

基于机械电子的机器人运动控制精度提升策略

王振南

郑州工业应用技术学院 河南省郑州 451100

摘要：随着科技的飞速发展，机器人技术在工业、医疗、服务等领域得到了广泛应用。机械电子作为机器人技术的重要组成部分，其运动控制精度直接影响着机器人的工作性能和可靠性。然而，在实际应用中，机器人运动控制精度受到多种因素的影响，如机械结构设计、传感器精度、控制系统算法等。本文探讨了提高基于机械电子的机器人运动控制精度的策略，通过分析相关技术和方法，旨在为机器人的精确运动控制提供有效的解决方案。

关键词：机械电子；机器人运动控制；精度提升

为了提高机械电子机器人运动控制精度，国内外学者开展了大量研究。本文针对机器人运动控制精度提升问题进行研究，降低运动过程中产生的误差，提高运动控制精度。

一、影响机器人运动控制精度的因素

（一）机械结构因素

1. 传动误差和间隙

传动误差和间隙是机械结构设计中常见的问题，它们对机器人运动控制精度有着直接的影响。传动误差主要指传动过程中因部件制造、装配、磨损等原因造成的误差，而间隙则是指传动部件之间存在的空隙^[1]。传动误差和间隙的存在会导致机器人运动轨迹偏离预定轨迹，从而降低运动控制精度。

2. 机械刚度和阻尼

机械刚度和阻尼是机械结构性能的重要参数，它们对机器人运动控制精度也有重要影响。机械刚度是指机械结构抵抗变形的能力，而阻尼则是指机械结构在运动过程中能量损耗的能力。提高加工精度，减小结构误差，提高机械性能。

（二）电子控制系统因素

1. 传感器精度和噪声

传感器是机器人感知外部环境、获取运动状态信息的重要设备。其精度和噪声水平直接影响到控制系统的性能。高精度的传感器可以提供更准确的运动状态信息，有助于提高控制精度。若传感器精度不足，则会导致控制偏差，影响机器人运动轨迹的准确性^[2]。传感器在采集信息时，往往会受到各种噪声干扰。高噪声水平会导致传感器输出的信息失真，进而影响控制系统的决策，降低运动控制精度。

2. 控制器性能和算法

控制器是机器人运动控制的核心，负责根据传感器采集到的信息进行决策，调整机器人的运动。高性能的控制器能够更快、更准确地处理传感器信息，从而提高运动控制精度。若控制器性能较差，则可能导致控制响应延迟、控制精度降低等问题。合理

的控制算法可以提高控制精度，降低运动误差。常见的控制算法有 PID 控制、模糊控制、自适应控制等。控制算法的参数设置直接影响到控制效果。参数选择不当，可能导致控制精度降低、稳定性差等问题。控制算法的复杂度越高，对控制器的性能要求也越高。在实际应用中，需要在控制精度和计算资源之间进行权衡。控制算法应具有较好的适应性，以应对不同工况下的变化。若算法适应性差，则可能导致控制精度降低。

（三）环境因素

1. 温度、湿度等环境条件的影响

温度变化会影响机器人的各个部件，如传感器、执行器等。温度升高可能导致部件膨胀，影响其尺寸和形状，从而降低运动精度。此外，温度变化还可能引起电路参数变化，导致控制信号失真^[3]。湿度大时，空气中的水蒸气会吸附在机器人部件表面，导致部件生锈、腐蚀，降低运动精度；湿度大时，电路板上的元器件容易受潮，影响电路性能；湿度大时，机器人内部电路和传感器容易产生静电，影响其正常工作。

2. 外部干扰和振动

外部干扰主要包括电磁干扰、噪声干扰等。电磁干扰可能导致机器人控制信号失真，影响运动控制精度；噪声干扰则可能使传感器信号受到干扰，影响传感器测量精度。振动主要来源于机器人工作时产生的机械振动、外部环境振动等。振动会使得机器人各个部件发生位移，从而影响运动精度。此外，振动还可能导致传感器测量误差增大，降低机器人运动控制精度。

二、基于机械电子的机器人运动控制精度提升策略

（一）机械结构优化

1. 设计合理的机械结构

根据机器人运动学分析，合理设计各个关节的结构，确保运动轨迹的精确性和稳定性。优化关节连接方式，减小运动过程中的摩擦和振动，提高运动精度。采用模块化设计，便于维修和更换部件，降低维护成本。

2. 提高传动精度和减小间隙

选用高精度的传动部件，如滚珠丝杠、谐波齿轮等，降低运动过程中的误差。采用预紧技术，减小传动部件的间隙，提高运动精度。采用精确的定位系统，如光栅尺、编码器等，实时监测运动位置，确保精度。

3. 增强机械刚度和优化阻尼

优化机械结构，提高机械刚度，减小运动过程中的振动和变形。合理设计减振器，优化阻尼特性，降低运动过程中的振动和冲击。采用自适应控制策略，实时调整控制系统参数，提高运动精度。

（二）电子控制系统改进

1. 选用高精度传感器和降低噪声

选用高分辨率、低噪声的传感器，如高精度编码器、激光测距传感器等，以提高机器人对运动状态的感知精度。采用滤波算法对传感器数据进行处理，减少信号传输过程中的噪声干扰，确保输入数据的准确性。对传感器进行抗干扰设计，如增加屏蔽层、采用差分信号传输等，提高传感器在复杂环境中的稳定性。

2. 优化控制器算法和提高性能

针对机器人运动控制的特点，优化 PID（比例 - 积分 - 微分）控制算法，提高控制器的响应速度和稳态精度。引入自适应控制算法，使控制器能够根据系统动态变化自动调整参数，提高控制系统在不同工况下的适应性和鲁棒性。采用多智能体协同控制策略，通过多个控制器共同作用，实现更复杂和精确的运动控制。

3. 采用先进的控制策略

通过自适应律调整控制参数，使控制器能够适应外部环境和内部参数的变化，提高系统的动态性能和稳定性。利用模糊逻辑处理不确定性和非线性问题，实现复杂的控制任务。通过模糊控制，机器人能够更好地应对环境变化和动态调整控制策略。应用神经网络强大的非线性映射能力，实现机器人运动的精确控制和自适应学习。通过以上电子控制系统的改进措施，可以有效提升基于机械电子的机器人的运动控制精度，增强其适应性和实用性，为各类应用场景提供更加高效、稳定的服务。

（三）误差补偿技术

1. 基于模型的误差补偿方法

通过系统辨识、机理建模或数据驱动等方法建立机器人运动系统的数学模型。该模型应包含机器人关节运动学、动力学特性以及外界干扰等因素。对建立的模型进行误差分析，确定误差来源，如传感器误差、控制器误差、执行器误差等。根据误差分析结果，对模型进行误差估计，得出误差补偿量。针对不同类型的误差，采用不同的补偿策略，如增益调整、滤波、预测等。通过调整模型参数和控制器参数，优化补偿效果，提高机器人运动控制精度。

2. 在线误差检测和补偿技术

通过实时监测机器人运动过程中的各种参数，如速度、加速度、位移等，与预设的目标值进行比较，判断是否存在误差。对检测到的误差进行评估，确定误差的大小、类型和来源。根据误差评估结果，采取相应的补偿策略，如调整控制器参数、调整执行器力矩等。在补偿过程中，实时监测误差变化，根据实际情况调整补偿策略，确保机器人运动控制精度。针对不同工况和负载，采用自适应控制策略，使机器人运动控制系统具有更好的适应性和鲁棒性。

（四）系统集成与调试

1. 机械电子系统的集成与优化

确定机器人运动控制系统的整体结构，包括传感器、执行器、控制器和通信模块等。根据机器人功能需求和性能指标，选择合适的机械结构、电子组件和软件算法。设计模块化、标准化的接口，确保各部分之间的兼容性和互操作性。通过有限元分析，优化机械部件的形状、尺寸和材料，降低重量，提高强度和稳定性。选择精度高、响应速度快、抗干扰能力强的传感器，确保机器人感知环境信息的准确性。选用高效、低噪音、寿命长的执行器，提高运动控制的精度和稳定性。采用先进的控制算法，如 PID 控制、自适应控制、模糊控制等，提高系统的动态性能和鲁棒性。搭建机械结构，进行初步组装和调试。连接传感器和执行器，实现信息的采集和执行。编写控制程序，实现机器人运动控制的基本功能。进行系统联调，确保各模块协同工作，达到预期效果。

2. 系统调试和参数整定的方法

对各个模块进行单独调试，确保其功能正常。将各个模块连接起来，进行整体调试，确保系统各部分协调工作。在特定工况下，对整个系统进行调试，检验其性能和稳定性。通过改变系统参数，观察系统性能的变化，确定最佳参数组合。利用仿真软件，对系统进行模拟，分析不同参数对系统性能的影响，优化参数设置。利用遗传算法对参数进行优化，快速找到最佳参数组合。确定调试目标和标准，进行单元调试，确保各个模块功能正常。进行联合调试，验证系统整体性能。根据调试结果，调整参数，优化系统性能。进行系统测试，确保满足设计要求。

三、结论

通过优化机械结构设计，可以有效降低机器人运动过程中的误差，提高运动控制精度。高精度传感器在机器人运动控制中具有重要作用，选用合适的传感器可以提高运动控制精度。针对不同类型的机器人，研究合适的运动控制算法，如 PID 控制、模糊控制、神经网络控制等，可以提高运动控制精度。仿真与实验验证结果表明，所提出的运动控制精度提升策略在提高机械电子机器人运动控制精度方面具有显著效果。

参考文献

- [1] 王歧峰. 工业生产中六轴机器人运动控制系统的动力学建模与高精度控制策略 [J]. 中国机械, 2023, (30): 35-38.
- [2] 葛安亮, 陈浩, 邵绪新, 等. 海参捕捞机器人运动控制系统的仿真研究 [J]. 现代电子技术, 2024, 47(02): 147-154.
- [3] 付晓东, 陈力. 全弹性平面运动机器人的高精度运动控制和振动抑制算法研究 [J]. 计算力学学报, 2021, 38(02): 199-205.