

基于 LabVIEW 的机器人 AI 视觉定位引导系统设计与实现

李梦茹 廖立恒 王新烨 陆俊丞 刘麒 王伟
东南大学成贤学院

DOI:10.32629/acair.v3i4.17920

[摘要] 本文设计并实现了一种基于LabVIEW平台的机器人AI视觉定位引导系统。系统通过集成视觉传感器、PLC控制器与工业机器人,结合图像处理与人工智能算法,实现了对目标物体的实时识别、精确定位与姿态估计,并引导机器人完成高精度的抓取与分拣任务。系统在X-Simulation虚拟仿真平台中完成了全流程验证,结果表明,该系统具备高精度、高实时性与良好的自适应能力,适用于智能制造与自动化生产线中的柔性化生产场景。本系统为解决当前智能制造中视觉引导单元的高成本、低效率问题,提供了一套可行且高效的解决方案。

[关键词] LabVIEW; 机器视觉; 机器人定位; PLC通信; 程序框图设计

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A

Design and Implementation of a Robot AI Visual Positioning Guidance System Based on LabVIEW

Mengru Li Liheng Liao Xinye Wang Juncheng Lu Qi Liu Wei Wang
Chengxian College, Southeast University

[Abstract] This article designs and implements a robot AI visual positioning and guidance system based on the LabVIEW platform. The system integrates visual sensors, PLC controllers, and industrial robots, combined with image processing and artificial intelligence algorithms, to achieve real-time recognition, precise positioning, and pose estimation of target objects, and guide robots to complete high-precision grasping and sorting tasks. The system has completed full process verification on the X-Simulation virtual simulation platform, and the results show that the system has high precision, high real-time performance, and good adaptability, suitable for flexible production scenarios in intelligent manufacturing and automated production lines. This system provides a feasible and efficient solution to address the high cost and low efficiency issues of visual guidance units in current intelligent manufacturing.

[Key words] LabVIEW; Machine vision; Robot positioning; PLC communication; Program block diagram design

引言

机器视觉是一种利用图像处理和分析技术,使计算机能够模拟人类的视觉功能,从而实现对目标物体的识别、定位和控制的技术。在工业4.0的背景下,机器视觉技术在各个领域都有广泛的应用,如自动检测、机器人视觉定位与控制等。^[1]工业4.0与智能制造的深入推进,对生产线的柔性化、智能化提出了更高要求。工业机器人作为自动化生产的核心装备,其与机器视觉技术的融合,极大地拓展了机器人的应用场景,使其能够胜任更为复杂和精密的作业任务。然而,传统的示教再现型机器人或基于固定坐标的作业方式,难以适应生产环境中目标物体位置、姿态的动态变化,存在定位不准、适应性差、调试周期长等痛点。基于此,本项目旨在开发一套基于LabVIEW的机器人AI视觉定位引

导系统。该系统充分利用LabVIEW在视觉处理与系统集成方面的优势,结合PLC的可靠逻辑控制与机器人的精准执行能力,通过在虚拟仿真环境中进行先期验证与优化,最终实现一个高精度、高实时性且具备良好工程应用价值的机器人视觉引导解决方案。

1 系统总体设计

1.1 系统架构

系统采用“视觉感知-PLC决策-机器人执行”的三级控制架构,包括硬件层、控制层与执行层。感知层由视觉相机与LabVIEW视觉处理模块构成,负责图像采集、目标识别与位置信息解算。决策层以西门子S7-1500 PLC为核心,接收感知层传来的识别结果,结合生产线其他传感器信号(如光电传感器、按钮

等),进行逻辑判断与决策,并向执行层发出控制指令。执行层由ABB/ESTUN工业机器人及其末端执行器组成,严格按照决策层的指令,完成物料抓取、移动、放置等动作。

1.2 硬件组成

系统的硬件平台在虚拟环境中构建,其核心设备选型与功能如下:

视觉模块采用虚拟Basler ace相机,负责在仿真环境中捕获待处理图像。控制模块核心为西门子S7-1500系列PLC,作为整个系统的控制中枢,处理所有I/O信号并执行控制逻辑。执行模块包括一台ABB IRB 2600ID机器人和一台ESTUN ER16-1600机器人,分别负责视觉检测工位的物料搬运与立体仓库的出入库操作。辅助设备包括环形传送带、立体仓库、光电传感器、按钮、急停开关等,共同构成完整的模拟生产线。仿真平台X-Simulation数字孪生虚拟仿真平台,用于集成所有虚拟硬件并实现物理信号的映射与交互。

1.3 软件平台

系统软件开发涉及多平台协作:

LabVIEW: 作为主开发环境,使用Vision Development模块进行图像处理算法开发,并通过TCP/IP协议与PLC通信,是整个系统的“智能”核心。

TIA Portal V15.1: 用于西门子S7-1500 PLC的硬件组态、程序编写与调试。

RobotStudio/ESTUN Editor: 分别用于ABB和ESTUN机器人的离线编程、轨迹规划与仿真调试。

2 关键技术实现

2.1 视觉识别算法

视觉识别是系统实现精准引导的前提。本项目在LabVIEW中实现了基于颜色特征的快速识别与定位算法。

图像采集与预处理: 为了突出被测物体的颜色,抑制干扰,减小误差,需要进行预处理。特征是图像中像素的一个特定的模式,利用模板匹配查找图像特征,图像处理经过色阈值处理、粒子处理、粒子分析提取坐标完成。^[2]

位置计算: 通过预先标定,建立图像像素坐标系与机器人世界坐标系之间的映射关系。^[3]利用LabVIEW提供的强大数学运算模块,根据质心像素坐标实时解算出目标物料在机器人基坐标系下的精确三维位置(X, Y)及姿态角,为机器人运动控制提供数据支持。

2.2 机器人路径规划与程序逻辑

当视觉检测位机器人在自动运行状态时,它会首先运行子函数“IOPeiZhi”,对IO信号(输入信号和输出信号)设置一个别名,然后配置中断函数。当收到来自PLC的启动信号(DI_RJC_START=1)后回到HOME点并复位夹爪,之后等待PLC发来的抓取信号(DI_RJC_Z_READY=1),机器人从传送带上夹取工装板,随后将其放在检测位。^[4]当机器人完成抓取动作之后向PLC发送拍照信号(DO_RJC_TRIG=1),之后等待PLC拍照完成并发送放置信号(DI_RJC_F_READY=1),机器人再夹起工装板,放回传送带并返回HOME

点,之后向PLC发送完成信号(DO_RJC_OK)。

轨迹规划的目标是对轨迹跟踪运动进行设计,在保证作业任务和精度的前提下,使机器人末端执行器尽可能地贴合操作者所设定的轨迹。在进行具体的轨迹规划的过程中,只有在指定点通过逆解计算得到关节变量之后才能准确确定其各关节的位置,两点之间的路径是不可控的,所以需要对整个轨迹进行足够的划分,对每一小段路径进行单独的规划,才能使整条轨迹和预期轨迹拟合。^[5]

具体轨迹规划: 在RobotStudio中,通过定义一系列robtarget路径点(如HOME点、抓取点、放置点、过渡点),并采用直线插补(MoveL)和关节运动(MoveJ)指令,规划出高效且无碰撞的运动轨迹。为提高精度,在接近抓取点和放置点时,程序会自动降低运行速度。程序逻辑: 回HOME点并初始化; 等待PLC抓取信号; 运动至传送带抓取物料; 放置物料至视觉检测台; 触发PLC拍照并等待完成; 取物料放回传送带; 返回HOME点并发送完成信号。

误差补偿: 为应对虚拟环境与理想模型的微小差异,在轨迹中增加了缓冲点,并设计有基于传感器反馈的误差补偿逻辑,提升了系统在非理想条件下的鲁棒性。

程序逻辑: 以视觉检测机器人为例,其主程序(Main)采用状态机模式,依次执行: 回HOME点→等待抓取指令→运动至传送带抓取物料→放置物料至视觉检测台→触发PLC拍照→等待拍照完成→抓取物料放回传送带→返回HOME点并发送完成信号。程序通过中断功能实时响应PLC的急停信号(I12.5),确保系统安全。

2.3 多设备通信控制

LabVIEW与PLC通信: 采用TCP/IP协议,PLC作为服务器,LabVIEW作为客户端。LabVIEW通过VISA模块定时(如每200ms)读写PLC的特定数据块(如DB1000),将视觉识别结果(如M10.0代表黄色,M10.1代表红色)写入,并监听PLC发出的相机触发信号(如Q1.3)。

PLC与机器人联动: PLC具有支持各种运动功能命令、能实现高度集成操作、对各轴实现协调控制以及对电机的闭环控制等功能,能够满足机器人对运动控制的精度要求。^[3]PLC通过输出字节QB2的值(范围1~12)来编码机器人的动作指令,例如QB2=1~6对应1~6号出库位动作,7~12对应入库位动作。这些信号通过X-Simulation平台内部的“信号中转”功能,映射到机器人控制器的输入信号上。

3 系统测试与性能分析

在X-Simulation平台中模拟完整生产流程,测试内容包括: 视觉识别准确率测试: 在模拟的不同光照条件下,系统对红色和黄色物料分别进行500次识别,统计成功次数。识别准确率A的计算公式为:

$$A = \frac{N_{\text{success}}}{N_{\text{total}}} \times 100\% \quad (\text{其中 } N_{\text{success}} \text{ 为成果识别次数, } N_{\text{total}} \text{ 为总测试次数)}$$

定位精度测试: 使用系统计算的物料坐标控制机器人进行

重复抓取 $n=50$ 次,通过机器人自带的高精度坐标系反算实际抓取位置与理论位置的偏差。具体体现为机器人每次抓取后,从其控制器中读取实际抓取点的世界坐标 (X_{act}, Y_{act}) ,并与视觉系统给出的理论目标坐标 (X_{the}, Y_{the}) 进行比较。单次在X轴方向的定位误差 E_x 计算公式为:

$$E_x = X_{act} - X_{the} \text{ (Y轴方向误差同理)}$$

系统响应时间测试:从物料进入检测位触发传感器开始计时(T1),到机器人完成一次分拣动作并回到待命位置为止(T2),记录单周期作业时间 T_{cycle} 为:

$$T_{cycle} = T2 - T1 \text{ (测试重复30次,取平均值作为最终结果)}$$

鲁棒性测试:模拟网络通信短暂中断、急停触发等异常情况,观察系统恢复与处理能力。

测试结果如表1所示,系统各项指标均达到或超过预期目标。

表1 系统性能测试结果汇总表

性能指标	测试结果	预期目标	结论
颜色识别准确率	红色: 96.8%; 黄色: 95.4%	$\geq 95\%$	达标
位置定位误差	X轴: $\pm 1.5\text{mm}$; Y轴: $\pm 1.8\text{mm}$	$\leq \pm 2\text{mm}$	达标
单周期作业时间	平均7.6秒	≤ 8 秒	达标
急停响应时间	< 0.1 秒	< 0.2 秒	达标

结果分析:

识别准确率:系统在标准光照下识别率极高,在模拟的复杂光照下虽有轻微波动,但平均识别率仍超过95%,满足设计要求。

定位精度:定位误差经计算其标准差 σ 在X、Y方向分别约为0.5mm和0.6mm,因此 3σ 误差范围分别为 $\pm 1.5\text{mm}$ 和 $\pm 1.8\text{mm}$,绝大部分测试点的误差集中在预期范围内,证明了视觉定位算法的稳定性和准确性。

系统响应与鲁棒性:系统平均作业周期为7.6秒,优于传统方案的12秒,效率提升明显。在异常测试中,系统能安全停机并在故障排除后快速恢复运行。

4 创新点与特色

4.1 多技术深度融合

成功将LabVIEW图形化编程、AI视觉算法、工业PLC控制与机器人技术无缝集成,构建了一套完整的视觉引导解决方案,展现了强大的系统集成能力。

4.2 虚拟调试驱动开发

采用“虚实结合”的开发模式,以X-Simulation数字孪生平

台为核心进行先期验证,极大地缩短了开发周期,降低了实物调试的成本与风险。

4.3 图形化编程降低门槛

充分利用LabVIEW的直观性,将复杂的图像处理与通信逻辑封装为图形模块,使得非专业程序员也能参与和维护系统,促进了技术的普及与应用。

4.4 高性价比与灵活性

本系统基于通用的软件平台和虚拟仿真环境进行开发,为中小型企业提供了一个低成本、高效率的技术验证和人才培养途径,具备良好的推广前景。

5 结论

本文设计并实现的基于LabVIEW的机器人AI视觉定位引导系统,通过三项关键技术的有机结合,有效解决了机器人在动态环境下的精准定位问题:基于HSV颜色空间的视觉算法实现了目标的稳定识别与精确定位,使位置误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内,识别准确率超95%;“TCP/IP+信号中转”的通信架构确保了LabVIEW、PLC与机器人之间的稳定实时数据交互,将单作业周期缩短至7.6秒;虚拟调试与状态机编程保障了系统可靠性,大幅降低了开发风险。测试结果表明,系统在识别精度、响应速度和运行稳定性方面均达到了预期指标,验证了其技术可行性,为柔性化生产线提供了一套低成本、高效率的解决方案。

基于LabVIEW的机器人AI视觉定位引导系统设计与实现、校企合作项目、项目编号:XCX2025073。

[参考文献]

- [1]裴柏淞.机器视觉技术在工业4.0中的应用[J].电子元件与信息技术,2023,7(09):62-65.
- [2]陈增标.基于LabVIEW的工业机器人机器视觉研究[J].装备维修技术,2021,(03):3-4.
- [3]官二栋,丁蕴丰.基于labVIEW的机器视觉检测系统的研究[J].长春理工大学学报(自然科学版),2017,40(02):75-77+81.
- [4]吕冬冬,郑松.工业机器人开放式控制系统研究综述[J].电气自动化,2017,39(01):88-91.
- [5]李黎,尚俊云,冯艳丽,等.关节型工业机器人轨迹规划研究综述[J].计算机工程与应用,2018,54(05):36-50.

作者简介:

李梦茹(2004--),女,汉族,浙江温州人,本科在读,机械设计制造及其自动化专业。