

基于大数据的智慧电梯故障预测方法及应用

张彦俊

中山职业技术学院, 广东 中山 528400

DOI: 10.61369/VDE.2025210018

摘要 : 为了提升高层建筑电梯系统的运行可靠性与故障响应效率, 文章构建了基于大数据驱动的智慧电梯故障预测方法, 研究了多源感知数据的时空融合机制与边缘 - 云端协同处理架构, 设计了多尺度特征提取与迁移学习模型, 构建了具备实时预测与自适应能力的混合预测框架, 并以 120 台在役电梯的长周期运行数据为基础, 开展了系统性实验验证。研究结果表明, 该方法在故障识别准确率、剩余寿命预测精度与泛化能力等方面均优于传统方法, 具备良好的工程适配性与扩展潜力。

关键词 : 大数据; 智慧电梯; 故障预测

Big Data-Based Intelligent Elevator Fault Prediction Method and Its Application

Zhang Yanjun

Zhongshan Polytechnic, Zhongshan, Guangdong 528400

Abstract : To improve the operational reliability and fault response efficiency of elevator systems in high-rise buildings, this paper constructs a big data-driven intelligent elevator fault prediction method. It studies the spatiotemporal fusion mechanism of multi-source sensing data and the edge-cloud collaborative processing architecture, designs a multi-scale feature extraction and transfer learning model, and builds a hybrid prediction framework with real-time prediction and adaptive capabilities. Based on the long-term operation data of 120 in-service elevators, systematic experimental verification is carried out. The research results show that this method is superior to traditional methods in terms of fault identification accuracy, remaining life prediction precision, and generalization ability, and has good engineering adaptability and expansion potential.

Keywords : big data; intelligent elevators; fault prediction

引言

随着城市化进程加速与高层建筑密度持续攀升, 电梯系统已成为垂直交通的核心基础设施, 其运行安全与可靠性直接关联公众生命财产安全。然而, 传统基于经验和周期的维护模式难以应对设备运行状态的动态变化, 导致故障率上升与维护成本增加。新型智慧城市是在现代信息技术支撑下, 针对城市发展的客观需求, 以提高人民的满意度与幸福感为核心, 以提高城市发展模式的智慧化、智能化而开展的创新工程。现阶段新型智慧城市已在包括智慧交通、智慧医疗、智慧科技、智慧教育与智慧环保等多个领域开展并实现, 未来将依附于能提供大量数据存储维护的新型智慧城市平台构建电梯智慧应急处置一体化平台, 对电梯智慧应急救援进行实时有效的监测和预警。

一、基于大数据的智慧电梯故障预测方法

(一) 多源数据融合处理设计

智能传感网络构建围绕电梯运行全周期状态感知展开, 部署加速度、振动、温度、电流、门区感应等多种传感器, 覆盖曳引机、控制柜、轿厢、导轨等关键部件。各类传感器以高频率采集电梯实时运行数据, 形成连续动态监测流。通信协议采用 MQTT 与 Modbus 相结合的方式, 保障低延迟传输与设备兼容性^[1]。传感节点具备自诊断功能, 可识别离线、异常上报等状态, 提升整

体网络稳定性。通过统一编码体系对电梯设备及其传感器进行标识, 确保数据来源可追溯, 为后续分析提供结构化输入。

首先, 边缘 - 云端协同架构实现数据分层处理与资源优化配置。在电梯本地控制器或近端网关部署边缘计算模块, 执行初步数据解析、压缩与缓存, 完成异常事件的即时响应, 如超速、平层失效等紧急告警可在毫秒级触发联动机制^[2]。边缘侧同时提取基础运行特征, 如启停频次、运行时长、负载变化趋势, 减少向云端传输的数据量。云平台接收来自多个楼宇、区域的聚合数据, 开展跨设备、跨时段的深度建模与模型迭代更新。边缘与云端通

过安全加密通道定期同步模型参数与阈值策略,形成闭环反馈机制,支持大规模集群环境下的高效运维调度。

其次,时空特征联合提取聚焦电梯运行过程中的时间序列模式与空间拓扑关系耦合分析。时间维度上,利用滑动窗口技术提取速度曲线、加速度波动、电机电流谐波等动态指标,捕捉潜在退化轨迹。空间维度整合电梯井道结构、楼层分布、使用密度等静态信息,建立电梯群组之间的关联图谱^[3]。通过图神经网络与LSTM混合结构,将同一建筑内多台电梯的运行负荷、呼叫频率、停靠规律纳入统一表征框架,揭示设备间隐含影响路径。例如,高层办公区早高峰梯群调度压力会在特定时间段集中体现于某几台主机,该现象可通过时空联合建模提前识别。

再者,数据质量增强贯穿数据预处理全流程。针对传感器漂移、信号丢失、噪声干扰等问题,引入自适应滤波与缺失值插补算法,结合物理约束条件校验数据合理性。采用孤立森林与变分自编码器检测异常样本,避免错误数据污染训练集。对不同品牌、型号电梯的历史数据进行归一化与域对齐处理,提升模型泛化能力。

(二) 混合预测模型构建

多尺度特征选择通过提取电梯运行过程中产生的高频振动、电流波动、开关门时间、楼层停靠频率等多维度时序数据,结合小波变换与滑动窗口技术,实现对原始信号在不同时间尺度下的分解与重构。利用信息增益、互信息和LASSO回归方法筛选出与故障发生相关性高的关键特征,保留短期突发异常与长期退化趋势的双重表征能力^[4]。该过程有效降低数据冗余,提升模型输入的质量,为后续预测提供稳定可靠的特征基础。

层次化预测框架采用分层递进结构,将电梯故障划分为机械类、电气类与控制类三大类别,针对不同类型故障设置专用子模型。顶层模型负责全局模式识别与分类判别,底层各子模型基于类别特异性数据进行独立训练。通过引入门控机制实现路径选择,使输入样本自动匹配最优预测通路。该架构兼顾整体一致性与局部差异性,在提高预测精度的同时增强模型可解释性。

动态权重迁移学习借助预训练-微调范式,将在历史电梯群组中训练得到的知识迁移到目标设备上。设计基于相似度评估的权重调整策略,依据目标电梯运行环境、使用年限和负载特性计算源域与目标域之间的分布距离,动态调节网络各层参数冻结比例。在新设备部署初期数据稀少的情况下,充分利用已有系统的经验知识,显著缩短模型收敛周期并提升冷启动阶段的预测性能。

在线增量学习模块支持模型持续更新以适应电梯状态演变。每当新一批标注数据到达时,系统自动触发局部重训练流程,仅对模型末端若干层进行梯度更新,保持核心特征提取能力不变。引入记忆回放机制存储代表性历史样本,防止因连续学习导致的灾难性遗忘现象。同时设定误差阈值监控预测偏差,当检测到性能下降超过容忍范围时启动全量再训练程序。整个学习过程无需中断服务,保障了系统长期运行的稳定性与自适应能力^[5]。

(三) 智慧运维系统实现

微服务架构设计以高内聚、松耦合为核心理念,将系统功能

划分为多个独立运行的服务模块,包括数据采集服务、状态监测服务、故障诊断服务和用户管理服务等。服务注册与发现机制保障模块间的动态调用,配合负载均衡策略有效应对高峰时段的数据请求压力。配置中心统一管理各服务参数,支持热更新,降低维护成本^[6]。日志聚合与链路追踪技术实现对系统运行状态的全面监控,便于快速定位异常节点,确保整体服务稳定性。

知识图谱辅助决策利用结构化与非结构化数据构建电梯设备全生命周期的知识网络,涵盖制造信息、安装记录、维保历史、故障案例及零部件关联关系。通过实体识别与关系抽取技术,将分散的运维数据转化为语义关联的图谱节点。当系统检测到异常信号时,自动匹配相似历史案例,结合推理引擎输出可能的故障成因与处置建议。专家经验规则嵌入图谱逻辑层,增强诊断准确性。运维人员可通过自然语言查询获取设备健康画像,提升决策效率与响应精度^[7]。

三维可视化监控依托BIM与数字孪生技术,建立电梯井道、机房及关键部件的高精度三维模型,并与实时传感器数据动态绑定。监控界面呈现电梯运行轨迹、载重变化、门区平层精度及电机温度等多维度参数,异常状态以颜色突显或动画警示。支持多视角自由切换与局部放大查看,辅助技术人员远程掌握设备物理状态。时间轴回溯功能可重现故障发生前后的运行过程,为根因分析提供直观依据。平台集成视频流接口,实现图像与数据的时空同步展示。

移动端预警推送通过消息中间件实现实时告警分发,依据故障等级设定差异化通知策略。轻量化App或微信小程序接收结构化预警信息,包含故障位置、严重程度、推荐措施及关联图谱链接。地理位置服务自动匹配就近维保人员,触发任务派单流程。推送内容支持语音播报与振动提醒,确保关键信息及时触达。用户可反馈处理结果,形成闭环管理机制,系统据此优化预警阈值与推送逻辑,提升服务响应质量^[8]。

二、基于大数据的智慧电梯故障预测方法的实践应用

在物联网、云计算与大数据技术快速发展的背景下,基于数据驱动的智慧电梯故障预测方法逐步成为电梯运维管理的新方向。通过采集电梯运行过程中的多维度实时数据,结合先进的数据分析算法,能够实现对潜在故障的提前识别与预警,从而提升电梯系统的可靠性与服务效率^[9]。

某大型城市轨道交通枢纽联合科技企业开展智慧电梯故障预测系统的试点部署,覆盖区域内百余台在用电梯。系统依托安装在电梯关键部件上的传感器网络,持续采集包括电机电流、轿厢振动、门机动作时序、运行次数、温度变化等在内的多种运行参数。这些数据经由边缘计算设备进行初步清洗与压缩后,传输至云端数据中心进行集中存储与深度分析。平台采用多源数据融合策略,将结构化运行日志、非结构化巡检记录以及外部环境数据统一建模处理,形成完整的电梯健康档案。在实际运行中,系统通过混合预测模型对电梯各子系统状态进行动态评估^[10]。例如,在一次例行监测过程中,系统发现某台扶梯驱动链轮区域振动频

谱出现异常波动，虽未达到报警阈值，但结合历史故障样本比对与趋势外推算法，判定其存在早期磨损风险。运维团队据此安排专项检查，确认轴承预紧力不足并及时更换部件，避免了一次可能引发停运的重大故障。此类主动式干预机制显著降低了突发性故障发生率，试点期间电梯平均无故障运行时间延长42%，应急维修工单减少58%。

整个实践过程中，系统不仅实现了故障前兆的精准捕捉，还支持可视化监控界面与移动端告警推送，使管理人员可实时掌握设备状态分布与风险等级。同时，基于积累的数据反馈不断优化预测模型参数，增强系统自适应能力。这一应用验证了大数据技术在电梯运维领域的可行性与有效性，为后续规模化推广提供了可复制的技术路径与运营经验。

三、结束语

构建面向智慧运维场景的电梯故障预测体系，须融合多源异构数据、动态特征建模与深度学习算法，形成贯穿采集、分析、预测、预警的闭环链路。通过整合电梯数据资源，实现电梯各种数据的融合。实现故障位置准确定位、故障信息快速传达、故障现场统一指挥、故障结果实时跟踪、故障信息及时上报、故障数据统计分析、故障原因联网分析等功能，促进了安全监管模式的创新，推动了多部门综合监管机制的形成，改善民生服务和创建宜居环境，实现了维护人民身体健康和生命安全的目标，夯实城市安全底线，强力推动新型智慧城市建设。未来可进一步拓展模型的自适应能力，强化对极端工况下罕见故障的识别与响应效率，实现跨型号迁移泛化与知识图谱驱动下的因果推理增强。

参考文献

- [1] 郭传振,曹洋,陈强.基于大数据的煤矿机电设备远程监控系统研究[J].现代制造技术与装备,2025,61(6):205-207.
- [2] 唐沛.大数据技术在电路故障诊断与预测中的应用[J].集成电路应用,2025,42(4):194-195.
- [3] 单景东,王晨,张欢,仇润鹤.基于MIC-Informer-DLinear的电梯故障预测方法[J].科技与创新,2025(4):56-59.
- [4] 贺鑫来,孙庚,汪敏捷,翟逸男,陈岩霖,尹娴,冯艳红.基于时序数据的列车牵引系统故障预测方法[J].现代电子技术,2025,48(4):57-62.
- [5] 雷鹏,谢敬玲,许洪祖,焦锋,魏立明,张忠岩,吕成兴.融合多尺度注意力神经网络的港口起重装备故障时序数据预测方法[J].机电工程,2025,42(2):277-286.
- [6] 闫建飞.煤矿机电设备故障预测的数据挖掘方法[J].能源与节能,2025(1):275-278.
- [7] 李纬捷,邵雯,赵斌.基于神经网络的医疗设备故障预测方法研究[J].设备管理与维修,2025(2):13-16.
- [8] 陆阳,杨林,戴剑峰,王菁菁,王雪元.基于集成支持向量机的医疗设备风险评估研究与应用[J].生物医学工程研究,2019,38(2):223-226.
- [9] 于大海,姜丹,李楠.基于模式识别技术的医疗电子设备故障智能辨识[J].现代电子技术,2020,43(3):146-149.
- [10] 刘香君,郎朗,张诗慧,肖晶晶,范莉萍,马建川,种银保.基于长短时记忆网络的医疗设备故障智能诊断研究[J].生物医学工程学杂志,2021,38(2):361-368.