

# 机械自动化中的视觉伺服控制技术进展

张考杰 胡旭刚 楼春辉 李静芬  
宁波海伯集团有限公司 浙江 宁波 315800

**摘要:** 机械自动化领域中,视觉伺服控制技术发展迅速。本文先阐述其核心构成要素,包括视觉感知、伺服驱动与控制决策模块。接着划分发展阶段,从早期简单架构到当代高度集成化与智能化。随后介绍关键技术进展,涵盖视觉感知、控制策略、伺服驱动及多模块协同等方面。最后探讨技术迭代、融合及应用拓展支撑方向,展现该技术在提升系统性能、拓展应用边界等方面的潜力,为机械自动化发展提供有力支撑。

**关键词:** 机械自动化;视觉伺服控制技术;核心构成要素;发展阶段;技术进展

引言:在机械自动化蓬勃发展的当下,视觉伺服控制技术作为关键支撑,正发挥着日益重要的作用。它融合了计算机视觉、控制理论等多学科知识,使机械系统具备“看”与“动”的智能协同能力。从早期简单的视觉反馈控制,到如今高度集成化、智能化的复杂系统,视觉伺服控制技术经历了多个发展阶段。深入剖析其核心构成要素、发展历程、关键技术进展以及未来方向,对于推动机械自动化向更高水平迈进,提升产业竞争力,具有重要的现实意义。

## 1 视觉伺服控制技术的核心构成要素

### 1.1 视觉感知模块

视觉感知模块在视觉伺服控制系统中占据基础性地位,是系统与外界环境进行信息交互的关键通道。模块主要由图像采集单元与图像预处理算法两部分构成。图像采集单元作为视觉信息源头,需具备高精度、高稳定性及快速响应能力<sup>[1]</sup>。通过特定光学系统与传感器阵列,将外界场景的光学信号转化为数字图像信号,为后续处理提供原始数据支撑。该过程对光学元件成像质量、传感器分辨率与动态范围等参数提出严格要求,保障采集图像信息完整且准确。图像预处理算法聚焦原始图像优化处理,消除噪声干扰、增强特征信息并提升图像质量。常见处理手段包含灰度化、滤波去噪、对比度增强及边缘检测等,各类操作依托数学运算与图像处理技术,优化图像状态以适配后续分析与控制工作,为视觉伺服系统输出清晰、可靠的信息输入。

### 1.2 伺服驱动模块

伺服驱动模块是视觉伺服控制系统的动力核心,负责将控制决策转化为机械运动。驱动控制架构作为该模块的指挥中枢,需具备高精度、高响应速度及强鲁棒性。通过接收控制决策模块的指令信号,结合系统当前状态信息,生成精确的控制量,驱动执行机构完成指定

动作。这一过程涉及复杂的控制算法与信号处理技术,需确保控制指令的准确传达与执行机构的精确响应。动力传输机制则承担着将驱动控制架构产生的动力传递至执行机构的任务,需具备高效、稳定及可靠的特点。通过机械传动装置或直接驱动方式,将动力转化为执行机构的运动,实现系统对目标对象的精确操作。动力传输机制的设计需充分考虑系统负载特性、运动精度要求及环境适应性等因素,以确保系统在各种工况下均能稳定运行。

### 1.3 控制决策模块

控制决策模块是视觉伺服控制系统的智能大脑,负责根据视觉感知模块提供的信息及系统当前状态,制定合理的控制策略。决策逻辑设计作为该模块的核心,需综合考虑系统目标、环境约束及执行机构特性等因素,通过数学建模与优化算法,生成最优控制指令。这一过程涉及复杂的逻辑推理与决策分析,需确保控制指令的合理性与有效性。信号交互机制则负责实现控制决策模块与其他模块之间的信息传递与协同工作。通过标准化的通信协议与接口设计,确保各模块之间信息流通的顺畅与准确,实现系统整体功能的协调与统一。信号交互机制的设计需充分考虑系统实时性要求、数据传输速率及抗干扰能力等因素,以确保系统在复杂环境下仍能保持高效稳定运行。

## 2 视觉伺服控制技术的发展阶段划分

### 2.1 早期视觉伺服控制技术

早期视觉伺服控制技术诞生于计算机视觉与机器人控制初步融合的阶段,其技术架构呈现出鲜明的特征<sup>[2]</sup>。这一时期,视觉系统与控制系统相对独立,视觉传感器主要负责采集环境图像信息,通过简单的图像处理算法提取目标特征,如边缘、角点等基础几何信息。控制部分则依据视觉系统提供的有限信息,结合预设的模型与

算法,生成控制指令驱动机器人运动。这种架构下,视觉处理与控制执行之间存在明显的时序间隔,信息传递效率较低,且对环境变化的适应性较差。核心技术局限主要体现在多个方面。在视觉处理层面,受限于当时计算机的计算能力与图像处理算法的成熟度,只能处理较为简单的图像特征,对于复杂场景下的目标识别与定位精度不足。在控制策略方面,多采用基于模型的控制方法,对系统模型的准确性要求极高,一旦模型与实际系统存在偏差,控制性能将大幅下降。此外,早期技术缺乏有效的反馈机制,难以实时调整控制参数以应对环境扰动,导致系统的鲁棒性较弱。

### 2.2 中期视觉伺服控制技术

随着计算机性能提升与算法进步,中期视觉伺服控制技术迎来优化发展阶段。技术优化方向聚焦于提升系统性能与稳定性。研究人员致力于改进视觉传感器性能,提高分辨率与帧率,增强对动态场景的捕捉能力。例如,部分视觉传感器的分辨率提升至1000万像素左右,帧率提高到每秒30-60帧。优化图像处理算法,引入特征提取、目标跟踪等先进技术,提升信息处理效率与准确性;完善控制策略,结合自适应控制、鲁棒控制等理论,增强系统对环境变化的适应能力。在这一阶段,关键技术突破不断涌现。高精度视觉定位技术实现目标在复杂环境下的精准定位;实时动态跟踪技术确保对运动目标的稳定跟踪;智能控制算法的应用使系统具备自主学习与决策能力,进一步提升控制精度与灵活性。这些突破推动视觉伺服控制技术在工业自动化、机器人操作等领域得到更广泛应用。

### 2.3 当代视觉伺服控制技术

当代视觉伺服控制技术呈现出鲜明的发展特征。随着人工智能、深度学习等前沿技术的蓬勃发展,视觉伺服控制系统具备了更强大的智能感知与决策能力。深度学习算法能够自动学习图像中的复杂特征,无需人工精心设计特征提取方法,大大提高了目标识别与分类的准确性,使系统能够更精准地感知环境信息。同时,系统能够依据历史数据与实时信息,进行智能决策与规划,实现更复杂、更灵活的任务。技术融合趋势成为当代视觉伺服控制技术发展的重要方向。与传感器融合技术相结合,整合激光雷达、惯性测量单元等多种传感器的信息,全方位提升系统对环境的感知能力与定位精度,为机器人执行高精度任务提供有力保障。与云计算、边缘计算技术融合,借助强大的计算资源进行复杂的数据处理与分析,进一步提升系统性能与运行效率。与物联网技术结合,实现设备之间的互联互通与协同工作,拓展

了视觉伺服控制技术在智能制造、智能交通等领域的应用场景与范围。

## 3 视觉伺服控制技术的核心技术进展

### 3.1 视觉感知技术进展

视觉感知作为视觉伺服控制系统的信息输入端,近年来取得显著技术进展。图像识别技术经历多轮迭代升级,从早期基于规则匹配的简单识别,逐步发展为依托深度学习框架的智能识别体系<sup>[3]</sup>。卷积神经网络等先进模型的引入,使系统具备自动提取图像深层特征的能力,显著提升对复杂场景、多类别目标的识别准确率与鲁棒性。特征提取环节不再局限于颜色、形状等浅层特征,而是能够捕捉纹理、语义等高层次信息,为后续控制决策提供更丰富的数据支撑。视觉定位技术同样实现跨越式发展,从传统基于几何关系的定位方法,演进为融合多传感器信息与深度学习算法的混合定位模式。这种升级使系统在光照变化、目标遮挡等干扰因素下,仍能保持厘米级甚至毫米级的定位精度,为高精度伺服控制奠定坚实基础。

### 3.2 控制策略技术进展

控制策略层面,创新算法与精度提升技术成为核心驱动力。控制算法创新方面,研究人员突破传统PID控制的局限,将自适应控制、滑模控制等先进理论引入视觉伺服领域。这些算法能够根据系统状态与环境变化动态调整控制参数,有效补偿模型不确定性带来的影响,显著提升系统非线性、强干扰场景下的控制性能。控制精度提升技术则聚焦于误差补偿与信号处理环节。通过构建高精度系统模型,结合实时反馈数据,采用前馈补偿、扰动观测等技术手段,对机械误差、环境干扰等因素进行精准补偿。同时,引入高分辨率编码器与精密传感器,提升信号采集与处理精度,从硬件层面为控制精度提升提供保障。

### 3.3 伺服驱动技术进展

伺服驱动技术作为系统动力输出核心,在效率与响应速度方面取得关键突破。驱动效率提升技术通过优化电机设计、改进功率转换电路等手段,降低能量损耗,提升系统整体能效。新型永磁同步电机与高效驱动器的应用,使系统在相同功率输出下,能耗显著降低,运行稳定性增强。驱动响应速度优化则聚焦于缩短系统从接收控制指令到执行机构动作的时间延迟。通过优化控制算法结构、提高处理器运算速度以及采用高速通信总线等措施,系统动态响应能力大幅提升,能够满足高速运动场景下的实时控制需求。

### 3.4 多模块协同技术进展

多模块协同技术是视觉伺服控制系统实现复杂任务的关键。视觉与伺服的协同控制技术通过构建紧密耦合的控制架构,实现视觉感知信息与伺服控制指令的无缝对接。视觉系统实时反馈目标位置与状态信息,伺服系统结合反馈信息实时优化运动控制策略,形成闭环控制回路,显著提升系统对动态目标的跟踪与操作能力。多视觉单元协同技术则针对大范围、复杂场景下的感知需求,通过分布式部署多个视觉传感器,采用数据融合与协同处理算法,实现多视角信息的互补与优化<sup>[4]</sup>。这种技术突破单一视觉传感器的视野限制,提升系统对三维空间的感知能力,为复杂环境下的视觉伺服控制提供更全面的信息支持。

#### 4 视觉伺服控制技术的未来发展方向

##### 4.1 技术迭代方向

视觉伺服控制技术的迭代将聚焦于核心性能的持续突破。视觉感知模块的分辨率与帧率提升仍是关键方向,随着新型传感器材料与制造工艺的突破,未来视觉传感器有望实现更高像素密度与更快数据刷新速度,为复杂动态场景下的精准感知提供硬件支撑。图像处理算法将向智能化与实时性并重发展,深度学习模型的轻量化与硬件加速技术将进一步普及,使系统能够在资源受限环境下实现高效特征提取与目标识别。控制算法层面,非线性控制与智能优化算法的融合将成为趋势,通过引入强化学习、群体智能等理论,系统将具备更强的自适应能力,能够根据环境变化自动调整控制策略,提升在未知场景下的鲁棒性。

##### 4.2 技术融合方向

技术融合将推动视觉伺服控制技术向更高层次发展。与人工智能技术的深度融合将重塑系统架构,自然语言处理技术的引入使系统能够理解人类指令,实现更自然的人机交互;知识图谱与推理引擎的集成则赋予系统逻辑推理能力,使其能够根据历史经验与环境上下文做出更优决策。与物联网技术的结合将拓展系统应用边界,通过构建分布式视觉伺服网络,实现多设备间的协同感知与控制,为智能制造、智慧城市等领域提供整体解决方案。此外,与边缘计算技术的融合将优化系统实

时性,将部分计算任务下沉至边缘节点,减少数据传输延迟,提升系统对高速运动目标的跟踪与控制能力。

##### 4.3 应用拓展支撑技术方向

应用拓展需要一系列支撑技术的协同发展。在复杂环境适应性方面,多模态感知技术将成为关键,通过融合视觉、力觉、触觉等多类型传感器信息,系统将具备更全面的环境感知能力,能够在光照变化、烟雾遮挡等极端条件下稳定运行。高精度标定与校准技术将保障系统长期运行的准确性,通过开发自适应标定算法与在线校准机制,减少机械磨损、温度变化等因素对系统精度的影响<sup>[5]</sup>。安全与可靠性技术同样重要,故障诊断与容错控制技术的完善将提升系统应对突发故障的能力,确保在关键任务中的稳定运行。此外,标准化与模块化设计将降低系统开发成本,通过制定统一接口规范与功能模块,促进不同厂商设备的互联互通,推动视觉伺服控制技术的规模化应用。

#### 结束语

视觉伺服控制技术历经多年发展,在核心构成要素上不断完善,各模块协同作用日益高效。其发展阶段从简单到复杂,关键技术不断突破创新,在视觉感知、控制策略、伺服驱动及多模块协同等方面取得显著成果。而技术迭代、融合以及应用拓展支撑方向的探索,将持续推动该技术优化升级。通过提升性能、拓展应用边界,视觉伺服控制技术将为机械自动化领域带来更多可能,助力各行业实现智能化变革与发展。

#### 参考文献

- [1]高良超,南盟,王卓,等.基于CNN的伺服机械张力自动化控制系统设计[J].电子设计工程,2025,33(3):83-86,91.
- [2]任玉芳,任刚.基于伺服电机的自动化装配线在机械制造中的应用[J].机械管理开发,2025,40(7):297-299.
- [3]杨正洪.智能播种机中机械臂的电气自动化控制与路径优化[J].数字农业与智能农机,2025(9):33-36.
- [4]凌璟.基于PLC控制的工业机器人机械臂自动化控制系统[J].自动化与仪器仪表,2025(4):187-191.
- [5]吴斌,张大伟,郑元杰,等.未标定非标准机械臂的视觉伺服策略研究[J].工业控制计算机,2025,38(11):94-95,98.