

Analysis of New Motion Control Technologies in Mechanical Industry Automation

Junqi Zhang

Baotou Steel Group Energy Conservation and Environmental Protection Technology Industry Co., Ltd., Baotou, Inner Mongolia, 014010, China

Abstract

The development of automation in the machinery industry has promoted the wide application and innovation of motion control technology. This paper starts with the basic concept and composition of motion control technology, analyzes its core role in industrial automation and the limitations of traditional technologies, and focuses on the practical application of new technologies such as Internet of Things and edge computing, digital twins, 5G communication, artificial intelligence in motion control, covering key fields such as real-time data acquisition, virtual device simulation, remote control and collaboration, adaptive learning, etc. The integration of new technologies has improved the performance of motion control systems and promoted the development of automation in the mechanical industry towards intelligence and efficiency.

Keywords

mechanical industry automation; motion control technology; apply

浅析机械工业自动化中的运动控制新技术

张俊琪

包钢集团节能环保科技产业有限责任公司, 中国·内蒙古 包头 014010

摘要

机械工业自动化的发展, 推动了运动控制技术的广泛应用与创新。论文从运动控制技术的基本概念和组成入手, 分析其在工业自动化中的核心作用及传统技术的局限性, 重点阐述了物联网与边缘计算、数字孪生、5G通信、人工智能等新技术在运动控制中的实际应用, 涵盖了实时数据采集、虚拟化设备模拟、远程控制与协作、自适应学习等关键领域。新技术的融合, 提升了运动控制系统的性能, 推动了机械工业自动化向智能化与高效化的方向发展。

关键词

机械工业自动化; 运动控制技术; 应用

1 引言

机械工业自动化是现代工业发展的关键领域, 运动控制技术作为其核心支撑, 贯穿了设备制造、生产线运行和智能化升级的各个环节。随着智能制造的快速普及, 传统的运动控制技术逐渐暴露出精度不足、柔性较低和适应性有限的问题, 制约了自动化系统的发展, 新技术在运动控制系统中的应用, 可显著提高生产效率与设备性能, 加速工业自动化的智能化转型。论文旨在探讨新技术在运动控制中的实际应用和未来发展方向, 以供参考。

2 机械工业自动化发展的概述

机械工业自动化是现代制造业发展的核心动力之一,

其快速发展得益于先进技术的不断突破和工业需求的驱动。从最初的机械化到如今的智能化, 自动化技术实现了从简单的重复劳动到复杂智能任务的跨越, 这一过程中, 自动化技术不仅大幅提升了生产效率, 显著改善了产品质量, 能够优化资源利用率, 降低生产成本, 成为现代工业发展的重要标志。近年来, 随着新兴技术的崛起, 比如物联网、人工智能、大数据分析、5G通信等, 机械工业自动化迎来了全新的发展机遇, 使得生产流程的智能化和柔性化水平不断提高^[1]。

在机械工业自动化的发展中, 运动控制技术扮演着举足轻重的角色。作为连接控制系统与执行机构的桥梁, 运动控制技术承担了对设备运动的精确控制任务, 其核心作用体现在对定位、速度、加速度等运动参数的全面掌控中。无论是高精度的加工设备, 还是灵活多样的工业机器人, 运动控制技术都是其实现高效运作的基础。可以说, 运动控制技术不但是自动化系统的核心驱动, 还决定着生产设备的智能化和柔性化水平。

【作者简介】张俊琪(1977-), 男, 中国内蒙古包头人, 本科, 工程师, 从事机械自动化、机械安装、工业机械研究。

3 运动控制技术的概述

运动控制技术是机械工业自动化领域的核心技术之一，其核心目标是对机械设备的运动进行精确控制，实现生产效率与质量的优化。运动控制的主要功能包括定位控制、速度控制和加速度控制。定位控制旨在使设备在设定的空间坐标点精确停留，速度控制则调节运动过程中的运行速度，加速度控制则用于平滑设备的启动和停止，避免过大的机械冲击和误差累积。这三大功能共同作用，保障了设备运动的高精度和高效性。

运动控制系统由多种关键组件组成，具体包括：控制器，这是运动控制系统的“大脑”，负责接收指令、规划运动轨迹、计算控制参数，并发送相应的控制信号；驱动器，将控制信号转换为能够驱动执行机构的动力，例如电流或电压，控制执行机构完成运动；传感器，用于采集设备运行过程中的位置、速度、加速度等数据，实时反馈给控制器，以便调整运动参数；执行机构，具体执行控制器指令的机械部件，如同步电机、步进电机、液压缸等，完成实际的运动任务。通过各组件的紧密协作，运动控制系统实现了对机械设备的精准调节，是工业自动化的重要技术支撑^[1]。

尽管运动控制技术已在机械工业中广泛应用，但传统运动控制技术在面临现代制造需求时，逐渐暴露出了一些局限性：①精度、速度和柔性不足。传统的运动控制技术依赖于预先设定的控制模型和算法，在面对更高精度需求时，其控制能力存在瓶颈。例如，纳米级精度的加工场景，对运动控制的误差要求极低，但传统算法难以做到实时补偿。速度控制方面，由于机械传动的惯性与控制响应的滞后性，传统技术难以实现高速运动与高精度控制的兼顾。柔性不足也是一大问题，许多传统设备设计针对单一任务，面对生产任务变化时适应性较差，难以满足智能制造对多样化生产的需求。②对复杂制造场景的适应能力较低。随着工业场景的复杂化，设备需要在多变量、多自由度和非线性环境下工作，而传统运动控制技术因控制策略单一，无法应对动态干扰和非标环境。例如，在复杂的工业机器人任务中，需要实时应对环境变化并完成灵活动作，传统控制策略难以实现高效响应。上述这些局限性制约了传统运动控制技术的应用范围，迫使行业寻求更加先进的解决方案。通过引入新兴技术，比如人工智能、物联网和边缘计算，能够突破传统技术的瓶颈，为复杂制造场景提供更高效、更智能的解决方案。

4 机械工业自动化中运动控制新技术的应用

4.1 物联网与边缘计算的集成

随着物联网和边缘计算技术的发展，在机械工业自动化中的应用为运动控制系统带来了显著的变革，机械设备的运行效率和智能化水平得到了全面提升。具体应用包括：①实时数据采集与分析，提高决策速度。物联网技术的引入，使得机械设备能够通过传感器网络实现实时数据采集，并将

这些数据传输到边缘计算设备或控制中心。实时数据采集涵盖设备位置、速度、温度、振动等多个维度，为运动控制系统提供全面而精确的运行信息。例如，在数控机床中，传感器能够实时采集刀具位置和加工过程中的力学数据，通过物联网网络传输至控制系统，及时调整加工路径和参数，从而提高生产精度和效率。结合边缘计算的本地化处理能力，数据分析可以在设备现场完成，大幅减少了数据上传至云端所需的时间，显著提高了决策速度^[1]。例如，在自动化生产线上，边缘计算设备可以实时监控设备运行状态，快速处理异常情况并做出调整，避免生产停滞或质量问题，这种实时响应能力，尤其在高动态环境和复杂控制场景中尤为重要，比如高速运行的装配线或多机器人协同工作场景。②边缘计算在复杂控制任务中的应用。传统运动控制系统的运算依赖于中央控制器，面对多设备协同任务时，容易因数据处理延迟和通信瓶颈导致控制效率下降。而边缘计算通过将部分运算任务下沉至本地设备或附近的计算节点，显著提升了控制系统的整体性能和灵活性。例如，在工业机器人群组中，每台机器人通过边缘计算设备可实现独立的运动轨迹规划，并与其他机器人实时通信，完成复杂的协同工作，比如多自由度零部件装配任务。边缘计算在优化运动轨迹设计和复杂控制任务中也具有突出表现，通过本地化分析实时数据，可以动态调整设备的运行轨迹。例如，在激光切割设备中，边缘计算实时感知切割路径的偏差，并快速生成优化的补偿轨迹，确保切割质量达到设计要求，这显著增强了运动控制系统在复杂场景中的适应性。

4.2 数字孪生技术

数字孪生技术是机械工业自动化中一项变革性的新技术，通过创建物理设备的虚拟化模型，使得现实设备的运行状况、性能以及潜在问题，能够在虚拟空间中被模拟和优化。数字孪生技术的引入，使运动控制系统的设计、调试和维护效率得到了显著提升。具体应用包括：①设备虚拟化模拟，优化运动轨迹设计。数字孪生技术的核心在于通过物理设备的实时数据和数学模型，建立一个与真实设备高度一致的虚拟模型。在运动控制领域，虚拟化的设备模型能够模拟设备的运行轨迹、机械动作和环境交互，从而对运动控制系统的设计提供精确的参考。例如，在工业机器人中，可以模拟机器臂的运动轨迹、关节转速以及负载变化，从而对运动路径进行优化设计，确保运动过程中的平稳性和精确性，同时避免机械冲击和能量损耗。虚拟化模拟加快了设备设计的迭代速度，还能够在设备投入实际运行前验证其性能。在复杂制造任务中，通过对运动轨迹的预先优化，数字孪生技术可以显著提升生产效率和产品质量。例如，在数控加工中，虚拟模型能够模拟加工路径，提前发现碰撞或误差，并进行路径修正，从而保证加工过程的顺畅性与高效性。②提高设备调试与维护的效率。通过实时监控设备运行数据并将其与虚拟模型对比，数字孪生可以快速发现设备运行中的偏差或异

常。例如，当某工业机器人在运行中出现速度偏差，数字孪生模型能够实时分析原因，帮助工程师快速定位问题部位并进行调整，极大地缩短了故障排查时间。数字孪生技术还能够预测设备潜在的故障风险，支持预测性维护策略的实施，通过对设备历史数据和运行状态的分析，虚拟模型可以提前识别故障趋势。例如，在高精度伺服电机的使用中，能够根据振动频率和温度变化预测电机的寿命，并发出维护提醒，从而避免设备突然停机导致的生产损失。对于设备维护人员而言，数字孪生还提供了可视化的操作指导，依据虚拟模型的动态展示，就可以精准了解设备的内部状态以及维护步骤，从而提高操作的准确性和效率。

4.3 5G 通信与运动控制的融合

5G 通信技术的引入，为机械工业自动化中的运动控制技术带来了革命性的变化，其超高速率、低延迟和高可靠性的特性，极大地提升了运动控制系统的性能和应用范围。具体应用体现在：①实现远程实时控制和协同作业。5G 通信以毫秒级延迟为特点，使得远程控制的实时性大幅提高，特别适用于对动态响应要求极高的场景。例如，在复杂的工业生产线上，通过 5G 网络，操作人员可以实时远程操控机械臂或机器人群组，完成精细化装配或加工任务，几乎感受不到延迟。工业场景中通常需要多个设备协同完成复杂任务，例如多机器人协作搬运或加工，在 5G 环境下，运动控制系统可以通过超高速通信，实现设备间的实时数据共享和任务分配，使设备动作更精准同步，减少误差，提高整体效率。例如，在智能物流系统中，5G 可支持多个自动导引车实现路径动态调整和任务优化分配，避免路径冲突，提升物流效率。②满足低延迟、高可靠性通信的需求。运动控制系统对通信延迟和可靠性有着极高的要求，因为即使是毫秒级的延迟，也会导致设备动作的不一致或生产质量的下降，而 5G 网络的超低延迟特性，使控制信号能够几乎实时到达设备端，从而实现对设备运动的精准调控。例如，在远程精密加工中，操作人员可以通过 5G 实时操控数控机床，确保切割路径或钻孔位置的毫厘不差；在自动化装配线中，5G 确保设备与传感器之间的快速通信，使每个环节无缝衔接。5G 的高可靠性，保障了工业通信的稳定性，即便在复杂电磁环境或网络高负载情况下，数据传输仍然能够保持极高的质

量，这一特性在关键任务场景中尤为重要。

4.4 人工智能与机器学习技术

人工智能（AI）与机器学习技术的引入，为机械工业自动化中的运动控制系统注入了新的活力。通过智能控制算法优化和自适应学习，使运动控制系统在精度提升、环境适应和设备维护方面实现了显著突破。具体而言：①智能控制算法优化，提高精度与适应性。传统运动控制算法，通常依赖于预先设定的规则或模型，面对复杂和动态的工业场景时，难以快速响应变化。而人工智能技术通过机器学习算法，对海量历史数据进行训练，使控制系统能够实时优化参数和策略。例如，在机器人焊接过程中，AI 算法可以基于传感器采集的焊接电弧数据，自主调整焊接路径和力度，确保焊接质量的一致性和精度。AI 还可以通过强化学习，让运动控制系统在动态环境中自主适应，如在物流机器人导航中，可快速应对障碍物和路径变化，实现高效灵活的动态路径规划。②自适应学习用于设备预测性维护。传统的维护方式，依赖于固定的周期或人工检测，容易导致过早或过迟的维护，既浪费资源，又增加停机风险。而通过自适应学习，AI 能够实时监控设备运行状态，包括电机温度、振动频率、功率消耗等，动态分析数据变化并预测潜在故障。

5 结语

总之，机械工业自动化中的运动控制技术，正在迈向更高精度、更强适应性和更高智能化的新时代。通过物联网与边缘计算的实时数据处理、数字孪生的虚拟化模拟、5G 通信的高速协作，以及人工智能的智能优化，运动控制系统已成为推动工业自动化发展的重要动力。未来，随着新技术的持续发展与应用深化，运动控制技术将继续引领机械工业自动化向更高效、更灵活、更智能的方向迈进，为制造业升级提供强有力的支持。

参考文献

- [1] 董杰聪. 机械自动化技术在工业生产中的运用[J]. 今日自动化, 2022(11):114-116.
- [2] 高峰. 机械工业自动化中的运动控制新技术[J]. 湖北农机化, 2020(20):68-69.
- [3] 杜仲栋. 机械自动化中运动控制新技术的应用研究[J]. 今日自动化, 2023(1):110-112.