

# 基于 PLC 与机器视觉的机电自动化装配线定位精度控制研究

邹良昌

辽宁超粤激光科技集团有限公司 辽宁 丹东 118000

**摘要：**本文围绕机电自动化装配线定位精度控制展开研究，阐述PLC与机器视觉的技术基础及协同原理，分析硬件系统、软件算法、环境工况三方面定位精度影响因素。从视觉检测优化、PLC运动控制优化、协同通信同步优化设计控制策略，完成系统硬件架构搭建与软件开发，通过设定多维度指标验证性能，为提升装配线定位精度与智能化水平提供方案。

**关键词：**PLC；机器视觉；机电自动化装配线；定位精度控制；协同控制

引言：制造业智能化升级背景下，机电自动化装配线对定位精度要求日益提高，而传统定位方式存在精度低、适应性差等问题，难以满足生产需求。PLC具备稳定逻辑控制与运动驱动能力，机器视觉可实现非接触式高精度定位检测，二者融合能有效突破定位精度瓶颈。因此，研究二者协同控制原理，分析精度影响因素并设计优化策略，对提升装配线质量与效率具有重要意义。

## 1 相关技术基础与协同原理

### 1.1 PLC控制技术基础

PLC在装配线中承担多类关键任务，可调度机械臂抓取、传送带输送等执行机构的动作逻辑，根据生产流程时序控制设备启停与动作衔接，避免多设备运行冲突。在执行机构运动控制层面，其能驱动伺服电机按预设轨迹运行，精准控制电机转速与转角，满足装配过程中不同工位的位移需求，为零部件精准对接提供动力控制支撑。PLC可采集接近开关、光电传感器等设备的信号，实时监测工件位置、设备运行状态，对异常信号快速响应并触发保护机制，凭借这些功能在多设备协同、粉尘或电磁干扰等复杂工况下保持稳定运行，保障装配线连续作业。PLC运动控制模块通过脉冲输出功能向伺服驱动器发送控制信号，脉冲频率决定电机运行速度，脉冲数量对应电机转动角度，实现执行机构的精准位移。位置模式控制下，模块可接收电机编码器反馈的位置信号，与目标位置对比后调整输出脉冲，确保执行机构精准停靠。模块的参数设置直接影响定位精度，如脉冲当量设定值需与电机步距角、传动机构减速比匹配，参数偏差会导致实际位移与目标位移出现误差，模块的响应速度则决定定位调整的及时性，影响装配效率与精度。

### 1.2 机器视觉技术基础

机器视觉系统硬件包含工业相机、镜头、光源与图像采集卡，工业相机分辨率越高，捕捉工件细节的能力越强，定位数据越精准；镜头焦距需根据拍摄距离与工件尺寸选择，确保成像清晰且覆盖检测区域；光源需提供均匀稳定的光线，减少工件表面反光或阴影对成像的干扰；图像采集卡负责将相机捕捉的图像信号传输至计算机。软件部分通过图像预处理去除噪声、增强对比度，再通过特征提取识别工件边缘、孔位等关键特征，最后经坐标计算得出工件实际位置，各组件选型需相互适配，共同保障定位精度。模板匹配算法通过将采集的工件图像与预设模板对比，计算两者相似度以确定工件位置，适用于形状规则、特征明显的工件，但易受光照变化影响精度。边缘检测算法通过识别工件灰度值突变区域提取边缘轮廓，结合几何计算得出位置信息，对工件姿态变化的适应性较强，但对图像噪声敏感。亚像素定位算法在像素级定位基础上，通过插值计算进一步提升精度，可将定位误差控制在更小范围。这些算法的精度与效率需平衡，实际应用中可通过算法融合或参数优化，提升工件姿态识别准确性与位置偏差计算速度。

### 1.3 PLC与机器视觉协同控制原理

PLC与机器视觉协同控制形成闭环体系，机器视觉系统按设定频率实时采集装配工件图像，经软件处理计算出工件实际位置与目标位置的偏差数据。偏差数据通过Profinet或Modbus等工业通信协议传输至PLC，确保数据传输的实时性与准确性。PLC接收偏差数据后，结合装配线当前运行状态，调用运动控制模块生成调整指令，控制伺服电机等执行机构动作，修正工件位置偏差<sup>[1]</sup>。执行机构调整后，机器视觉系统再次采集图像检测位置，若偏差仍超出允许范围，继续向PLC传输偏差数据，直至工

件定位精度符合要求,实现定位误差的实时补偿。

## 2 机电自动化装配线定位精度影响因素分析

### 2.1 硬件系统因素

机械臂、传送带等执行机构的机械间隙直接导致定位偏差,机械臂关节轴承间隙、传送带滚轮与导轨配合间隙在反复运动中易产生位置偏移,形成重复定位误差。传动backlash表现为执行机构反向运动时的空行程,如丝杠螺母传动中,丝杠反向转动需先消除间隙才能带动负载,导致运动滞后,无法精准抵达目标位置。执行机构刚度不足会在受力或负载变化时形变,机械臂末端承载工件后弯曲、传送带长期运行后松弛,这些形变均改变工件实际位置,降低定位精度。机器视觉系统受环境光变化影响显著,强光直射或明暗交替改变工件表面灰度分布,使相机采集图像对比度下降、目标特征模糊,引发目标识别偏差,坐标检测与实际位置出现偏差。工件表面反光形成高亮区域,掩盖边缘、孔位等关键特征,导致视觉算法无法准确提取定位信息;镜头污染如灰尘附着降低成像清晰度,同样影响检测精度。PLC与视觉系统的通信延迟造成控制响应滞后,偏差数据传输至PLC时执行机构已完成部分动作,使调整指令无法及时修正偏差,影响定位效果。

### 2.2 软件算法因素

传统视觉定位算法在工件旋转、倾斜场景下精度明显下降,如模板匹配算法依赖工件与模板的姿态一致,当工件发生旋转或倾斜时,匹配相似度降低,位置计算误差增大。工件部分遮挡会导致视觉算法无法获取完整特征信息,如边缘检测算法因遮挡无法识别完整轮廓,只能基于局部特征计算位置,进一步扩大偏差。这些误差会直接影响后续PLC补偿控制的准确性,使执行机构的调整方向或幅度出现偏差,难以达到预期定位精度。PLC控制程序中运动参数设置不合理会引发定位问题,位置环增益设置过高易导致执行机构在接近目标位置时出现过冲,即超过目标位置后再反向调整,形成震荡;增益过低则会使调整速度缓慢,无法快速抵达目标位置<sup>[2]</sup>。加速时间设置不当会影响执行机构的运动平稳性,加速过快易导致机构冲击,加速过慢则降低效率。若控制逻辑未考虑执行机构的动态响应特性,如未根据电机惯性调整输出指令,会导致执行机构动作与指令不匹配,进一步加剧定位偏差,难以达到目标精度。

### 2.3 环境与工况因素

装配线运行环境中的温度变化会导致机械部件热变形,如金属材质的丝杠、导轨在温度升高时伸长,温度降低时缩短,形变会改变执行机构的传动精度,间接影

响工件定位位置。振动干扰来源于装配线设备运行或外部环境震动,会导致相机支架、执行机构底座晃动,相机采集图像时出现模糊,执行机构运动时位置不稳定,均对定位精度产生不利影响。工件批次差异带来的尺寸公差、表面特征变化也会影响定位,不同批次工件的尺寸偏差会使视觉算法基于原有参数计算的位置不准确,表面纹理、颜色差异则可能导致视觉检测时的特征提取偏差,增加定位难度,对装配线的工况适应性提出更高要求。

## 3 定位精度控制策略优化设计

### 3.1 机器视觉定位检测优化

需结合装配线工件尺寸、运动速度与现场特点优化硬件选型,针对小型精密工件或需识别细微特征的场景,采用高分辨率工业相机,提升图像细节捕捉能力,确保工件边缘、孔位等关键特征清晰成像。面对工件表面反光问题,选用环形光源或同轴光源,通过均匀光线照射减少反光区域,避免特征信息被掩盖;针对不同拍摄距离与视野需求,搭配远心镜头,消除图像边缘畸变,确保不同位置工件的测量精度一致,减少因硬件选型不当导致的检测误差。引入基于CNN的深度学习目标检测算法,通过大量工件图像样本训练模型,增强算法对工件旋转、倾斜、遮挡等复杂工况的适应性,提升特征提取准确性,减少姿态变化或部分遮挡导致的位置计算偏差。加入多帧图像融合技术,对连续采集的多帧工件图像进行叠加与降噪处理,降低环境光波动、图像噪声对检测结果的干扰,使位置数据更稳定。优化亚像素定位算法,通过插值计算进一步细化坐标精度,缩小像素级定位与实际位置的偏差,为后续PLC控制提供更精准的位置依据。

### 3.2 PLC运动控制优化

在PLC中设计实时偏差补偿算法,该算法可实时接收机器视觉反馈的工件位置偏差数据,结合执行机构的运动状态,动态调整伺服电机的输出脉冲频率与数量,修正运动轨迹。针对执行机构的机械间隙问题,算法可根据运动方向自动计算间隙补偿量,在反向运动时提前输出补偿脉冲,消除间隙导致的空行程;针对运动滞后问题,通过预判执行机构的运动趋势,实施超前控制,提前调整电机输出,确保执行机构精准抵达目标位置,减少滞后偏差。优化PLC多轴运动控制逻辑,通过编程明确机械臂、传送带等多执行机构的动作时序与联动关系,如设定传送带将工件输送至指定位置后,再触发机械臂抓取动作,避免因动作重叠或顺序混乱导致的定位偏差。引入速度规划功能,对执行机构的启停过程进行平滑控制,如采用S型加减速曲线,减少启动时的冲击与停止

时的过冲,确保机构运动平稳,同时协调各轴运动速度,使多轴动作同步性提升,进一步降低因速度不匹配引发的定位误差。

### 3.3 协同控制通信与同步优化

采用Profinet或EtherNet/IP等工业以太网协议,替代传统低速通信方式,提升PLC与机器视觉系统的数据传输速率,缩短偏差数据从视觉系统传输至PLC的时间,确保位置信息实时更新。这类协议具备抗干扰能力强的特点,可减少工业环境中电磁干扰对数据传输的影响,避免数据丢失或传输错误,保障偏差数据准确、及时反馈至控制端,为PLC快速生成调整指令提供支持,确保补偿动作的及时性。建立基于SNTP协议的时间同步机制,将PLC与机器视觉系统的时钟统一,使视觉系统的图像采集时间、偏差计算时间与PLC的指令生成时间、执行机构动作时间基于同一时间基准,避免因时序不同步导致的误差<sup>[3]</sup>。例如,视觉系统在特定时间点采集的工件位置数据,可准确对应PLC在同一时间点的控制状态,防止因时间差导致PLC依据滞后数据调整执行机构,确保定位控制的时序一致性,进一步提升定位精度。

## 4 系统设计与性能验证

### 4.1 协同控制系统整体设计

硬件架构以PLC为核心,工业相机经图像采集卡连上位机,上位机搭载机器视觉处理模块;PLC通过数字量输出接口接光源控制器,调节光源亮度与照射模式;伺服驱动器接收PLC脉冲信号,驱动机械臂、传送带等执行机构,执行机构位置反馈信号经编码器传至PLC,形成位置闭环。各组件接口需统一标准,如PLC与伺服驱动器用脉冲+方向接口,工业相机与上位机用GigE接口,确保信号稳定;供电系统按组件功率配独立电源,避免电压波动,明确信号流向以保障数据与指令传递。机器视觉软件开发先设计图像采集模块,设相机参数(曝光时间、增益)实现稳定成像;再开发定位算法模块,集成深度学习特征提取与亚像素定位功能,计算工件位置偏差;最后设计偏差数据输出模块,按预设格式传至PLC。PLC控制程序先写运动控制逻辑,定义执行机构轨迹与速度;再嵌入偏差补偿算法,接收偏差数据后自动算补偿量;同时开发多轴协同指令,协调机械臂与传送带时序。二者用

标准化通信协议交互,配置协议参数确保数据识别与状态反馈,实现软件协同运行。

### 4.2 定位精度性能验证方案

定位精度评价指标包含重复定位误差、绝对定位误差、调整响应时间与稳态误差。重复定位误差衡量执行机构多次定位同一目标的位置一致性,技术要求需控制在较小范围;绝对定位误差评估实际定位位置与理论目标位置的偏差,反映整体定位准确性;调整响应时间记录从视觉系统检测到偏差到PLC完成调整的耗时,体现系统实时性;稳态误差指调整完成后仍存在的残余偏差,需控制在允许范围内,确保各指标满足装配线精度需求。验证环境搭建需构建模拟装配线工况的试验平台,平台配备标准定位工装,工装设置已知坐标的基准点,用于校准定位精度;同时安装环境干扰模拟装置,可模拟光照变化、轻微振动等工况。验证流程先通过标准工装校准视觉系统与PLC的坐标系,确保数据基准统一;再将工件放置于传送带上,机器视觉系统采集工件位置数据并计算偏差,传输至PLC;PLC执行定位调整指令,驱动执行机构修正工件位置;重复上述流程多次,记录每次的误差数据与响应时间;最后统计分析数据,对比指标要求评估控制策略的有效性,判断系统是否满足定位精度需求。

### 结束语

从技术基础、影响因素、优化策略到系统设计与验证,构建了完整的PLC与机器视觉协同定位精度控制体系,可为同类企业的自动化装配线升级提供实践参考。未来可进一步结合AI算法优化误差预测能力,探索多系统协同控制模式。相信通过持续技术迭代,能不断提升装配线定位精度,为制造业高质量发展提供更有力的技术支撑。

### 参考文献

- [1]陈婉薇.基于机器视觉的PLC控制下的自动化装配线研究[J].中国仪器仪表,2023,(12):77-80.
- [2]陈宇.基于机器视觉的自动化装配线优化方法研究[J].制造技术,2020,(5):52-56.
- [3]谢富刚.基于机器视觉的自动化装配系统设计[J].今日制造与升级,2023,(04):131-133.