采用气动微型吸盘阵列，解决了小型元件准确抓取和放置问题。系统投入使用一年来，生产线效率提升了32%，产品一次合格率提高了5.8个百分点，质量改善成效显著。该案例验证了集成化分拣控制系统在精密电子元件领域的应用价值，为类似生产线自动化改造提供了可借鉴的实施方案。

### 结论

工业自动化行业对高效分拣系统的需求不断上升，本文所设计并实现的PLC与机器视觉集成化分拣控制系统，成功解决了传统分拣系统识别精度差、响应速度慢等技术难关，有系统地构建起从感知层到执行层的完整分拣控制链路，多层分布式架构和“松耦合、强协同”集成途径能有效增强系统稳定性与应用灵活性。未来研究将聚焦点在深度学习算法在复杂场景识别中的应用，以及分布式控制针对大规模分拣系统的优化策略，进一步推进自动化分拣技术产业化应用的步伐。

### 参考文献

- [1] 邱静妍. 基于PLC与机器视觉的物料分拣系统的设计[J]. 科技创新与生产力, 2025, 46(2): 119-123
- [2] 丁铎. 基于机器视觉的工业机器人物料分拣系统[J]. 电子制作, 2025, 33(8): 37-40
- [3] 张晓锐, 马世超, 刘卫国. 基于PLC的智能工业机器人控制系统研究[J]. 现代制造技术与装备, 2025, 61(1): 192-194
- [4] 徐艺, 刘铭, 彭聪, 张俊安. 基于S7-1200PLC的分拣系统设计[J]. 广东通信技术, 2020, 40(7): 53-5862
- [5] 任蒙蒙, 董珍珍. 基于工业4.0的烟花爆竹全自动生产线设计与优化研究[J]. 花炮科技与市场, 2025, 32(2): 73-75
- [6] 李海珠, 徐静楠. 视觉技术在企业生产中的应用[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(26): 159-164
- [7] 丁铎. 基于机器视觉的工业机器人物料分拣系统[J]. 电子制作, 2025, 33(8): 37-40
- [8] 李阳洋. PLC与机器视觉技术在自动化生产线中的集成与优化[J]. 中国品牌与防伪, 2024(7): 62-63
- [9] 詹玉新, 卢干, 徐云龙, 杜秀芝, 崔心惠. 空调外机出库自动化生产线设计[J]. 包头职业技术学院学报, 2023, 24(3): 1-339
- [10] 杨本强, 杨杰, 王毅. 机器人视觉伺服控制系统在自动化生产线中的应用[J]. 人工智能与机器人研究, 2025, 14(4): 878-884