

基于物联网的公路机电设备智能运维管理系统研究

行志强

云南航天工程物探测股份有限公司 云南省昆明市 650217

摘 要: 本论文针对公路机电设备传统运维管理中存在的效率低、成本高、故障预判能力弱等问题,深入研究基于物联网的公路机电设备智能运维管理系统。通过分析物联网技术在公路机电设备运维中的应用需求,设计了涵盖感知层、网络层和应用层的系统架构,详细阐述了设备实时监控、故障诊断预警、运维决策支持等功能模块的实现原理与技术方法。研究表明,基于物联网的智能运维管理系统能够有效提升公路机电设备运维管理的智能化水平和工作效率,降低运维成本,为保障公路机电设备稳定运行提供了有力支持。

关键词: 物联网;公路机电设备;智能运维;管理系统;故障诊断

公路作为国家重要的基础设施,对经济发展和社会交流起着关键作用。公路机电设备是保障公路安全、高效运行的重要支撑,包括监控设备、通信设备、收费设备、照明设备等。然而,随着公路里程的不断增加和机电设备数量的日益庞大,传统的人工巡检和定期维护的运维管理模式暴露出诸多弊端。人工巡检存在效率低、主观性强、漏检率高等问题,难以实现对设备运行状态的全面、实时监控;定期维护缺乏针对性,导致运维成本增加,且无法及时发现和处理潜在故障。物联网(Internet of Things, IoT)作为新一代信息技术,通过各种感知设备将物理世界中的物体连接到互联网,实现物与物、物与人之间的信息交互和智能控制。将物联网技术应用于公路机电设备运维管理,能够实现设备运行数据的实时采集、传输和分析,为设备状态监测、故障诊断和运维决策提供数据支持,从而提高运维管理的智能化水平和效率,降低运维成本。因此,开展基于物联网的公路机电设备智能运维管理系统研究具有重要的理论意义和实际应用价值。

1. 物联网技术在公路机电设备运维中的应用需求分析

1.1 设备运行状态实时感知需求

公路机电设备广泛分布于路网各处,从高速公路主线到互通立交,从服务区到收费站,数量庞大且类型复杂。以监控摄像头为例,不仅要实时获取其工作电压、温度,防止因电压不稳或过热导致设备损坏,图像质量参数更是关键,包括分辨率、帧率、色彩还原度等,这些直接影响到对公路路况的监控效果^[1]。通信设备的信号强度和误码率监测关乎整

个公路通信网络的畅通,一旦信号强度下降或误码率升高,可能导致监控数据、收费信息等无法正常传输。收费设备的交易处理速度决定了车辆通过收费站的效率,现金模块状态则涉及资金安全与交易准确性。物联网技术通过部署多样化的感知设备实现精准监测,如采用高精度电压传感器监测设备电压波动,利用红外温度传感器非接触式检测设备温度,借助图像识别技术分析监控摄像头的图像质量。RFID 标签为每台设备赋予唯一身份标识,便于在海量设备中快速定位与管理,采集到的多维数据为后续的设备状态评估、故障分析等提供了详实的数据基础。

1.2 数据高效传输与处理需求

公路机电设备在运行过程中会持续产生海量数据,以一条长 100 公里的高速公路为例,其上分布的各类监控摄像头、传感器等设备每小时产生的数据量可达数 GB 甚至更多。这些数据不仅要及时传输到运维管理中心,还需保证数据的准确性和完整性。传统的通信方式,如串口通信、以太网有线通信等,在面对长距离、复杂地形以及设备分散部署的场景时,传输效率和稳定性难以满足需求。物联网中的无线传感器网络能够实现设备之间的自组织通信,在山区、隧道等布线困难区域发挥重要作用;4G/5G 移动通信技术凭借高速度、低延迟的特点,可快速传输高清视频、大量监测数据等。同时,云计算技术为数据处理提供强大的计算资源,能够对海量数据进行实时清洗,去除噪声数据;利用大数据分析技术挖掘数据背后的规律,例如通过分析设备历史运行数据,发现设备故障与环境因素、使用时长之间的关联,为设备运

维管理提供科学的决策依据,助力管理者提前规划维护计划、合理调配资源^[2]。

1.3 设备故障预警与智能决策需求

公路机电设备故障可能引发交通拥堵、安全事故等严重后果,因此故障预警和智能决策至关重要。设备在出现明显故障前,其运行参数往往会发生细微变化,通过对设备电压、电流、温度等实时运行数据的深度分析,运用机器学习算法建立故障预测模型,能够捕捉这些微小变化,提前预测设备故障。例如,通过分析监控摄像头的温度变化曲线和电压波动情况,结合历史故障数据,判断摄像头是否存在潜在的电路故障风险,并提前发出预警。当故障发生后,系统依据故障类型和严重程度,从历史运维数据中调取类似故障的处理案例,结合专家经验库中的知识,为运维人员提供智能的运维决策建议。对于简单故障,系统直接给出操作步骤,指导运维人员快速修复;对于复杂故障,提供多种解决方案,并利用数据分析技术对各方案的维修成本、预计修复时间、修复效果等进行量化评估,帮助运维人员选择最优方案,缩短故障处理时间,减少因设备故障对公路正常运行造成的影响,显著提升运维管理的效率和质量^[3]。

2. 基于物联网的公路机电设备智能运维管理系统架构设计

2.1 感知层设计

感知层是智能运维管理系统的基础,主要负责对公路机电设备运行状态数据的采集。该层由各种传感器、执行器和 RFID 标签等组成。传感器包括温度传感器、湿度传感器、电压传感器、电流传感器、振动传感器等,用于采集设备的温度、湿度、电压、电流、振动等物理参数;执行器用于根据系统的指令对设备进行控制,如调节设备的工作模式、开关设备等;RFID 标签则用于对设备进行唯一标识,方便设备的管理和识别。感知层采集到的数据通过有线或无线的方式传输到网络层^[4]。

2.2 网络层设计

网络层的主要功能是实现感知层采集数据的可靠传输。它采用多种通信技术,包括光纤通信、无线传感器网络、4G/5G 移动通信网络等。对于距离较近且数据传输量较大的设备,采用光纤通信进行数据传输,以保证数据传输的稳定性和高速性;对于分布较为分散、布线困难的设备,利用无线传感器网络实现数据的自组织传输;而对于远程设备的数

据传输,则借助 4G/5G 移动通信网络,确保数据能够及时、准确地传输到应用层^[5]。网络层还负责对数据进行加密和安全传输,防止数据泄露和被篡改。

2.3 应用层设计

应用层是智能运维管理系统的核心,直接面向用户,为公路机电设备运维管理人员提供各种功能服务。它包括设备实时监控模块、故障诊断预警模块、运维决策支持模块、设备资产管理模块等。设备实时监控模块通过可视化界面,实时展示设备的运行状态和关键参数;故障诊断预警模块利用数据分析和故障诊断算法,对设备故障进行诊断和预警;运维决策支持模块根据故障情况和历史数据,提供智能的运维决策建议;设备资产管理模块实现对设备全生命周期的管理,包括设备采购、安装、使用、维修、报废等环节的信息管理^[6]。

3. 基于物联网的公路机电设备智能运维管理系统功能实现

3.1 设备实时监控功能实现

设备实时监控功能的实现依托于物联网系统的多层架构协同运作。在感知层,各类传感器持续采集设备运行的基础数据,如温湿度传感器记录设备环境状态,电流电压传感器监测电力参数,这些数据经过网络层的加密传输,最终抵达应用层。应用层采用先进的 Web 技术,如 Vue.js、React 等构建交互式界面,并结合 ECharts、D3.js 等可视化工具,将设备数据以直观的形式呈现。以高速公路监控系统为例,系统会在电子地图上标注出每台监控摄像头、通信基站的具体位置,运维人员点击图标即可查看设备详细参数,包括实时画面、工作温度、传输带宽等。对于异常数据,系统会自动用醒目的颜色进行标记,如红色警示温度过高,黄色提示网络延迟异常。同时,借助 WebSocket 技术,实现数据的实时推送,确保运维人员能第一时间获取设备状态变化^[7]。此外,系统还支持远程控制功能,当发现设备出现软件故障时,运维人员可通过浏览器或移动终端远程发送指令,重启设备或调整配置参数,无需亲临现场,大大提高了运维管理的便捷性和响应速度。

3.2 故障诊断预警功能实现

故障诊断预警功能是保障公路机电设备稳定运行的核心模块。在数据预处理阶段,系统采用中值滤波、归一化等算法,去除数据噪声,统一数据格式,提升数据可用性。在

模型训练环节,针对不同类型设备,选择合适的机器学习算法构建故障诊断模型。例如,对于具有复杂非线性关系的设备,采用深度学习中的卷积神经网络(CNN)或长短时记忆网络(LSTM);对于数据规模较小的设备,支持向量机(SVM)则更具优势。以通信基站为例,系统会实时采集基站的信号强度、发射功率、误码率等数据,并输入到训练好的故障诊断模型中。模型通过分析数据特征,与预先设定的正常运行模式进行对比,一旦发现数据偏离正常范围,便会触发预警机制。系统会根据故障的严重程度,通过短信、邮件、APP推送等多种渠道通知运维人员^[8]。同时,系统还会基于故障树分析和案例推理技术,给出故障的初步诊断结果和可能的故障原因,如“信号强度骤降,可能是天线松动或馈线故障”,帮助运维人员快速定位故障点,缩短故障处理时间,降低设备故障对公路运行的影响。

3.3 运维决策支持功能实现

运维决策支持功能整合了故障诊断结果、历史运维数据和专家经验,为运维工作提供科学决策依据。系统构建的运维决策知识库,采用知识图谱技术,将常见故障类型、处理方法、维修流程、备件信息等知识进行结构化存储,形成一个庞大的知识网络。当设备发生故障时,系统首先根据故障诊断结果,在知识库中进行智能检索,匹配相似的故障案例和解决方案^[9]。例如,当收费设备出现交易卡顿故障时,系统会从知识库中调取以往类似故障的处理记录,包括故障原因、维修步骤和所需备件。同时,结合当前设备的运行状态和历史运维记录,利用数据分析技术,对不同解决方案进行量化评估。系统会计算每个方案的预计维修成本,包括人工费用、备件成本;预测维修所需时间,评估修复后设备的使用寿命和可靠性。通过对比分析,为运维人员提供最优的运维方案建议,如优先尝试软件调试,若无效再进行硬件更换。这种智能化的决策支持方式,不仅提高了运维效率,还能有效降低运维成本,提升公路机电设备的整体管理水平^[10]。

4. 结论

本论文通过对基于物联网的公路机电设备智能运维管理系统的研究,设计了一套完整的系统架构,详细阐述了系统各功能模块的实现方法。研究表明,将物联网技术应用于公路机电设备运维管理,能够实现设备运行状态的实时感

知、数据的高效传输与处理、设备故障的预警和智能决策,有效解决了传统运维管理模式中存在的问题。基于物联网的智能运维管理系统提高了公路机电设备运维管理的智能化水平和工作效率,降低了运维成本,为保障公路机电设备的稳定运行提供了有力的技术支持。然而,该系统在实际应用中仍可能面临一些挑战,如数据安全与隐私保护、系统兼容性问题等,需要在后续研究中进一步深入探讨和完善。

参考文献:

- [1] 林奕俊. 基于物联网的高速公路机电设备远程监控方法[J]. 交通世界, 2025, (10): 178-180. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2025.10.012.
- [2] 王超. 物联网在高速公路机电设备预防性维护中的应用[J]. 汽车周刊, 2025, (03): 206-208.
- [3] 刘时雨. 基于物联网的高速公路收费站机电设备状态在线监测方法[J]. 装备制造技术, 2025, (02): 44-47.
- [4] 郑文礼. 基于物联网技术的高速公路机电设备智能监控与运维管理[J]. 张江科技评论, 2024, (12): 93-95.
- [5] 朱虎, 杜琳. 基于物联网技术的高速公路机电设备远程监控研究[J]. 智能物联技术, 2024, 56(05): 145-148.
- [6] 王宇. 基于物联网的高速公路机电设备远程监控系统研究[J]. 汽车周刊, 2024, (06): 52-54.
- [7] 张征. 基于物联网技术的高速公路机电设备监控系统分析[J]. 交通世界, 2024, (16): 181-183. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2024.16.010.
- [8] 刘永龙, 李中汉, 李东毅. 基于物联网技术的高速公路机电设备智能监控系统[J]. 西部交通科技, 2023, (04): 23-25+28. DOI: 10.13282/j.cnki.wccst.2023.04.007.
- [9] 江子立. 基于物联网技术的高速公路机电设备用电异常自动监测[J]. 自动化应用, 2022, (09): 31-33. DOI: 10.19769/j.zdhy.2022.09.010.
- [10] 李捷. 基于物联网的高速公路机电设备智慧管养系统[J]. 中国交通信息化, 2021, (10): 110-112. DOI: 10.13439/j.cnki.itsc.2021.10.010.

作者简介: 行志强, 1987-02, 男, 汉, 陕西省合阳县, 大学本科, 工程师, 交通工程