

工业物联网架构下数控机床远程故障诊断系统设计

余含燕

绍兴市上虞大众劳动事务代理(所)有限公司 浙江绍兴 312000

摘要:随着工业物联网技术的飞速发展,数控机床作为工业生产中的关键设备,其运行的稳定性和可靠性至关重要。本文旨在设计一种基于工业物联网架构的数控机床远程故障诊断系统,以实现对数控机床的实时监测、故障预警和远程诊断。该系统通过工业物联网技术将数控机床与远程诊断中心相连接,采集机床的运行数据,并利用数据分析和机器学习算法对数据进行处理和分析,从而及时发现机床的潜在故障,并提供有效的解决方案。文章详细阐述了系统的总体架构、功能模块设计、数据采集与传输、故障诊断算法等内容,并对系统的性能进行了测试和验证。测试结果表明,该系统能够准确地监测数控机床的运行状态,及时发现故障并进行预警,为提高数控机床的运行效率和可靠性提供了有力的支持。

关键词:工业物联网;数控机床;远程故障诊断系统;数据分析

引言

在现代制造业中,数控机床应用于航空航天、汽车制造等众多领域,其高效稳定运行对提高生产效率等起着关键作用。但长期运行中,因机械磨损等多种原因会出现故障,导致生产中断、增加维修成本,影响产品质量和企业经济。传统数控机床故障诊断依赖现场维修人员经验和知识,存在诊断效率低、响应时间长的问題。维修人员到现场检查诊断耗时耗力,复杂故障还需专家会诊,进一步延长维修时间。随着工业物联网技术发展,为数控机床远程故障诊断提供新思路。工业物联网实现设备互联互通和数据共享,利用其架构可将数控机床运行数据实时采集传输到远程诊断中心,专家分析数据,及时发现潜在故障并提供远程诊断和维修指导,可提高诊断效率、缩短维修时间、降低成本、提高生产效益。因此,设计基于工业物联网架构的数控机床远程故障诊断系统具有重要现实意义。

一、工业物联网架构与数控机床诊断需求分析

(一)工业物联网架构概述

工业物联网(IIoT)架构是分层系统框架,包括感知层、网络层、平台层和应用层。感知层用传感器和执行器与物理设备交互采集数据,如数控机床的振动、温度和电流传感器。网络层将数据通过有线或无线方式传输到上层,如工业以太网、无线传感器网络。平台层是核心,接收网络层数据,进行存储、处理、分析和建模,提供数据管理等服务。应用层基于平台层开发业务应用,

如远程监控等。这种分层架构为数控机床远程诊断提供基础设施,各层分别保障数据获取、传输、处理和功能实现^[1]。

(二)数控机床关键部件与故障特征

数控机床结构复杂,主要包括主轴单元、进给轴驱动单元、刀库系统、自动换刀装置和数控系统。主轴单元驱动刀具切削,进给轴驱动单元控制移动,刀库系统存储和选择刀具,数控系统协调各部件动作。长期运行中,关键部件可能因多种因素故障。主轴部件常见故障有轴承磨损、电机故障,特征为振动加剧等。进给轴驱动单元故障会导致位置偏差等。刀库系统可能出现刀具识别错误等故障。数控系统故障会使机床无法启动等。这些故障特征是状态监测和故障诊断的重要依据。

(三)远程故障诊断对系统的需求

实现有效数控机床远程故障诊断,系统需满足多方面要求。数据上,要采集全面关键的数据,包括振动等状态监测数据,数据量大且时效性要求高。系统要具备高度实时性,减小数据采集到分析判断的延迟。可靠性上,要保证数据传输和诊断服务连续。安全性方面,要保护数据不被未授权访问或篡改。此外,系统需具备良好的可扩展性,以适应未来变化的诊断需求和技术发展^[2]。

二、数控机床远程故障诊断系统总体设计

(一)系统总体架构设计

本数控机床远程故障诊断系统采用基于工业物联网(IIoT)的四层架构方案,具体包括感知层、网络层、平台层和应用层。感知层直接部署在数控机床上,负责实

时采集机床运行状态的关键数据,如主轴振动、轴承温度、进给轴电流、刀库位置等。这些数据是诊断的基础。网络层承担着数据传输的任务,它将感知层采集到的原始数据,通过工业以太网、无线网络或其他通信方式,按照既定的路径传输到平台层。同时,它也负责接收平台层下发的控制指令,并将其传递给感知层或机床控制系统。平台层是系统核心处理单元,接收网络层数据流,进行存储、清洗、预处理、特征提取和初步分析,为上层应用提供数据支撑与服务。应用层面向最终用户,提供图形化界面,展示机床实时状态、历史趋势、诊断结果和报警信息,包含故障诊断算法模块、预测性维护建议模块等。各层通过定义好的接口连接。数据流从感知层逐层向上传输至应用层供用户查看分析,控制流则由应用层发起指令,经平台层和网络层,作用于感知层或机床执行机构。例如,应用层请求查看某机床实时振动数据,请求经平台层和网络层到感知层振动传感器,传感器将数据沿网络层和平台层传回应用层显示。

(二) 关键组件与接口设计

在感知层,需要确定具体的数据采集设备。根据2.1节中提到的关键部件和故障特征,需要选择合适的传感器类型,例如加速度传感器用于监测振动,热电偶或红外测温仪用于监测温度,电流传感器用于监测电机负载,编码器或光栅尺用于监测位置偏差。传感器的布置原则是根据各关键部件的特性和故障敏感点来确定具体安装位置,确保能够有效捕捉到反映部件状态变化的信号。这些传感器需要通过特定的接口方式与数控系统或专用的数据采集模块相连,通常采用标准的工业接口,如模拟量输入/输出、数字量输入/输出、RS485、CAN总线或以太网接口,以确保数据能够被稳定采集。在网络层,通信协议的选择需要考虑实时性、可靠性和安全性。例如,可选择OPC UA作为设备间通信标准协议,或用MQTT协议进行轻量级数据传输。数据传输机制要能处理大量并发数据,具备错误检测和重传功能,确保数据安全可靠传输。平台层需设计有足够容量和性能的数据存储方案,可采用时序数据库存储海量传感器时间序列数据。数据预处理要对原始数据滤波、去噪、归一化,消除干扰并提取有用信息。数据管理涉及数据索引、查询、备份和生命周期管理。应用层要设计直观易用的用户界面,方便用户查看机床状态、历史数据和诊断报告。诊断功能模块接收平台层数据,运行内置算法(如基于阈值判断、基于模型预测、基于机器学习模式识别等),将结果清晰反馈给用户界面,用户可通过界面与诊断模

块交互,如设置诊断参数、查看详细诊断过程^[3]。

(三) 系统集成思路

系统设计必须充分考虑与现有数控系统、工厂现有网络基础设施以及可能存在的上层生产管理系统(如MES)或企业资源规划系统(ERP)的兼容性和集成性。这意味着新系统不应独立于现有环境,而应能够无缝对接,共享数据,协同工作。数据标准化是确保集成顺利进行的关键。所有采集的数据、传输的指令、存储的信息以及系统间交换的格式都应遵循统一的标准或规范,例如采用通用的数据字典、统一的通信协议(如OPC UA)、标准化的报警代码等,以消除“信息孤岛”,保证数据在不同系统间能够被正确理解和处理。接口开放性同样重要,系统应提供标准化的API接口,允许第三方系统或未来新增的功能模块方便地接入和扩展,这样不仅可以保护现有投资,也便于系统随着技术发展和业务需求变化进行升级和功能增强。

三、系统核心功能模块设计与实现考量

(一) 数据采集与预处理模块

数据采集需覆盖数控机床的驱动系统、主轴单元、进给轴、刀具库等关键部位,通过在电机轴承、导轨滑块等易损部件安装振动传感器,在主轴箱、控制柜部署温度传感器,在进给系统设置位移传感器,实时采集振动频率、温度变化、位移精度等运行状态数据,采样频率根据参数特性设置为1kHz至10kHz,确保捕捉瞬时异常信号。例如沈阳机床集团在其i5系列智能数控机床中,通过分布式传感网络实现了对23个关键部位的实时数据采集,采样间隔最低达0.1秒,为后续分析提供了高密度数据源。

原始数据需经过多步预处理:采用小波阈值滤波法去除振动信号中的高频噪声,通过滑动平均法平滑温度数据的波动,利用时间戳对齐技术实现多传感器数据的同步,消除因传输延迟导致的时间差。这些处理的必要性在于,未处理的数据中混有传感器本身的电气噪声、机床周围环境的干扰信号,如不剔除会导致后续分析出现偏差,某汽车零部件厂的实践表明,经预处理后的数据用于故障诊断时,误报率可降低40%以上^[4]。

(二) 数据传输与存储模块

在IIoT网络环境下,数据传输采用边缘节点本地汇聚与5G/工业以太网相结合的方式,预处理后的关键数据经边缘网关压缩后,通过加密通道上传至云端平台,非关键的历史数据则采用定时批量传输策略,以减少网络带宽占用。例如海尔卡奥斯工业互联网平台针对机床

数据传输,开发了基于MQTT协议的轻量化传输方案,数据压缩率达60%,传输延迟控制在50ms以内,满足实时性要求。

(三) 存储策略需分层设计

高频访问的实时数据采用内存数据库存储,如Redis,确保监控界面的快速响应;中期数据(3个月内)存储于关系型数据库,如MySQL,用于短期趋势分析;长期数据(超过3个月)则迁移至分布式文件系统,如HDFS,配合时序数据库InfluxDB存储,以适应海量历史数据的长期归档和分析需求。据2021年《中国工业互联网发展报告》显示,采用分层存储策略的制造企业,数据存储成本平均降低35%,同时访问效率提升50%。

(四) 远程监控与诊断功能模块

远程实时监控界面采用模块化设计,左侧展示机床三维模型及传感器部署位置,中部以仪表盘、趋势图形式显示主轴转速、进给速度、油温等关键参数,右侧实时刷新报警信息,支持参数阈值自定义设置和异常数据标红显示。例如西门子Sinumerik Edge平台的监控界面,可同时展示8台机床的20项核心参数,并支持单台设备的历史曲线回溯。

故障预警和诊断逻辑框架基于三级判断机制:一级阈值判断,当温度超过80℃、振动幅值大于0.1mm时触发初级预警;二级规则判断,如连续3个采样周期出现进给轴定位误差超0.02mm,结合负载变化趋势判定为潜在机械故障;三级趋势分析,通过对比当前数据与过去30天的均值偏差,识别缓慢恶化的性能衰减。诊断结果以图文结合方式展示,故障位置在三维模型上高亮标注,附带可能原因及处理建议,并提供远程专家接入通道,支持实时标注截图、共享操作权限,某航空发动机零件加工厂通过该机制,将故障诊断响应时间从4小时缩短至1.5小时。

(五) 系统安全设计考量

数据采集环节采用传感器身份认证,每台设备的传感节点需通过数字证书验证才能接入网络,防止伪造数据注入。传输过程中,采用AES-256加密算法对数据进行加密,同时通过VPN建立专用通道,避免数据在公网传输时被截获。存储阶段实施数据分级加密,核心工艺参数采用国密SM4算法加密存储,普通运行数据采用加密分区管理。

应用层面严格执行访问控制,设置管理员、运维人

员、查看人员三级权限,管理员拥有全功能操作权限,运维人员仅能进行诊断和参数调整,查看人员仅限浏览数据。同时建立操作日志审计系统,记录所有用户的登录时间、操作内容、数据访问记录,确保每一项操作可追溯。据2020年中国电子技术标准化研究院发布的《工业互联网安全白皮书》,采用类似安全措施的企业,数据泄露事件发生率较未采用者降低72%^[5]。

结语

本文围绕工业物联网架构下的数控机床远程故障诊断系统展开研究与设计。先分析工业物联网架构与数控机床诊断需求,明确故障特征与系统要求;接着进行总体设计,包括架构、组件、接口和集成思路,确保科学性与合理性;随后详细设计核心功能模块,如数据采集与预处理、传输与存储、远程监控与诊断及安全设计,保障系统高效运行。该系统具有现实意义,能及时发现故障隐患,降低故障发生率与停机时间,提高机床利用率和生产效率;通过数据分析为维护管理提供依据,实现预防性维护,降低成本;安全设计保障数据安全可靠,提供稳定生产环境。不过,系统存在改进空间。未来可优化数据采集与预处理算法,提高数据准确性和有效性;加强复杂故障诊断能力,引入先进机器学习和人工智能算法,提升智能化水平;完善系统兼容性和扩展性,适应不同机床和生产环境。持续研究改进后,系统将在故障诊断和维护领域发挥更重要作用,支持工业制造业发展。

参考文献

- [1]李响,秦猛,张恒,等.基于物联网的数控机床监测系统[J].物联网技术,2020.DOI: 10.16667/j.issn.2095-1302.2020.04.006.
- [2]金星,乔兴华.基于物联网的数控机床零件识别系统设计应用[J].金属加工:冷加工,2021,000(012): 60-64.
- [3]机械工程.基于物联网的数控机床群状态监测及故障诊断系统研究[D].2022.
- [4]刘长生,张效民.基于物联网的数字化工卡工业云平台的接口系统开发研究[J].长沙通信职业技术学院学报,2019,018(001): 16-20.
- [5]吕环环.鼎新巧干,华中9型智能数控系统引领工业母机“开道超车”[J].数控机床市场,2022(2): 50-51.