

基于机器视觉的机电一体化自动装配系统开发

王兴飞

石家庄技师学院 河北石家庄

【摘要】随着制造业智能化升级，传统装配方式难以满足高精度、高效率需求。基于机器视觉的机电一体化自动装配系统应运而生，成为提升装配质量与效率的关键。该系统融合机器视觉技术与机电一体化技术，通过视觉识别模块获取工件信息，经算法处理后驱动机械臂完成精准装配。详细介绍系统总体架构设计，深入分析视觉识别、运动控制等关键技术，阐述系统硬件选型与软件编程实现过程。

【关键词】机器视觉；机电一体化；自动装配系统；视觉识别；运动控制

【收稿日期】2025 年 2 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 3 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250093

Development of mechatronics automatic assembly system based on machine vision

Xingfei Wang

Shijiazhuang Technician College, Shijiazhuang, Hebei

【Abstract】 As manufacturing becomes more intelligent, traditional assembly methods struggle to meet the demands of high precision and efficiency. A mechatronic automatic assembly system based on machine vision has emerged as a key solution for improving assembly quality and efficiency. This system integrates machine vision technology with mechatronics, using a visual recognition module to obtain workpiece information. After processing by algorithms, it drives the robotic arm to perform precise assembly. The system's overall architecture design is detailed, along with an in-depth analysis of key technologies such as visual recognition and motion control. It also explains the process of hardware selection and software programming implementation.

【Keywords】 Machine vision; Mechatronics; Automatic assembly system; Visual recognition; Motion control

引言

智能制造时代，产品装配精度与效率成为制造业核心竞争力。传统人工装配易受主观因素影响，存在效率低、精度差等问题；自动化装配设备缺乏视觉反馈，难以适应复杂装配场景。机器视觉技术凭借非接触、高精度、快速检测等优势，与机电一体化技术结合，为自动装配系统开发带来新突破。如何设计高效可靠的基于机器视觉的机电一体化自动装配系统，实现复杂工件精准、快速装配，成为亟待解决的问题。

1 系统设计需求

在现代制造业的生产链条中，装配环节作为产品成型的关键步骤，其自动化程度直接影响着企业的生产效能与市场竞争力。本机电一体化自动装配系统设计的首要目标，便是突破传统装配模式对单一产品的局限性，构建一套具备高度柔性的自动化

解决方案。面对日益多样化的市场需求，产品迭代速度不断加快，零部件的尺寸规格与几何形状呈现出显著差异。系统需通过模块化设计与参数化配置，实现对不同类型工件的快速适配，从精密电子元件到复杂机械组件，均可纳入装配范畴。这种柔性化设计不仅能够降低企业设备更新成本，还能大幅缩短新产品导入周期，使生产线在多品种小批量与大规模标准化生产之间灵活切换。

产品质量始终是制造企业立足市场的根本，而装配精度则是保障产品质量的核心要素。本系统对装配精度的把控贯穿于整个设计流程，从机械结构的选型到算法参数的优化，每个环节都以严苛的精度要求为导向^[1]。在实际装配过程中，关键部件的对接误差、定位偏差等因素都可能导致产品性能下降，甚至引发功能性故障。因此，系统通过多重校准机制与误差补偿策略，确保装配过程中关键尺寸的精

准控制。

除了精度与柔性，装配效率与系统稳定性同样是衡量自动化水平的重要指标。在工业 4.0 背景下，大规模生产对装配系统的高效性提出了更高要求。系统通过优化各模块间的数据传输与指令执行流程，减少不必要的等待时间，实现装配动作的无缝衔接。针对长时间连续运行可能出现的机械磨损、电子元件过热等问题，系统采用冗余设计与智能监控机制^[2]。操作界面的设计则遵循人机工程学原理，以直观的可视化图表与简洁的交互逻辑，降低操作人员的学习成本，使工作人员能够快速完成参数调整与故障排查，确保生产流程的持续稳定运行。

2 系统架构构建

构建机电一体化自动装配系统的架构，本质上是将抽象的设计需求转化为可执行的物理与逻辑结构。系统四大核心模块——视觉识别、运动控制、机械执行与数据处理，如同精密钟表的齿轮组，彼此咬合、协同运转，共同驱动自动化装配流程。视觉识别模块作为系统的“眼睛”，承担着感知外界信息的双重任务。工业相机以高帧率、高分辨率采集工件图像，将复杂的三维空间信息转化为二维数字信号。图像采集卡则扮演着翻译官的角色，将模拟信号精准转换为计算机可处理的数字格式，为后续的特征提取与分析奠定基础。

数据处理模块堪称系统的“大脑”，它接收视觉识别模块传递的图像数据，运用复杂的算法进行解析与运算。图像处理算法如同技艺精湛的工匠，通过边缘检测勾勒工件轮廓，利用模板匹配定位关键特征，在海量数据中提取出工件的位置、姿态等核心信息。这一过程不仅需要强大的计算能力支撑，更依赖算法的优化与迭代^[3]。为应对复杂光照环境对图像质量的干扰，自适应阈值分割技术动态调整图像二值化参数，确保无论光线明暗如何变化，系统都能稳定获取准确的工件特征，为后续的运动控制提供可靠依据。

运动控制与机械执行模块构成了系统的“四肢”，负责将数据处理模块的指令转化为实际动作。运动控制模块依据工件的位置信息，结合 PID 控制算法与轨迹规划策略，为机械臂规划出最优运动路径。PID 算法通过比例、积分、微分三个参数的动态调节，实时纠正机械臂的运动偏差，确保动作的精准性；轨迹规划算法则考虑机械臂的动力学特性，

避免急加速、急减速带来的振动与能耗，实现平稳高效的运动^[4]。机械执行模块中的机械臂与末端执行器，根据不同的工件特性配备专用夹具，从真空吸附到夹爪抓取，从精密点胶到螺栓拧紧，每个动作都经过精心设计与反复调试，确保在高速运动中完成高精度装配操作，最终实现从视觉感知到机械执行的完整闭环控制。

3 关键技术应用

视觉识别技术作为自动装配系统的核心支撑，其性能优劣直接影响着装配的准确性与稳定性。在实际应用中，工业生产环境的复杂性对图像采集与处理提出了严峻挑战。为克服这些难题，系统采用了模板匹配与边缘检测相结合的算法策略。模板匹配技术如同在海量图像数据中进行精准的“图像比对”，通过预先存储的标准工件模板，快速定位目标工件并识别其特征；边缘检测则着重提取图像中物体的轮廓信息，即便工件表面存在局部遮挡或轻微污渍，也能通过轮廓的连续性分析完成识别。为进一步提升算法鲁棒性，系统引入图像预处理环节，通过滤波降噪、对比度增强等操作，改善原始图像质量，使算法能够在复杂环境下稳定运行。

运动控制技术的优化是实现高效装配的关键环节。传统的 PID 控制算法在应对简单运动场景时表现良好，但在高速、高精度的装配任务中，容易出现响应滞后与超调问题。系统创新性地将 PID 控制与智能轨迹规划算法相结合。在机械臂启动阶段，轨迹规划算法依据目标位置与当前状态，生成平滑的加速曲线，避免瞬间冲击；运动过程中，PID 算法实时监测位置偏差，动态调整电机转速；在接近目标位置时，轨迹规划算法配合 PID 控制实现精准减速，确保机械臂平稳停靠^[5]。这种复合控制策略不仅显著缩短了装配时间，还大幅降低了机械臂运动过程中的振动与噪声，延长了设备使用寿命，同时也为高精度装配提供了可靠的运动保障。

机械结构的设计是整个系统性能的硬件基础。为满足高精度、高速度的装配需求，系统在机械结构选型上采用了“精益求精”的策略。高精度导轨与丝杠的组合，通过精密研磨工艺与严格的公差控制，将机械传动过程中的间隙与摩擦降至最低，确保机械臂在三维空间内的运动精度；高性能伺服电机配合精密减速器，为机械臂提供稳定的动力输出，同时具备高响应速度与高扭矩特性，能够快速执行

复杂的运动指令^[6]。在结构布局上,系统充分考虑机械臂的工作空间与干涉范围,通过仿真分析优化机械臂安装位置与运动轨迹,避免与周边设备发生碰撞。机械结构的刚性设计有效抑制了运动过程中的变形与振动,确保末端执行器在高速运动中保持稳定,为实现微米级的装配精度提供了坚实的硬件支撑。

4 系统实验验证

在系统开发的最终阶段,实验验证环节显得尤为重要,它是检验设计方案是否有效以及系统性能是否达到预期的关键步骤。为了确保实验验证的准确性与全面性,我们搭建了一个实验平台,该平台能够模拟真实的工业生产环境。在这个平台上,我们精心挑选了多种具有代表性的工件类型,这些工件覆盖了从微小到大型,从简单到复杂的各种尺寸和形状,同时也包括了不同的装配工艺要求。通过这样的全面测试,我们能够评估系统的适应性和可靠性,确保它能够在多样化的生产任务中稳定运行。

在实验过程中,我们不仅关注系统在理想条件下的运行表现,即在没有任何干扰的理想状态下系统是否能够准确无误地完成工作,而且还特别重视系统在复杂环境干扰下的鲁棒性。为了模拟真实生产中可能遇到的各种干扰,我们人为地制造了多种干扰场景,例如光照的突然变化、工件表面的污渍、以及其他可能影响系统性能的因素。通过这些测试,我们能够验证系统在面对实际生产中可能出现的各种干扰时的抗干扰能力,确保系统在真实工业环境中的稳定性和可靠性。

每次装配实验都严格遵循标准化流程,从工件上料、视觉识别到机械装配,每个环节都进行详细记录与分析。实验团队通过多次重复测试,收集大量数据样本,运用统计学方法分析系统性能的稳定性与一致性。对于实验过程中出现的装配偏差,无论概率多小,都进行深入的根因分析^[7]。通过结合传感器数据、算法运行日志与机械运动参数,定位问题来源,可能是视觉识别算法的误判、机械臂运动误差,或是控制参数的不合理设置。针对不同原因,制定针对性的优化方案,如调整图像识别阈值、优化轨迹规划算法参数、校准机械臂零点位置等,通过迭代改进不断提升系统性能。

实验验证的最终目标不仅是证明系统设计的可行性,更是为系统的工业化应用提供数据支撑与技术保障。通过对实验数据的系统性分析,总结出不

同工况下系统的最佳运行参数,形成标准化操作手册与故障处理指南^[8]。这些成果不仅有助于提升系统在实际生产中的运行效率,还为后续系统升级与功能拓展积累了宝贵经验。实验过程中暴露的潜在问题与改进方向,也为研发团队指明了技术创新的重点,推动基于机器视觉的机电一体化自动装配系统向更高精度、更高效率的方向持续发展。

5 结语

基于机器视觉的机电一体化自动装配系统,通过多模块协同工作和关键技术的应用,实现了对复杂工件的精准、高效装配。这种系统突破了传统装配方法的局限,显著提升了生产效率和装配精度。展望未来,随着人工智能和深度学习技术的不断进步,这些先进技术有望被进一步融入自动装配系统中,从而显著提升视觉识别的智能化水平。通过优化硬件结构和控制算法,系统对复杂工况的适应性将得到进一步增强,推动自动装配技术朝着更高精度和更高柔性化的方向发展。

参考文献

- [1] 曹城全.基于机器视觉的机电一体化精密定位机械手设计[J].机械管理开发,2024,39(12):133-135+138.
- [2] 郭红玉.机电一体化技术的发展与应用[J].科技风,2024,(36):1-3.
- [3] 卢蓉芝.基于机器视觉的机电一体化控制系统设计研究[J].技术与市场,2024,31(10):40-42+46.
- [4] 孔敏,孟磊.基于机器视觉的造纸设备机电一体化实验系统设计研究[J].造纸科学与技术,2024,43(05):64-67.
- [5] 郭文斌.机电一体化技术在智能制造中的应用分析[J].中国设备工程,2023,(24):30-32.
- [6] 李彪.智能制造中机电一体化技术的应用[J].造纸装备及材料,2023,52(04):124-126.
- [7] 赵成龙.机电一体化技术在智能制造中的应用研究[J].造纸装备及材料,2023,52(04):133-135.
- [8] 朱海.机电一体化技术在化工智能制造中的应用[J].造纸装备及材料,2023,52(04):142-144.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS