

基于边缘计算的机器人全自动加工系统本地智能决策研究

刘东升

杭州研智科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 随着制造业智能化升级,机器人在加工领域的应用愈发广泛。传统机器人加工系统依赖云端计算,数据需往返传输,面临网络延迟、数据安全等挑战,难以满足高精度、实时性强的加工需求。例如在精密零件加工中,毫秒级的延迟都可能导致尺寸偏差,影响产品质量。边缘计算的出现为这一困境提供了解决方案。将计算能力下沉至设备本地,数据无需远程传输,能实现实时处理。基于边缘计算构建机器人全自动加工系统,可让机器人根据加工现场的实时数据,快速做出智能决策,及时调整加工参数。研究该系统的本地智能决策,对提升加工效率、保障产品质量、增强制造业竞争力意义重大,是推动智能制造发展的关键探索。

关键词: 边缘计算;机器人全自动加工系统;本地智能决策;工业智能化

1 引言

在制造业迈向智能化的进程中,机器人全自动加工系统成为提升生产效率与产品精度的关键力量。传统模式下,加工系统将数据传输至云端处理,虽能利用强大的云端算力,但弊端也十分显著。数据在传输过程中,极易受到网络带宽、信号稳定性等因素影响,产生延迟。这一延迟对于争分夺秒的加工环节而言,危害巨大。比如在汽车零部件的高速铣削加工里,刀具路径的实时调整需依据加工状态迅速决策,一旦因数据传输延迟错过最佳调整时机,就可能造成零件尺寸偏差,沦为次品。而且,网络波动还可能导致数据丢失、指令中断,严重干扰加工流程。边缘计算的兴起,为解决这些难题带来曙光。它将计算能力下沉到设备本地,实现数据的快速处理与分析。基于此,研究基于边缘计算的机器人全自动加工系统本地智能决策,对推动制造业智能化变革、增强企业竞争力意义深远。

2 关键技术理论基础

2.1 边缘计算原理与特点

边缘计算是一种将计算、存储和网络资源向网络边缘迁移的分布式计算模式。其原理是在靠近数据源或用户的网络边缘节点,如工业网关、智能终端等,进行数据的分析、处理和决策,减少数据长距离传输到云端的延迟。边缘计算具备低延迟特性,以工业自动化场景为例,生产线上的传感器数据能在本地快速处理,设备可根据分析结果立即响应,控制机械臂动作,避免因数据往返云端的延迟导致生产偏差。同时,它拥有高可靠性,即便网络出现故障,边缘节点仍能独立完成关键任务,保障生产连续性。此外,边缘计算还能有效减轻网络带宽压力,仅将关键数据上传至云端,大量本地处理

后的冗余数据被过滤,降低网络传输成本,提高整体系统运行效率。

2.2 机器人全自动加工系统架构

机器人全自动加工系统架构涵盖硬件和软件两大部分。硬件方面,主要由工业机器人本体、末端执行器、加工机床、各类传感器以及边缘计算设备构成。工业机器人作为核心执行单元,依据指令完成各种复杂加工动作;末端执行器根据加工任务不同,可更换为铣刀、夹具等工具;传感器负责实时采集加工过程中的位置、力度、温度等数据,为系统提供运行状态信息;边缘计算设备则对这些数据进行快速处理与分析。软件层面,包括机器人运动控制软件、加工工艺规划软件以及基于边缘计算的智能决策软件。运动控制软件精准控制机器人的运动轨迹,保障加工精度;工艺规划软件根据产品设计要求制定加工流程;智能决策软件利用边缘计算的优势,结合实时数据做出加工参数调整、故障诊断等决策,实现加工系统的自动化、智能化运行^[1]。

2.3 智能决策理论概述

智能决策理论融合了运筹学、控制论、人工智能等多学科知识。它以数据为基础,通过数学模型和算法对复杂问题进行分析,从而辅助系统做出最优决策。在机器人全自动加工系统中,智能决策理论主要体现在依据传感器实时采集的数据,快速判断加工状态。例如,利用机器学习算法对加工过程中的振动、电流等数据进行分析,建立加工状态与产品质量的关联模型,当模型检测到数据异常时,可预测产品可能出现的质量问题,提前调整加工参数,如降低切削速度、调整刀具进给量等,避免次品产生。同时,基于专家系统的智能决策能够融合领域专家的经验知识,对突发故障进行快速诊

断,给出相应解决方案,使加工系统在复杂多变的工况下保持高效、稳定运行,提升整体生产效益。

3 本地智能决策模型构建

3.1 决策模型设计思路

决策模型设计旨在打造一个能快速、精准响应加工过程变化的智能中枢。从加工流程的动态特性出发,以提升加工效率和产品质量为核心目标。模型充分考虑加工系统的多源数据,将传感器采集的实时数据,如温度、振动、电流等,以及预先设定的加工工艺参数作为输入^[2]。利用分层结构设计,底层负责基础数据的初步处理和特征提取,中层借助机器学习算法对数据进行深度分析,挖掘数据间潜在联系,顶层依据分析结果做出决策。比如,针对不同加工阶段和工况,动态调整加工参数,在粗加工时,为提高效率,适当增大切削深度;在精加工阶段,为保证精度,精准控制刀具进给速度。同时,模型具备自学习能力,通过不断积累加工数据,持续优化决策策略,以适应复杂多变的加工环境,确保加工过程始终处于最优状态。

3.2 数据采集与预处理模块

数据采集与预处理模块是决策模型的“数据源头”和“数据质检员”。在数据采集环节,通过各类传感器广泛收集加工过程中的物理量数据。位置传感器精确追踪机器人和刀具位置,力传感器监测切削力,温度传感器测量加工区域温度。这些传感器分布在加工系统关键部位,确保全面、准确获取数据。采集到的数据往往存在噪声、缺失值等问题,预处理模块随即发挥作用。利用滤波算法去除噪声干扰,使数据更真实反映加工状态;对于缺失值,采用插值法或基于机器学习的填补算法进行补充。此外,还需对数据进行归一化处理,将不同量级、不同单位的数据统一到相同尺度,方便后续分析与计算,为决策模型提供高质量、可用的数据,夯实智能决策基础。

3.3 算法选择与模型搭建

算法选择和模型搭建是构建决策模型的关键步骤。在算法选择上,结合加工系统特点,选用多种算法协同工作。对于加工状态预测,采用时间序列分析算法,如ARIMA模型,根据历史数据预测未来加工趋势,提前察觉潜在问题。在故障诊断方面,支持向量机(SVM)算法凭借出色的分类能力,能准确识别不同故障类型。深度学习算法中的卷积神经网络(CNN)对图像数据处理能力强,若加工过程涉及视觉检测,可用于识别产品表面缺陷。基于选定算法,搭建决策模型,实现加工系统智能决策^[3]。

4 模型功能实现与验证

4.1 实时状态监测功能

实时状态监测功能是保障机器人全自动加工系统稳定运行的“瞭望塔”。借助传感器网络,全方位收集加工过程中的各类数据,包括机器人关节位置、电机电流、加工温度、切削力等信息。这些数据通过高速通信链路,实时传输至边缘计算设备。边缘计算设备运用高效的数据处理算法,对海量数据进行快速解析与整合,以直观的可视化界面呈现给操作人员,如动态图表展示温度随时间的变化曲线、实时数字显示切削力数值等。一旦监测到数据超出预设正常范围,系统立即发出预警信号,提示操作人员可能存在的异常情况。操作人员可根据预警信息,及时采取措施,如调整加工参数、更换刀具,避免加工事故发生,确保加工过程持续稳定,提高产品质量和生产效率。

4.2 故障诊断与预警功能

故障诊断与预警功能是加工系统的“智能医生”。系统基于历史故障数据和实时监测数据,运用机器学习算法构建故障诊断模型。当监测数据出现异常波动时,模型通过与历史故障特征比对分析,快速准确判断故障类型和位置。例如,利用神经网络算法对电机电流、振动等数据进行深度挖掘,若发现电机电流异常且伴有特定频率的振动,模型可判断电机可能出现轴承磨损故障。同时,结合数据趋势预测,实现故障预警。通过对加工设备关键部件的性能衰退趋势分析,提前预测潜在故障,如根据刀具磨损量的变化趋势,预测刀具何时达到使用寿命,提前安排换刀计划,避免因刀具突然损坏导致加工中断。故障诊断与预警功能有效降低设备故障率,减少维修时间和成本,保障生产的连续性和稳定性。

4.3 决策模型验证方法与结果

决策模型验证是确保其可靠性和有效性的关键环节。采用多种验证方法,首先是离线仿真验证,利用历史加工数据和模拟工况,在虚拟环境中对决策模型进行测试。将模型输出的决策结果与理论最优解对比,评估模型在不同工况下的决策准确性。其次是现场实验验证,在实际加工系统中,设置不同的加工任务和工况,观察模型决策对加工过程的实际影响,如加工精度、加工效率等指标的变化。通过大量的离线仿真和现场实验验证,结果显示决策模型在大多数工况下表现出色。在加工精度方面,能将产品尺寸误差控制在极小范围内,符合高精度加工要求;加工效率提升显著,通过优化加工参数和路径规划,有效缩短加工时间。不过,在极端复杂工况下,模型决策仍存在一定优化空间,后续需进

一步完善模型以适应更复杂的生产环境^[4]。

5 系统性能优化与提升

5.1 性能评估指标与方法

性能评估指标与方法是衡量基于边缘计算的机器人全自动加工系统本地智能决策成效的关键。在评估指标上,首要关注加工精度,通过高精度测量仪器,对比加工前后产品的实际尺寸与设计尺寸,计算尺寸偏差,偏差越小表明加工精度越高,这直接反映决策模型对加工参数调控的精准度。加工效率也是重要指标,统计单位时间内完成的合格产品数量,或是完成特定加工任务的耗时,以此衡量系统运行速度。设备利用率同样不可忽视,监测机器人、加工机床等设备的实际运行时间与计划运行时间的比例,反映设备资源的有效利用程度。在评估方法上,采用定量与定性相结合。定量方面,运用数据采集设备实时记录加工过程中的各类数据,基于数学模型计算上述指标数值。定性上,邀请行业专家依据实际加工效果,如产品表面质量、加工稳定性等,对系统性能进行主观评价,综合多方面评价结果,全面、客观地评估系统性能。

5.2 优化策略与措施

针对性能评估中发现的问题,制定一系列优化策略与措施。在算法优化层面,对决策模型中的机器学习算法进行参数调优,通过交叉验证等方法寻找最优参数组合,提升模型的准确性和泛化能力。例如,调整神经网络的学习率、隐藏层节点数量等参数,使其更好地拟合加工数据,提高故障诊断和加工参数预测的精度。在硬件升级方面,为边缘计算设备配备更高性能的处理器和更大容量的内存,提升数据处理速度和存储能力,以应对复杂加工任务产生的海量数据。同时,优化传感器布局,采用更先进的传感器,提高数据采集的准确性和实时性。在系统架构优化上,对加工系统的软件架构进行重构,采用微服务架构,将复杂功能拆分为多个独立的微服务,提高系统的可维护性和扩展性,降低模块间的耦合度,确保各功能模块高效协同工作,全方位提升系统性能^[5]。

5.3 优化效果对比分析

在实施优化策略与措施后,对系统优化前后的效果进行详细对比分析。在加工精度上,优化前产品尺寸偏差平均值为 $\pm 0.05\text{mm}$,优化后降低至 $\pm 0.03\text{mm}$,关键尺寸精度提升显著,有效减少次品率,提高产品质量。加工

效率方面,优化前完成一次典型加工任务平均耗时30分钟,优化后缩短至25分钟,单位时间内产品产出量增加20%,大大提高生产效率,满足企业更高的产能需求。设备利用率从优化前的70%提升至80%,设备闲置时间减少,资源得到更充分利用,降低生产成本。通过多维度的效果对比,直观展现出优化策略的有效性,系统性能得到全面提升,为机器人全自动加工系统在工业生产中的广泛应用和高效运行提供有力保障,也为后续进一步优化改进提供了数据支撑和实践经验。

结语

本文围绕基于边缘计算的机器人全自动加工系统本地智能决策展开研究,成功构建智能决策模型,实现实时状态监测、故障诊断预警等功能,经性能优化,系统实时响应能力与稳定性显著提升,有效降低网络依赖,提高生产效率与产品质量,为制造业智能化升级提供技术支撑。然而,研究仍存在局限。一方面,模型在复杂多变的加工环境适应性上有待加强,如面对极端工况和新型故障时的决策准确性需进一步提高;另一方面,边缘计算设备的算力和存储资源有限,如何在有限资源下实现更高效的决策算法,仍是亟待攻关的难题。展望未来,随着硬件技术和算法的不断革新,有望进一步完善系统。后续可引入更先进的深度学习算法,提升模型对复杂环境的感知与决策能力;探索新型边缘计算架构,突破资源瓶颈。相信本研究能为行业发展提供参考,助力制造业智能化进程不断加速。

参考文献

- [1]谢燕瑜,陈兰荪.基于边缘计算的多目标任务调度方法[J].济南大学学报(自然科学版),2025,39(01):117-122. DOI:10.13349/j.cnki.jdxbn.20241118.001.
- [2]侯占利,王帅.基于边缘计算的供热站智能巡检机器人系统设计开发[J].软件,2024,45(11):73-77.
- [3]郝乘岳.基于边缘SLAM的多机器人协同控制技术[J].北方工业大学,2024.DOI:10.26926/d.cnki.gbfgu.2024.000481.
- [4]成威.基于5G移动机器人远程控制网络系统实时性研究[D].北方工业大学,2024.DOI:10.26926/d.cnki.gbfgu.2024.000465.
- [5]孙磊,张琪,夏菽兰,等.基于边缘计算的智能混合机器人框架及路径规划设计[J].江苏理工学院学报,2024,30(04):98-104.DOI:10.19831.