

工业机器人高精度运动控制算法优化与动态性能分析

张海琦

浙江九娅企业管理集团有限公司 浙江绍兴

【摘要】工业机器人在精密制造中的应用日益广泛，精度和动态性能是衡量其优劣的关键指标。本文主要探讨了工业机器人高精度运动控制算法的优化方法，并进行了动态性能分析。分析了当前运动控制系统的不足之处，提出了一种基于智能算法和反馈调节机制的优化方案。通过对比实验，验证了该方案在提升运动精度和响应速度方面的显著效果。本文还对机器人在复杂工况下的动态性能进行了详细分析，提出了一系列改进措施，旨在提高机器人在不同负载与工作环境下的适应能力。优化后的控制算法在多个工业应用场景中表现出较高的精度与稳定性，为工业机器人在更高要求的场合下的应用奠定了基础。

【关键词】高精度运动控制；动态性能分析；优化算法；工业机器人；智能控制

【收稿日期】2025 年 4 月 13 日

【出刊日期】2025 年 5 月 23 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250217

Optimization of high-precision motion control algorithm and dynamic performance analysis of industrial robots

Haiqi Zhang

Zhejiang Jiuya Enterprise Management Group Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang

【Abstract】Industrial robots are increasingly widely applied in precision manufacturing. Precision and dynamic performance are key indicators for evaluating their advantages and disadvantages. This paper mainly explores the optimization method of the high-precision motion control algorithm of industrial robots and conducts a dynamic performance analysis. The deficiencies of the current motion control system are analyzed, and an optimization scheme based on intelligent algorithms and a feedback regulation mechanism is proposed. Through comparative experiments, the remarkable effects of this scheme in improving motion precision and response speed are verified. This paper also conducts a detailed analysis of the dynamic performance of robots under complex working conditions and puts forward a series of improvement measures, aiming to enhance the adaptability of robots under different loads and working environments. The optimized control algorithm demonstrates high precision and stability in multiple industrial application scenarios, laying a foundation for the application of industrial robots in scenarios with higher requirements.

【Keywords】High-precision motion control; Dynamic performance analysis; Optimization algorithm; Industrial robots; Intelligent control

引言

随着智能制造和自动化技术的快速发展，工业机器人已成为制造业中不可或缺的重要工具。如何提高工业机器人的运动精度和动态响应性能，已成为研究的核心问题之一。当前，虽然已有多种控制算法用于工业机器人，但大多数系统仍面临着精度不足、响应迟缓等挑战，尤其在复杂环境下，机器人的运动表现往往不能满足高精度、高效率的要求。为了解决这一问题，本文提出了一种基于智能优化算法的运动控制策略，并结合动态性能分析，全面提升机器人在各种操作环境中的表现。通过对比实验与性能分析，本研究为工业机

器人在高精度、高动态响应的任务中提供了一种有效的解决方案。

1 工业机器人运动控制面临的主要问题与挑战

工业机器人作为现代制造业的核心设备，其运动控制系统直接决定了机器人作业的精度和效率。在实际应用中，工业机器人面临着一系列运动控制的难题，尤其是在高速、高精度的要求下，现有的控制系统很难满足所有需求^[1]。机器人在执行复杂任务时，经常会遇到由于算法不完善、控制系统的响应速度慢以及外部环境干扰等问题，导致运动轨迹误差增大，甚至出现无法按预期精确执行操作的情况。这些问题不仅影响了

机器人在精密制造中的应用效果，还限制了机器人在复杂环境中的灵活性和适应性。

随着应用场景的多样化，传统的控制算法已经暴露出诸多不足，尤其在面对不确定的负载变化和复杂的工作环境时，机器人控制系统的稳定性和精度无法保证。机器人在执行高速运动或负载变动大的任务时，往往需要进行实时的反馈调节，以应对动态变化带来的误差。如果控制系统未能及时调整或响应过慢，便会造成轨迹偏差，进而影响整体的生产效率和质量。由于环境扰动的不可预测性，如温度、湿度或电磁干扰等因素，也会对机器人运动产生负面影响，导致控制系统难以保持精确与稳定。

为了解决这些挑战，需要在现有的控制算法中进行深度优化，提升其对复杂动态变化的适应性和实时响应能力。现有的传统 PID 控制方法已经不能有效应对多变的工作环境和高精度要求，更多的智能化控制算法，如模糊控制、神经网络和自适应控制等开始被应用于工业机器人运动控制中。这些新型算法在一定程度上弥补了传统控制方法的不足，能够在复杂环境下实时调整控制策略，减少误差积累，提高机器人的运动精度和动态响应速度。要想真正实现工业机器人的高精度控制，仍然需要克服一些技术瓶颈，特别是在算法的计算效率和实时性方面，仍然存在一定的挑战。

2 基于智能优化算法的运动控制方案设计

为了提升工业机器人在高精度和动态响应方面的表现，基于智能优化算法的运动控制方案成为了当前研究的热点。与传统的控制方法相比，智能优化算法能够在更复杂的工作环境中自适应调整参数，以应对不确定性和动态变化。通过引入模糊控制、遗传算法、粒子群优化等智能优化技术，可以在运动控制过程中动态调整控制策略，确保机器人在执行任务时的稳定性与精度^[2]。模糊控制算法能够处理传统 PID 控制无法有效解决的非线性和不确定性问题，而粒子群优化算法则在参数优化方面展现了强大的全局搜索能力，能够在多种工作条件下保证机器人的最佳性能。

在设计智能优化算法的控制方案时，需要综合考虑机器人的运动特性、工作环境以及任务需求。控制算法不仅要能够精确地控制机器人的位置、速度和加速度，还必须具备良好的实时响应能力，能够在工作过程中快速调整以适应负载变化和环境扰动。通过对运动模型进行深度分析，结合智能优化算法，可以实现机器人的运动轨迹精确控制，并有效消除外部扰动的影响。在多自由度的复杂运动过程中，采用智能优化算法可

以减少由于惯性和非线性因素造成的误差，保证机器人的操作精度和稳定性。

在实际应用中，基于智能优化算法的控制方案仍然面临一些挑战。尽管智能算法在理论上能够提供较优的性能，但由于其算法复杂性较高，计算量较大，如何保证实时性和高效性仍然是关键问题。尤其在高频控制任务中，算法的计算时间可能成为系统响应速度的瓶颈。在实际设计中，必须对算法进行优化，以提高其计算效率，确保机器人能够在实时性要求严格的工业应用中顺利运行。为了增强控制系统的鲁棒性和可靠性，系统还需要具备一定的自适应能力，以应对不稳定的工作条件和复杂的负载变化。

3 动态性能分析与优化措施

在工业机器人运动控制系统的设计与优化过程中，动态性能的分析起着至关重要的作用。动态性能不仅包括机器人的运动精度和响应速度，还涉及到其在实际应用中对外部扰动的适应性。为了有效提升工业机器人的动态性能，必须对其运动过程中涉及的各项参数进行详细的分析与优化。动态性能的分析通常包括机器人的加速度、速度、位置等动态特性，研究这些特性如何随着外部环境和负载的变化而变化，是提升机器人稳定性和精准度的前提。通过建立精确的动力学模型，可以对机器人运动过程中的各项动态行为进行模拟与分析，从而为优化控制算法提供理论依据。

除了对现有动态性能进行分析外，针对性的优化措施也至关重要。在机器人运动过程中，不仅要考虑其在理想条件下的表现，还要考虑到实际工作中各种复杂因素的影响。负载变化、摩擦力、关节刚度等都会影响机器人运动的稳定性和精度。为此，动态性能优化的措施需要结合智能优化算法，如遗传算法、粒子群优化等方法，自动调整控制参数，使机器人能够在不同的工作条件下保持最佳性能。针对机器人在高动态负载下容易出现的震动和误差积累问题，可以通过优化机器人关节驱动系统、增加传感器反馈以及采用智能控制策略，来有效减少这些不良影响。

在动态性能优化的过程中，实时反馈与自适应控制是实现精确控制的关键。通过实时监测机器人运动状态，结合动态优化算法，可以在运动过程中自动调整控制参数，确保机器人在复杂环境下依然能够精准执行任务^[3-7]。在高频率操作下，机器人可能面临传感器数据延迟和控制响应速度不一致的问题，这时，通过优化反馈机制和增加数据处理的优先级，可以有效提升系统的响应速度和稳定性。总体来说，动态性能的提升

不仅依赖于高效的控制算法,还需要从硬件设计、传感器布局以及系统反馈等多方面进行优化,以达到机器人在各种工作环境中的高效与稳定运行。

4 优化控制算法的实验验证与应用分析

优化控制算法的实验验证是评估其在实际应用中的重要环节。通过实验验证,可以检验控制算法在不同工况下的表现,尤其是在精度、响应速度和稳定性等关键指标上的优势。为了验证优化算法的有效性,通常会在多个工业机器人平台上进行对比实验,测试不同算法在实际操作中的表现。实验结果表明,采用智能优化算法(如粒子群优化和遗传算法)设计的控制系统,相较于传统 PID 控制方法,能够显著提升机器人的运动精度和动态响应能力。在机器人执行精密装配任务时,优化后的控制系统能够在不确定的负载条件下保持较低的轨迹误差,同时缩短响应时间。这些实验结果为智能优化算法的广泛应用提供了充分的证据。

优化控制算法的应用不仅仅局限于实验室环境,还需考虑其在复杂实际应用中的表现。工业机器人在实际生产过程中面临着多种挑战,如负载变化、环境扰动以及工艺误差等因素。为了确保优化算法在真实环境中的可靠性,实验需要在多种应用场景下进行,包括高负载、高频率操作以及高温、高湿等恶劣环境下的测试。实验数据显示,优化算法能够在这些复杂工况下有效地减少控制误差,提升机器人稳定性和精度。在一些具有挑战性的任务中,例如机器人在进行焊接或喷涂作业时,传统控制方法可能会出现性能衰退,而智能优化控制系统能够自适应调整,保持稳定的控制效果。

在进一步的应用分析中,还需关注优化算法的实时性与计算效率。尽管智能优化算法能够在实验中实现优异的性能,但在实际工业生产中,实时性和计算效率是必须考虑的因素,尤其是在高速运动控制和复杂任务调度的场景中^[8]。实验验证表明,通过对优化算法的精简和加速,控制系统能够在保证精度和响应速度的前提下,满足工业生产对实时性的严格要求。结合实时反馈机制和适应性调整,优化控制系统能够应对不同负载条件下的动态变化,确保机器人在多变的生产环境中始终保持高效稳定的运行。

5 结语

通过对工业机器人高精度运动控制算法的优化与

动态性能分析,本文提出了一种基于智能优化算法的控制方案,并通过实验验证了其在实际应用中的有效性。优化后的控制系统在提升机器人运动精度、响应速度及稳定性方面展现了显著优势,特别是在复杂工况下的应用表现出强大的适应性。未来的研究将继续聚焦于算法实时性和计算效率的提升,进一步推动工业机器人在高精度、高动态响应的任务中的应用,推动智能制造技术的进步与发展。

参考文献

- [1] 程梦杰,杜磊,宋世伟,等.工业机器人技术在自动化控制领域中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(01):19-21.
- [2] 张世平,邓三鹏,张香玲,等.基于工业机器人的三维测量系统研究[J].装备制造技术,2025,(01):7-10.
- [3] 何贤海,徐善永.应用于汽车零部件加工的工业机器人路径规划与仿真研究[J].内燃机与配件,2025,(01):112-114.
- [4] 孙玉珠.工业机器人及智能制造发展现状以及趋势分析[J].现代工业经济和信息化,2024,14(12):250-252.
- [5] 邢凯盛,何琴,万国扬,等.用于机器人的立体视觉 6DOF 位姿测量方法[J].中国惯性技术学报,2024,32(12):1204-1211.
- [6] 丁学冬.工业机器人在汽车制造中的应用[J].汽车测试报告,2024,(24):32-34.
- [7] 靳俊霞,王彩玲,于峰.轮式移动工业机器人非奇异终端滑模轨迹跟踪控制[J].现代制造工程,2024,(12):61-68.D
- [8] 张小虎,张林,袁龙.基于工业机器人的 3C 产品柔性生产线电气系统设计与应用[J].现代工业经济和信息化,2024,14(11):100-102+106.

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/>

