

# Practical Application of AI-Driven Remote Monitoring and Predictive Maintenance Technology for Mechatronic Equipment

Jixiu Xu Yongqing Ma Xiaojian Zhang Lu Bai Yang Yang

Shandong Maritime College, Weifang, Shandong, 261108, China

## Abstract

In the process of industrial intelligence development, the remote monitoring and predictive maintenance technology of AI-driven mechatronic equipment has become a key to improving equipment management level. This paper conducts in-depth research on this technology, elaborates on the significance and necessity of applying AI technology to the remote monitoring and predictive maintenance of mechatronic equipment, and analyzes the current challenges such as complex data processing and poor model adaptability. It systematically explores the technical principles and implementation paths of AI technology in equipment data collection and transmission, real-time status monitoring, and fault prediction model construction, and proposes optimization strategies in technical practice. At the same time, it looks forward to future development trends, aiming to provide theoretical support and practical guidance for promoting the intelligent management of mechatronic equipment, and improve equipment reliability and reduce operation and maintenance costs.

## Keywords

AI technology; mechatronic equipment; remote monitoring; predictive maintenance

## AI 驱动的机电一体化设备远程监控与预测性维护技术实践

许继秀 马永青 张晓建 白露 杨杨

山东海事职业学院, 中国·山东 潍坊 261108

## 摘要

在工业智能化发展进程中, AI驱动的机电一体化设备远程监控与预测性维护技术成为提升设备管理水平的关键。本文围绕该技术展开深入研究, 阐述AI技术应用于机电一体化设备远程监控与预测性维护的重要意义与必要性, 分析当前面临的数据处理复杂、模型适配性差等挑战。系统探讨AI技术在设备数据采集与传输、实时状态监控、故障预测模型构建等方面的技术原理与实现路径, 并提出技术实践中的优化策略。同时对未来发展趋势进行展望, 旨在为推动机电一体化设备智能化管理提供理论支撑与实践指导, 提升设备可靠性、降低运维成本。

## 关键词

AI技术; 机电一体化设备; 远程监控; 预测性维护

## 1 引言

机电一体化设备于工业生产、交通运输、能源电力等诸

【基金项目】2024年山东省职业教育教学改革研究项目《新质生产力背景下机电一体化技术高水平专业群建设研究与实践》项目建设阶段性研究成果(项目编号: 2024430); 2023年山东省职业教育教学改革研究项目《“山海特色”现代产业学院建设模式研究与实践》项目建设阶段性研究成果(项目编号: 2023213)。

【作者简介】许继秀(1992-), 女, 中国山东潍坊人, 硕士, 助教, 从事机电一体化研究。

多范畴大量应用, 构成现代工业体系关键支撑。以往设备的监控和维护采取人工巡检及事后维修方式, 显现出效率低下、成本居高、故障预警滞后等弊病, 难以跟从工业化发展的步伐。伴随人工智能(AI)技术迅猛演进, 深度学习、机器学习、大数据分析等人工智能技术与机电一体化设备监控维护深度耦合, 开辟了达成设备远程监控与预测性维护的新途径。借助AI赋能的远程监测与预见性维护手段, 能实时把控设备的运行态势, 事先预判故障苗头, 调整维护方针, 对增强设备稳定性、减少运维开支、维持生产连贯性意义重大。

## 2 AI 应用于机电一体化设备监控维护的重要性与必要性

### 2.1 提升设备管理效率

AI技术可对机电一体化设备运转时生成的海量数据开

展快速剖析与处理,打破人工处理数据效率的桎梏,依靠自动化来完成数据采集、传输及分析,能做到设备状态实时督察与异常识别,极大压缩故障诊断所耗时长,带动设备管理效率上扬,助力管理人员更精准、及时把握设备运行态势。

## 2.2 降低运维成本

预测性维护借 AI 算法实现设备故障提前预判,调整传统事后维修限定定期维护模式,制止过度维护所造成的资源浪费,减小设备突发故障造成的停机损失以及维修成本规模,实现运维资源的高效配置,综合降低设备整个生命周期的运维成本。

## 2.3 保障生产安全与连续性

借助 AI 技术对设备运行数据开展深度剖析与挖掘,可及时洞察设备潜在的故障隐忧,提早采取维护手段,阻止重大故障降临,达成生产安全成效,减少设备意外暂停运行的时长,保障生产流程连贯,增进企业生产效益及竞争实力。

# 3 当前面临的挑战

## 3.1 数据处理复杂性高

机电一体化设备运行产生的数据类型呈现出多样化态势,含有振动、温度、电流、电压等多源且异构的数据,数据采集速率快、干扰强,怎样实现对这些复杂数据的高效清洗、融合及特征提取,乃准确分析设备态势与预知故障的核心难点。

## 3.2 模型适配性问题

不同种机电一体化设备,结构与运行工况的差别十分明显,现有的 AI 预测模型在通用性上存在短板,筹备针对特定设备的准确、稳妥的故障预测模型,应全面考量设备特质与运行条件,要提高模型适配性以及泛化的能力。

## 3.3 技术集成与人才短缺

AI 驱动下的远程监控跟预测性维护技术关涉传感器技术手段、通信技术手段、AI 算法流程、数据处理等多领域知识汇合,企业实施技术集成时面临系统兼容性、数据交互等方面难题,还存在既懂设备运维又熟知 AI 技术的复合型人才缺失情况,掣肘了技术的推广。

# 4 AI 驱动的远程监控与预测性维护技术原理与实现

## 4.1 数据采集与传输

以各种传感器达成机电一体化设备运行数据的实时采集任务,振动传感器可监测设备振动态势,温度传感器能获得关键部件温度资讯,采用物联网(IoT)方面技术,依托无线性质的网络(如 5G、LoRa 等),将采集的数据可靠且高效地传输至数据中心或者云端服务器上,构建起设备运行数据的资源集合<sup>[1]</sup>。

## 4.2 实时状态监控

基于 AI 所采用的图像识别和数据分析相关技术,把传输数据进行实时的处理,采用机器学习算法建造设备正常运行状态的模型,把实时得来的数据同模型做对比衡量,即刻识别设备运行异常情形,采用可视化方法,以直观的图表、

图形形式展现设备运行参数及状态,完成设备运行状态即时监控及预警。

## 4.3 故障预测模型构建

采用深度学习的算法途径,诸如卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其衍生的 LSTM、GRU 等类型,凭借设备运行数据创建故障预测模型,经对历史故障数据与正常运行数据开展学习训练,探索数据特征跟故障之间的潜在联系,实现设备故障的前期预判,采用强化学习方面的算法,按照设备实际运行反馈不断调校模型参数,增强预测精准度。

## 4.4 维护决策支持

依照故障预测产出的结果,参考设备运行的历史情形、维护成本等要点,采用 AI 算法产生最佳维护决策方案,如界定最优的维护时间、维护途径以及所需的零部件等,向设备维护人员给予科学决策凭据,实现从故障诊断直至维护执行整个流程的智能管控<sup>[2]</sup>。

## 4.5 边缘计算与云端协同架构

应对工业现场数据传输延迟、带宽瓶颈的挑战,AI 带动的监控维护系统采取“边缘计算与云端协同”的分层架构形式,边缘层铺排工业级边缘服务器,结合数据预加工模块与轻量级 AI 推理机体,能够针对振动、温度这类高频实时数据开展本地特征提取与异常预警工作,就风电设备监控情形而言,边缘节点实时对齿轮箱振动信号时频域特征做分析,可快速甄别齿轮磨损早期的异常情形,杜绝原始数据全量上传到云端引发的延迟困境。

云端平台将重点放在长周期趋势分析及模型的迭代改进,借助接收边缘节点所上传的特征向量数据,采用分布式运算框架搭建起全局设备健康模型,当边缘节点探查到异常走势,云端立即触发深度诊断工序,进行历史运行数据跟同类设备故障案例关联研判,达成“边缘即时响应+云端深度决策”的协同体系。

# 5 技术实践优化策略

## 5.1 数据处理优化

进行高效数据清洗算法探究,消除数据里的干扰与离群值;采用数据交融技术,开展多源异构数据的有机聚合,挖掘更具典型意义特征参数,采用迁移学习等举措,借助相似设备数据增大样本规模,应对数据不足困境,增进数据处理质与效,实际执行操作的时段,就机电一体化设备产生的高频振动数据而言,可采用小波变换算法对数据进行降噪,依靠将信号分解之后再重构的办法,有效剔除白噪声与周期性的干扰项,保留体现设备运行情形的核心要素,就温度、电流、电压等数值数据而言,可利用基于统计学的  $3\sigma$  章程或孤立森林算法去实施,判别并剔除异常值点。

关于数据融合这一范畴,采用特征级别的融合手段,在将不同传感器采集原始数据做预处理后,对各自特征向量实施提取,继而采用主成分分析(PCA)、线性判别分析(LDA)等降维方法,去掉冗余资讯,造就融合后的特征矩阵,以采

用数控系统的机床为例,能把振动传感器所采振动频率特征、电流传感器的负载电流特征与温度传感器的温升特征相融合,构建起多维度特征的空间,更周全地展现设备运转情形。

迁移学习应用可撕开数据壁垒防线,若目标设备缺少充足故障数据,能从相近设备的海量数据里实现知识的迁移,处于不同型号却功能相仿的风机设备间,运用预先训练好的深度神经网络模型,采用微调网络参数之举,把源设备的故障诊断知识转嫁到目标设备,减轻对目标设备大量标注数据的倚赖,增强模型训练效能与泛化水平,建立起数据质量评定体系,按一定周期对采集数据的完备性、精确性、一致性进行评估,实现数据处理可靠的效果<sup>[3]</sup>。

## 5.2 模型优化与改进

就多种类型机电一体化器械而言,生成独特化故障预测模块,凭借模型聚合、参数改良等途径,提升模型的适配状态与泛化实力,按既定周期对模型实施评估与更新,凭借新的运行数据及故障案例优化模型构造与算法,保障模型预测的精准度,在模型搭建操作期间,周全考虑设备结构特征、运行工况及故障形态,就旋转运行的机械设备而言,不妨采用基于 LSTM 的时间序列剖析模型,获取设备振动信号随时间递变的动态特性;就往复运动类设备而言,借助卷积神经网络(CNN)挖掘其运动进程中的空间特性,实现故障的精细辨认。

提升模型性能,参数优化这一环节很关键,采用诸如遗传算法、粒子群优化(PSO)的智能优化算法,实施针对深度学习模型超参数的全局查找与优化操作,以神经网络学习率、隐藏层节点数、迭代次数等参数作为需优化的对象,依托对生物进化、群体智能行为的模拟实现,找出最契合的参数组合,加快模型在训练时收敛的进程,减小过拟合问题出现的几率,搭建模型动态革新体制,若设备运行环境发生改变,同时新数据积累到一定数量,自行触发模型重新训练进程,及时把新的故障特征以及运行规律引入模型,保障模型契合设备状态的动态转变。

## 5.3 系统集成与人才培养

推进 AI 技术跟设备监控维护系统集成,解决系统兼容和数据交互相关难题,构建聚合式远程监测与预估性维护平台,就系统集成层面而言,采用数据接口的标准化协议,类似 OPC UA、MQTT 等实例,达成不同厂家装置、传感器跟监控平台的数据无间隙连通。搭建一体化数据中台,完成多源异构数据的标准化处理然后进行存储,为 AI 算法输送合规的数据输入源,依靠微服务架构设计出监控平台,把数据采集、分析、展示等功能模块进行拆分处理,增进系统的可拓展性及维护便捷性,依靠容器化技术(Docker)部署 AI 模型和相关应用服务,做到便捷部署及弹性扩展,符合不同规模企业应用期望<sup>[4]</sup>。

人才造就乃技术实践的核心依托,企业应谋划多梯度的人才培育计划,针对技术、运维、管理三类人员实施差异化培训,就技术人员而言,实施深度学习、机器学习算法、数据分析等专业课程集训,倡导参与 AI 技术研发类项目,

增进其算法编写及模型优化本领;面对运维一线人员,实施设备智能监控系统操作及故障应急处理相关实践培训,让其可以熟练凭借远程监控平台对设备进行日常巡检与简单故障排查;针对管理相关人员,实施工业智能化观念、AI 技术应用战略谋划方面培训,强化其对技术趋势的洞察与决策能力。

## 6 未来发展趋势展望

### 6.1 技术融合深化

AI 技术将同边缘计算、数字孪生等技术达成深度耦合,边缘计算可实现数据在本地的快捷处理,降低数据传输的压力与延迟;数字孪生技术可实现设备虚拟模型的构建,实时仿现设备运行情形,进一步增进远程监控及预测性维护的精准度与效率<sup>[5]</sup>。

### 6.2 自主化与智能化升级

由 AI 赋能的设备监控维护体系会朝着更高级的自主、智能方向演进,系统呈现更强大的自主学习与决策水平,可按照设备运行环境、工况的改变态势,自动调整监控策略与预测模型,实现设备整个生命周期的智能管理模式。

### 6.3 行业应用拓展

由目前主要应用的制造业、能源电力等领域起,渐趋向更多行业拓展延伸,宛如在交通运输、医疗装备、智能家居等区域普遍采用,引领各行业设备管理模式走向智能化变革,实现更巨大的经济社会效能。

## 7 结论

由 AI 赋能的机电一体化设备远程监测与预见性维护技术,给设备管理带来变革性改变,即便目前在技术运用进程中面临大量挑战,只是经不断革新数据加工、模型搭建、系统集成等维度,该技术已凸显出明显长处,伴随技术持续发展及融合创新的步伐,未来在增强设备可靠性能、削减运维成本消耗、推动工业智能化进程推进时发挥更关键效能,企业可积极探索并引入该技术体系,推进设备管理模式焕新,增强自身在市场的竞争砝码,为推动工业高质量发展奠定可靠根基。

## 参考文献

- [1] 范梅林.机电一体化设备故障智能诊断技术探讨[J].模具制造,2024,24(12):230-232.DOI:10.13596/j.cnki.44-1542/th.2024.12.076.
- [2] 林振格.机电一体化设备安全管理和预防维护措施分析[J].造纸装备及材料,2024,53(11):46-48.
- [3] 杜启鑫,李博,靳凯峰,等.机电一体化设备的故障诊断与维护策略[J].高科技与产业化,2024,30(07):14-15.
- [4] 张婧.基于PLC技术的机电一体化设备智能控制方法及效果分析[J].造纸装备及材料,2023,52(07):108-110.
- [5] 刘莉馨.智慧机电一体化在智能建筑中运用与探讨[J].智能建筑电气技术,2022,16(01):160-162.DOI:10.13857/j.cnki.cn11-5589/tu.2022.01.008.