

[电梯维保系统]

基于物联网的电梯故障预测维保系统设计与实现

文/朱文豪

深圳市特发口岸服务有限公司

针对电梯故障预测与维保需求进行深入分析，提出基于物联网技术的电梯故障预测维保系统。该系统通过集成传感器、数据分析，对电梯运行状态实时监控、故障预警。研究表明，该系统能有效提高电梯运维的智能化水平，确保乘客安全，解决传统电梯维保中存在问题。

现代社会，电梯为人们日常生活提供便利，但电梯在长久的使用过程中会出现各种故障，轻则影响人们出行效率，重则危及乘客生命安全。如何有效监控电梯运行状态，预测并及时处理潜在故障，是当前需要解决的问题。传统电梯维保模式主要依赖人工检查进行维护，这种模式存在一定局限性，无法实时监测电梯运行状态，对出现的障碍不能及时处理，错过电梯故障最佳预防时机，增加维修成本。随着电梯数量逐渐增加，传统维保模式难以满足市场需求。为解决上述问题，利用物联网通过传感器、通信网络和数据处理平台，对电梯数据实施监测，收集电梯运行数据，对潜在故障进行预测，保证电梯安全，减少电梯出现故障次数，保证乘坐人员安全。

基于物联网的电梯故障预测维保系统设计

1. 系统架构

系统架构设计是实现电梯故障预测维保系统的关键，系统分为三层：物联网电梯传感层、物联网电梯网络层和物联网电梯应用层，每一层都承担着不同功能，共同协作对电梯运行状态进行实时监控。

传感层是系统最底层，负责数据采集，该层包

含各种传感器，如电压信号采集、电流信号采集、位置信号采集和温度信号采集传感器。传感器实时监测电梯运行参数，为后续分析提供原始数据，如电压信号采集可以监测电梯电源回路状态，温度信号采集可以监测电梯机房和一体机的温度，防止过热导致的故障。

网络层负责数据传输，LoRa是低功耗远程无线通信技术，与传统FSK、OOK调制技术相比，LoRa扩大无线通信链路覆盖范围，实现远距离无线传输，传感器收集的数据通过LoRa技术传输到云端服务器进行进一步处理分析，确保数据准确性，为故障预测提供数据支持。

应用层负责处理数据，对故障进行预测，应用层分析传感层收集数据，识别出潜在故障模式，并预测可能发生的故障，如通过机器学习算法对历史故障数据进行训练，建立模型来预测电梯的故障概率，数据流程图如图1所示。

在图1中传感器首先在传感层收集数据，然后通过网络层传输到应用层，在应用层数据经过处理和分析后，系统生成故障预测结果，并将这些结果发送到维保部门，维保部门根据这些信息制定维护指令，修复潜在的故障，确保电梯的安全运行，与传统维护方法对比，物联网技术在电梯故障响应数据

见表1。

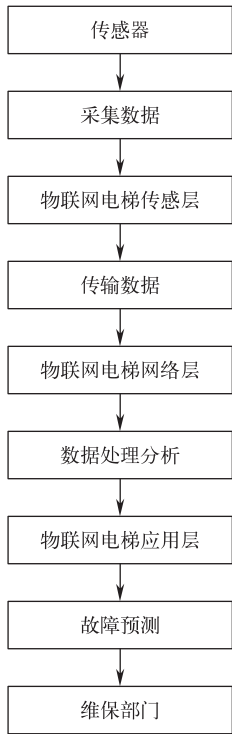


图1 系统架构流程图

表1 传统维护方法和物联网技术对比数据

指标	传统维护方法	物联网技术应用
故障检测时间/h	>48	实时监测
故障诊断准确率 (%)	70	95
故障响应时间/h	6	2
年均停机时间/h	5	5

2. 数据采集模块

(1) 电压信号采集

电压信号采集模块负责监测电梯电源回路的状态。通过实时监测电压变化，预测电源系统可能出现的故障，电梯电源的标准电压为220 V，电压信号 $V(t)$ 表示为

$$V(t)=200\sin(2\pi 50t+\varphi)$$
 (1)

式中， t 为时间； φ 为相位角。

(2) 电流信号采集

电流信号采集模块监测电梯电机的电流消耗，通过分析电流信号，识别电机是否过载或存在其他电气问题，电机满载电流为10 A，电流信号 $I(t)$ 表示为

$$I(t)=10\cos(2\pi 50t+\theta)$$
 (2)

式中， t 为时间； θ 为相位角。

(3) 位置信号采集

位置信号采集模块通过编码器等传感器监测电梯轿厢的位置，电梯静止时的初始位置 P_0 为0 m，速度 $v(t)$ 为1 m/s，位置信号 $P(t)$ 表示为

$$P(t)=0+1t$$
 (3)

(4) 曳引机架振动信号采集

曳引机架振动信号采集模块监测曳引机的振动情况，振幅 A 为0.05 m，角频率 w 为100 rad/s，振动信号 $Vv(t)$ 表示为

$$Vv(t)=0.05\sin(100t+\alpha)$$
 (4)

式中， t 为时间； α 是相位角。

(5) 曳引绳漏磁信号采集

曳引绳漏磁信号采集模块监测曳引绳的漏磁情况，初始漏磁值 M_0 为0.1 T，衰减系数为0.01/s，漏磁信号 $M(t)$ 表示为

$$M(t)=0.01\times e^{-0.01t}$$
 (5)

(6) 温度信号采集

温度信号采集模块监测电梯机房和一体机温度，环境温度 T_a 为25 ℃，电压为230 V，温度系数 β 为0.1，温度信号 $T(t)$ 表示为

$$T(t)=25+0.1(220-230)$$
 (6)

信号通过LoRa通信技术进行数据信号连接，为后续数据分析和故障预测提供原始数据，数据通过网络层传输到应用层，进行进一步处理和分析。

3. 故障预测模型

构建物联网电梯故障预测维保系统时，需要采集的数据见表2。

表2 模型基本数据

数据类别	数据内容	具体数据
电梯控制系统数据	运行状态	正常、检修、故障
	故障代码	代码E1表示门机故障
传感器芯片数据	电梯速度/(m/s)	1.2
	载重/kg	800
	位置	5楼
	温度	25 ℃
维护保养记录	历史故障数据	2024-1-11，故障类型：控制系统故障
	维护记录	2024-1-1，维护内容：更换制动器

数据通过各种传感器实时采集，通过物联网技术传输到云端数据库中，而后进行预处理。使用滤波器去除传感器数据中的高频噪声，采用非结构化数据转换，将电梯维护记录的文本描述转换为结构

化的数据库条目，将温度等数据缩放到[0, 1]区间内。决策树模型构建具体步骤为：有1 000条电梯故障数据，按照80:20比例划分，训练集为800条，测试集为200条，使用GBDT模型，以CART决策树为基学习器，训练模型识别不同故障类型，学习率0.1，树的数量100，树深度6，使用网格搜索调整上述参数，并通过5折交叉验证评估模型性能，通过上述步骤构建电梯故障预测模型，为电梯故障提前预防提供科学依据。

基于物联网电梯故障预测维保系统实例分析

1. 数据采集与处理

电梯故障预测维保系统中，数据采集是第一步，在电梯中安装传感器实时监测，收集速度、负载和门开闭情况等数据，电梯在一天内的部分数据见表3。

表3 电梯部分数据

时间段	速度 (m/s)	负载/kg	门状态	温度/℃	振动/G
08:00-09:00	1.5	1200	开-关-开	22	0.3
09:00-10:00	1.2	800	关-开-关	24	0.2
10:00-11:00	1.0	600	开-关-开	26	0.4

这些数据随后被传输到中央处理系统，将非结构化数据转换为结构化数据，使用Python进行数据转换。

2. 故障预测算法

在完成数据预处理后，使用机器学习算法进行故障预测，选择决策树算法作为故障预测模型，为使用决策树进行故障预测，准备训练集和测试集，将数据拆分为特征和标签，特征包括速度、负载、门状态、温度和振动，标签则是电梯是否发生故障状态。使用训练集训练决策树模型，利用测试集进行模型评估。

3. 评估模型

通过在电梯关键部位安装传感器，系统以每秒数次频率获取数据，在一个月的监测周期内，系统记录某电梯运行数据：平均运行速度1.5 m/s，载重变化范围100~800 kg，温度监测电机温度在正常范围内，小于70 ℃，振动频率低于0.5 g，这些数据通过分析可以及时发现电梯的异常状态，如当振动频率超过0.7 g时，系统会自动标记为“异常”，并进入故障告警流程。

故障告警模块利用机器学习算法，基于实时数

据和历史故障记录，自动识别潜在故障，在应用该模块后，监测到以下警报数据：

故障告警次数：在三个月内共计发出15次故障告警。

实际故障发生率：15次告警中，实际故障发生率为80%，即12次告警后确实出现故障。

表明系统在故障识别方面具有较高的准确率，能够有效减少误报，提高维护人员的响应效率。故障预测模块结合历史数据与实时数据，统计学模型和机器学习技术，实时预测电梯的故障概率，系统通过分析电梯的历史故障记录和当前运行状态，计算出故障发生的可能性，并生成维护建议，经过数据分析，系统故障预测准确率：90%；平均提前预警时间：2周，在故障发生前2周发出警报；维护建议执行率：95%。通过这些数据，系统能够帮助维保人员提前做好准备，减少突发故障造成的经济损失和用户不便。

4. 研究成效

通过部署测试，基于物联网的电梯智能运维系统可提高电梯故障预测准确性，降低因故障导致的停运时间。系统实施后，电梯故障导致的平均停运时间从5 h减少至1 h，减少80%的停运时间。通过预测性维护，维护成本降低25%。维护人员无需处理突发故障，能够更有效地安排维护工作。通过减少故障发生率，用户满意度提高15%，用户反馈积极，表示电梯的安全性得到改善。

结束语

电梯作为重要垂直交通工具，其安全性直接影响着人们日常生活。基于物联网设计电梯故障预测维保系统，为电梯安全运行提供保障。通过系统架构实现数据采集、故障预测和维保管理数据的无缝衔接，数据采集模块通过实时监测电梯的运行状态，确保各项性能指标的准确反馈，为故障预测模型提供数据基础。故障预测模型则利用算法分析历史数据和实时数据，及时识别潜在故障，提高预测准确性。实例分析部分展示系统在实际应用中的成功实施，通过对数据的有效采集与处理，以及故障预测算法的精确应用，系统降低故障发生率，减少维护成本。EA

(收稿日期：2024-12-13)