

物联网技术在电梯领域的应用

吴 伟

上海定山信息技术有限公司 上海 200436

摘 要: 随着既有多层建筑加装电梯数量的不断增加, 电梯运行安全监控与故障预测的重要性日益凸显, 针对传统监控方法在准确性与实时性方面存在的不足, 通过引入物联网技术构建了一套完整的电梯监控与预测系统, 该系统采用分布式传感器网络实时采集电梯运行数据, 结合云平台进行智能分析与故障预测, 实现了对电梯运行状态的全方位监控, 基于物联网技术的监控系统在数据采集精度与传输效率及预测准确性等方面均优于传统方法, 可为电梯安全运行提供有力保障。

关键词: 物联网技术; 电梯监控; 故障预测; 运行安全

引言

电梯作为现代多层、高层建筑的重要垂直运输工具, 其运行安全直接关系到乘客的生命财产安全, 随着智能建筑的快速发展, 电梯设备数量激增, 传统的人工巡检与单一传感器监控方式已难以满足日益增长的安全管理需求。物联网技术的出现为电梯安全监控提供了新的技术路径, 通过构建完整的数据采集与传输及分析体系, 可实现电梯运行状态的实时监测及故障预警, 物联网技术在电梯领域的深入应用, 不仅能提高监控的准确性与实时性, 还可通过数据分析实现预测性维护, 从根本上保障电梯运行安全。

一、电梯监控系统组成

(一) 数据采集设备

速度信号采集部分使用高精度霍尔编码器构建数据输入路径, 编码器以感应电梯曳引轮转动角速度实时输出电梯垂直运行速度来确保速度曲线连续完整可满足高速变化情况下的动态响应要求。载重信号采集部分由应变式称重传感器实现, 其工作原理基于应力应变转换关系将轿厢受力状态转化为标准电信号并输出至控制系统以支持超载判断与调度优化逻辑。门状态采集部分依托磁性开关结构进行开闭状态及门锁闭合情况的实时检测, 采样周期短、触发灵敏度高能准确反映电梯门操作的物理状态。振动状态监测部分由高灵敏度三轴加速度传感器完成, 其采样轴向覆盖X、Y、Z三个方向可全面感知轿厢运行过程中的机械扰动与导轨耦合震动特征对早期结构故障具有良好的识别能力。

(二) 网络传输模块

电梯监控系统的网络传输采用分层架构设计, 包括现场总线层与网络交换层及云端传输层, 现场总线层连接各类传感器及控制器, 支持实时数据采集与设备控制, 网络交换层确保关键数据优先传输, 云端传输层具备断点续传与数据压缩功能, 可有效降低网络带宽占用^[1]。系统配备双链路备份机制, 当主用网络发生故障时, 可自动切换到备用4G网络, 保证数据传输的连续性, 网络设备均采用工业级产品, 工作温度范围-40℃~85℃, 支持7×24小时持续运行。电梯监控系统网络传输模块的结构特点可构建一个网络带宽占用率估算公式, 以评估系统在正常与故障备份模式下的数据传输效率并为网络优化设计提供量化依据。

$$B_u = \frac{(D_s \times N_s + D_v \times N_v) \times (1 - R_c)}{T \times B_t} \times 100\%$$

其中 B_u 网络带宽占用率(%), D_s 每个传感器上传的数据量(单位: MB/次), 设定为0.1 MB, N_s 传感器数量, 设定为50个, D_v 每路视频上传的数据量(单位: MB/秒), 设定为1 MB/s, N_v 视频通道数量, 设定为4路, R_c 数据压缩比率(无单位), 云端压缩率设定为0.4, T 评估时段(单位: 秒), 设定为60秒, B_t 总网络带宽(单位: MB/秒), 设定为20 MB/s, 则 $B_u \approx 12.25\%$ 结果表明了启用压缩后的系统网络带宽占用约为12.25%和远低于50%的安全控制阈值。系统在主链路故障和切换到4G备网情况下依然具备良好的传输稳定性和冗余保障能力, 符合高可用性要求。

(三) 监控中心功能

监控中心功能建设以B/S架构为基础部署于具备双

机热备机制的高可靠性服务器环境中，保证了在主服务器出现故障时可实现业务的无缝切换和持续稳定运行。系统内部结构采用微服务架构设计具备良好的模块解耦能力和弹性扩展能力，各功能模块以服务化接口独立来运行便于系统维护和功能迭代更新。数据库系统基于分布式设计理念构建具备较强的数据容错能力与扩展性能，支持海量监控数据的高效存储与调用管理同时设有自动分级存储与周期性备份机制，保障数据长期可靠保存。监控界面采用响应式设计技术开发能够适配不同终端设备，实现在PC端和移动端的统一访问体验。

二、电梯运行状态监测方法

(一) 运行参数采集

电梯运行参数采集模块在系统架构中承担着核心数据支撑任务依托多维度同步采集技术对关键运行状态进行持续跟踪与精准感知。系统持续获取速度信息与位置信息，并结合时间轴进行轨迹映射与运行稳定性判断在轿厢启动和及停靠等过程中形成高精度轨迹模型。载重信息基于高灵敏度重量感应元件获取结合阈值比对策略构建状态识别模型，用于判断轿厢处于空载、轻载或超载等不同工况和触发相应安全机制^[1]。门状态采集模块实时获取轿厢门体开启与闭合作过程中的触发信号辅助判断开门是否到位和闭门是否锁定。振动参数通过高速模数转换通道以2kHz频率采样，并结合历史振动模型计算轿厢运行稳定性水平与导轨磨损状态。电气参数采样周期精确控制为20ms会在不影响实时性的基础上构建完整电气特征序列和辅助判断驱动系统及制动模块的工作状态。

(二) 数据处理分析

数据处理分析模块构建由实时流处理与离线批处理协同驱动的数据分析体系。实时流处理部分基于Apache Flink框架构建高并发低延迟的数据计算管道，传感器上传的数据在进入系统的第一时间便被接入实时分析引擎以设定各类运行参数的动态阈值模型来快速判断是否存在偏离正常工况的异常波动。趋势变化以增量计算方式实时更新状态标签来完成对关键运行状态的快速识别。振动数据在进入处理模块后行经过特征提取算法进行参数重构和处理结果输入预训练的机器学习模型识别典型异常模式，对可能存在的冲击或导轨干涉等问题发出早期预警信号。历史数据则进入批处理通道以高性能存储与分布式计算资源完成对故障模式的深层挖掘与运行性能的结构性评估来进一步构建关键部件的寿命预测模型

与健康状态趋势曲线。

(三) 监控界面设计

监控界面以Vue.js前端开发框架为基础构建和整体设计遵循模块化原则，各功能区域逻辑清晰和布局合理能够满足多维度运行数据的可视化管理需求。实时监控功能作为系统核心部分集成各类运行参数的动态展示，实时渲染电梯当前的速度和振动等指标，页面响应速度快和刷新频率高来适配多种终端分辨率环境。界面支持多台电梯信息同屏展示可根据编号或楼宇位置快速切换查看指定电梯状态^[2]。所有数据显示均经过视觉优化处理使信息层级清晰和重点突出。报警信息以弹窗与声光信号形式进行高优先级提示来确保运维人员在第一时间内获取关键故障信息。

统计分析功能模块集成图表引擎和支持多类型图表展示方式能够以折线图、柱状图等形式直观呈现各类运行数据变化趋势，为故障预判与性能评估提供可量化支持。维保管理功能具备数据录入、周期设定与操作记录功能，维护记录按时间轴分类储存可一键导出Excel格式报表和支持打印与归档。

三、故障预测系统及实验

(一) 预测模型设计

故障预测模型构建以提高系统运行可靠性与提前干预能力为目标，整体算法架构融合深度学习与传统机器学习技术来形成多层次协同的预测分析体系。模型核心由LSTM神经网络与随机森林分类器构成，前者基于长短期记忆机制构建时序数据的动态特征映射能力针对电梯运行过程中的速度、振动、电流等关键参数序列，提取其变化趋势与潜在模式来用于判断设备运行健康状态是否存在异常趋势。后者通过构建基于多决策树的集成分类器对从原始数据中提取的时域与频域特征进行非线性映射与特征交互，完成对已识别为异常的设备的故障类型判定任务。

模型训练数据来源于历时采集的运行与故障数据集的总体数据量超过10TB，数据覆盖正常运行、轻微异和严重故障等多种工况状态，训练过程中采用多轮交叉验证与数据清洗策略提升模型鲁棒性。预测过程采用分层策略将设备健康预测与故障类型识别相互解耦能完成设备是否存在潜在异常的趋势预测和针对已识别目标启动类型识别过程来避免误判误报^[3]。系统支持在线学习机制的模型训练结果在部署后可接收新增运行数据进行增量更新，保持在复杂环境下的预测精度与泛化能力。预

测结果输出模块集成可解释性算法框架针对每一项预测结果自动识别关键影响因子并进行可视化呈现，使运维人员能够直观理解预测依据与参数权重分布和增强预测结果的可信度与可操作性。

(二) 系统性能测试

系统性能测试工作围绕实际使用环境中的关键性能指标展开，测试对象为本市徐汇区公司辖属的10座多层建筑中的10台在役电梯和测试周期设定为9个月以完整覆盖各类运行工况与季节性环境变化因素。测试内容覆盖数据采集可靠性、网络传输稳定性、故障预测准确性等核心性能维度，测试过程中所有运行数据实时接入系统主控平台并同步存储以供分析验证。数据采集可靠性测试结果显示系统在长期运行过程中传感器采集成功率保持在99.9%以上，关键参数如速度、载重、振动等采集信号无明显中断，数据上传时延稳定控制在100毫秒以内，满足高实时性要求。

网络传输测试通过模拟不同网络负载场景对系统运行稳定性进行检验，系统整体在单台电梯数据流量峰值达到50MB/s时仍保持正常通信与数据完整性和无丢包或阻塞现象。预测准确性测试聚焦于常见故障类型构建实际发生的门系统异常、速度漂移与振动异常等场景对比模型预测结果，评估结果显示系统对上述故障的平均提前预警时间达24小时和预测准确率稳定在95%以上表现出较强的前瞻性与可靠性。主网链路中断时的终端设备可启动本地存储策略，自动记录全部采集数据并在网络恢复后统一补传至平台中心，系统运行稳定性未受明显影响和充分体现其在复杂环境下的鲁棒性与容错能力，表1展示了电梯监控系统性能测试结果。

表1 电梯监控系统性能测试结果

测试项目	测试指标	测试结果	测试条件
数据采集 可靠性	采集成功率	99.9%	正常运行环境
	数据时延	≤ 100ms	全负载工况
网络传输 性能	最大传输负载	50MB/s	单台电梯
	网络稳定性	正常运行	中、高负载条件
故障预测 能力	预测提前量	24小时	常见故障类型
	预测准确率	≥ 95%	门系统故障，速度异常， 振动异常等
测试规模	测试电梯数量	10台	分布于10座多层建筑
	测试周期	9个月	连续运行监测

(三) 结果分析与验证

系统运行结果通过对比分析与实地验证两种方式进行评估，对比分析选取传统监控方法作为参照，从监控精度与响应时间及预测准确性等维度进行量化比较，数据显示，基于物联网技术的新系统在监控精度上提升了30%，响应时间缩短50%，预测准确率提高20%。实地验证选取典型故障案例进行分析，若某部电梯的对重装置突发故障，依据系统所采集的邻近区域电梯数据参数，可以掌握维保人员目前的工作位置分布以及大致的工作进度，从而及时调整人员配置，迅速派遣至现场排除故障，大幅提升响应时效。同时，系统远程监测到故障后，综合电梯故障前运行期间出现的速度异常、非正常振动等特征参数，预测出钢带运行异常，从而有效缩短维护人员在故障排查与检修环节所需的时间，有效提升设备运行效率。经设备运行效益测算，该预判使设备停运时长平均缩减16.8%。

结语

物联网技术在电梯领域的应用开启了智能监控的新阶段，通过构建完整体系，实现了对电梯运行状态的全方位监控与故障预警，该技术方案在监控精度与系统实时性及预测准确率等方面均具有显著优势。随着物联网技术的持续发展，基于大数据分析的人工智能的智能化监控将成为未来发展趋势，这不仅能进一步提升监控效率，还能实现电梯的预测性维护，未来研究将重点关注多源异构数据的深度融合与智能算法的优化，进一步提升系统的智能化水平。

参考文献

- [1] 王志鹏. 人工智能在电梯行业中的应用[J]. 装备制造技术, 2024, (05): 108-112.
- [2] 夏静怡, 庄博凯, 来源. 未来城市智能技术促进多领域协同效益研究[J]. 城市与区域规划研究, 2024, 16(01): 15-29.
- [3] 代天航. 电梯按需维保系统建模与算法研究[D]. 杭州电子科技大学, 2024.