

基于物联网的单轨吊远程监控系统设计与实现

贺鹏非

禹州枣园煤业有限公司 河南 禹州 461670

摘要：本文设计并实现了一套基于物联网的煤矿单轨吊远程监控系统。该系统集成了感知层数据采集、网络层数据传输与应用层智能分析控制等功能，实现对单轨吊运行状态的实时监测与远程控制。实验室与煤矿现场测试表明，该系统具有高稳定性、实时响应与安全可靠的特点，有效提升了煤矿运输作业的效率与安全性，为煤矿智能化转型提供了有力技术支撑。

关键词：基于物联网；单轨吊远程监控系统；设计；实现

引言：随着煤矿行业对安全生产和高效管理的需求日益增长，基于物联网技术的远程监控系统成为解决煤矿运输智能化转型的关键。单轨吊作为煤矿井下重要的运输设备，其运行状态与安全性直接关系到煤矿生产效率与人员安全。本文旨在设计并实现一套基于物联网的单轨吊远程监控系统，通过实时监测与远程控制，提升煤矿运输作业的智能化水平，为煤矿安全生产提供新的技术途径。

1 相关理论基础

1.1 物联网技术概述

(1) 物联网指通过信息传感设备，按约定协议将物品与互联网连接，实现信息交换与通信的网络。其技术架构分感知层、网络层、应用层：感知层采集数据，如本质安全型传感器、矿用RFID标签；网络层传输数据，含矿用无线基站、工业以太网；应用层针对煤矿提供服务，如运输监控、井下设备管理，推动煤矿运输智能化、无人化转型。(2) 物联网技术在煤矿单轨吊远程监控系统中优势突出：可实现井下实时数据采集与传输，保障地面端及时获运行信息；借助矿用专用传感器监测瓦斯浓度、粉尘含量等关键参数，提升监控安全性；通过矿用网络层抗干扰传输，突破井下复杂巷道限制，实现远距离监控；结合智能分析技术处理故障数据并预警，提高运输安全性与效率。

1.2 煤矿单轨吊监控系统关键技术

(1) 该系统基于矿用传感器、井下数据传输及地面终端处理技术，实时监测单轨吊运行状态、位置、速度、故障等信息。关键技术包括：矿用状态感知技术（隔爆型传感器采集数据）、井下无线传输技术（保障复杂巷道数据稳定传输）、矿用数据处理与分析技术（解析数据并做安全判断）、井下报警与控制技术（异常时发声光警报并触发制动）。(2) 现有系统存在技术

瓶颈：传输上，井下巷道狭窄、电磁干扰强，易致信号不稳；部分传感器在高湿、高粉尘、腐蚀性环境下精度与寿命下降，影响监测准确性；系统智能化不足，多依赖人工分析，难以及时发现潜在故障；不同煤矿设备兼容性差，不利于系统集成扩展，难适配多品牌单轨吊。

2 基于物联网的煤矿单轨吊远程监控系统设计

2.1 系统总体架构

(1) 系统以物联网三层架构为核心，适配煤矿井下特殊环境。感知层部署于单轨吊设备及井下环境，集成隔爆型振动传感器、矿用温度传感器、本安型速度传感器、矿用北斗定位终端等，实时采集单轨吊运行参数（电机温度、轨道振动幅度）、井下位置信息及环境数据（瓦斯浓度、井下湿度）。网络层由矿用工业级无线通信设备（4G/5G模块、LoRa网关）和有线传输设备（以太网交换机）组成，承担数据中转与协议转换，保障感知层数据稳定上传至地面应用层。应用层含地面远程监控平台、矿用数据库服务器及用户终端（PC端监控软件、移动端APP），实现数据存储、可视化展示、智能分析及控制指令下发功能^[1]。(2) 各层数据呈双向交互，符合安全规范。感知层原始数据通过网络层MQTT、Modbus协议打包上传；网络层对数据格式转换与加密后，传输至应用层数据库。应用层经数据分析生成控制指令（减速、紧急停机），由网络层逆向传输至感知层执行机构（矿用继电器、隔爆型控制器）。功能上，感知层为网络层供数据，网络层为应用层供传输支撑，应用层以分析结果反哺感知层，形成“井下采集-稳定传输-地面分析-井下控制”闭环机制。

2.2 系统功能模块设计

(1) 数据采集模块：由矿用隔爆型传感器与本安型数据采集卡构成，以100ms/次频率采集单轨吊运行速度、承重压力、关键部件温度，同步监测井下轨道变形

量、瓦斯浓度、粉尘含量,保障数据实时安全。数据传输模块:采用“井下无线为主、地面有线备份”模式,矿用5G模块实现高带宽传输,LoRa技术覆盖信号盲区,矿用以太网接口连接固定区域,支持断点续传防数据丢失。数据处理与分析模块:井下边缘计算网关对原始数据降噪滤波,地面云计算平台用BP神经网络等算法分析单轨吊故障趋势,生成设备健康度报告。远程控制模块:含地面指令生成与井下执行驱动单元,管理员经地面界面下发指令,加密验证后驱动单轨吊制动、转向系统,保障运输安全。(2)各模块通过矿用标准化接口协同,符合安全要求。采集与传输模块用矿用RS485接口连接,传输模块经TCP/IP协议与处理模块通信,处理与控制模块借RESTfulAPI交互指令。协同机制上,采集模块触发瓦斯超标、温度超限等阈值后,自动唤醒传输模块;传输模块检测数据异常,优先推至处理模块紧急分析;处理模块生成的控制指令经权限校验,由控制模块执行,同时反馈结果至关联模块,确保操作可追溯^[2]。

2.3 关键设备与技术选型

(1)硬件设备方面,均选用煤矿专用本质安全型设备:温度传感器采用矿用DS18B20(测量范围-55℃~125℃,精度±0.5℃),适合井下防爆环境;振动传感器选用矿用压电式加速度传感器(量程0~50g,频率响应1~10kHz),监测井下轨道稳定性;通信模块采用华为矿用ME909s-8214G模块(支持多频段,传输速率150Mbps),搭配矿用LoRa网关RAK7243(通信距离1~5km);嵌入式处理器选用矿用STM32H743微控制器(主频400MHz,支持多种外设接口),满足井下数据处理与多模块驱动需求。(2)关键技术上,物联网通信协议优先采用MQTT协议(轻量级、低带宽占用),适用于井下传感器数据传输;设备控制指令采用ModbusTCP协议,确保工业级可靠性。数据处理算法结合卡尔曼滤波(降低传感器噪声)与LSTM神经网络(预测单轨吊故障趋势),实现从实时监测到智能预警的升级。系统安全采用SSL/TLS加密传输与矿用设备唯一标识认证,防止井下数据泄露与非法控制,符合煤矿安全规程。

3 煤矿单轨吊远程监控系统的关键技术实现

3.1 数据采集与传输技术

(1)传感器网络采用煤矿井下分层分布式设计,在单轨吊车身及轨道沿线部署三类监测节点。核心监测节点装于单轨吊驱动电机、制动系统等关键部件,配高精度矿用温度传感器(-40℃~150℃,±0.3℃)、振动传感器(1kHz采样率)和扭矩传感器,实时捕捉核心运行参数;辅助监测节点在车架连接处,通过倾角、压力传感

器采集转向角度与承重数据;环境监测节点隔50m布于轨道旁,集成瓦斯传感器(0~100%LEL)和温湿度传感器,形成立体监测网。各节点经矿用工业总线连本地数据汇聚单元,按200ms周期同步采集,保障时序一致性^[3]。(2)通信传输采用“井下短距自组网+地面长距广域网”混合架构。传感器节点间用矿用Zigbee协议建Mesh网络,支持8跳路由与动态组网,井下复杂巷道100m内稳定通信,速率250kbps,丢包率≤2%;远程传输选矿用NB-IoT技术,经井下基站广域覆盖,PSM模式降功耗,配合30%压缩率的算法减带宽,关键参数(瓦斯浓度、超温报警)优先传输,确保紧急数据时延≤1s。

3.2 数据处理与分析技术

(1)数据预处理采用三级净化机制,适配煤矿井下复杂数据:首先通过阈值过滤剔除明显异常值(如超出传感器量程的数据);其次运用滑动窗口滤波(窗口大小10)平滑高频噪声;最后通过卡尔曼滤波对非线性参数(如单轨吊运行速度)进行状态估计,将测量误差降低至5%以内。特征提取阶段,对振动信号进行傅里叶变换获取频谱特征,对温度序列计算趋势斜率与波动方差,结合时域特征(峰值、峭度)构建86维特征向量,为后续分析奠定基础。(2)数据分析采用井下边缘-地面云端协同模式。边缘端部署轻量级决策树模型,实时识别单轨吊超温、过载等显性故障,响应时间≤50ms;云端基于煤矿历史数据(累计5万+条单轨吊运行记录)训练LSTM神经网络,通过分析多参数关联性预测单轨吊轴承磨损、轨道松动等潜在故障,提前15分钟发出预警,准确率达90%。同时引入关联规则挖掘,发现单轨吊电机温度与井下负载变化的隐藏关系,优化故障诊断的全面性。

3.3 远程控制技术实现

(1)远程控制接口采用“硬件抽象层+协议转换层”架构,符合煤矿控制安全标准。硬件抽象层通过矿用CAN总线连接单轨吊执行机构,封装制动、调速等底层指令;协议转换层基于MQTT协议设计控制帧结构,包含操作码(1字节)、参数值(4字节)和校验码(2字节),支持指令优先级标记(0-3级,0级为紧急停机指令)。地面调度端通过WebSocket接口发送控制命令,经身份认证(基于Token机制)后传输至井下设备端。

(2)为保障控制可靠性,采用三项关键技术:一是通过矿用5G网络切片实现控制指令端到端时延≤20ms;二是设计指令重传机制,当超时未收到执行反馈(超时阈值100ms)时自动重发,最多重传3次;三是引入模糊控制算法,根据井下网络时延动态调整控制参数,补偿传输滞后影响。测试表明,在井下网络波动±20%的情况下,

控制指令执行成功率 $\geq 99.2\%$ ，系统响应速度满足煤矿单轨吊实时操控需求^[4]。

4 系统测试与性能评估

4.1 测试方案设计

(1) 测试计划含实验室仿真与煤矿现场实测。实验室搭建50m模拟井下单轨吊轨道装置(含弯道、坡道)，配实际矿用传感器与通信模块；现场选煤矿井下1000m运输巷道，覆盖瓦斯波动区、信号弱场区等典型场景。测试数据分三类：正常工况(72小时标准运行参数)、异常工况(电机过载、轨道偏移等故障触发数据)、极限环境(-10℃、95%湿度、高粉尘老化数据)。设计120项测试用例，含功能测试65项(数据采集完整性、远程控制响应)、性能测试35项(传输时延、并发处理)、安全性测试20项(指令加密、抗干扰)。(2) 测试目标分三方面：功能完整性需验证采集、传输、控制等模块按设计运行，关键功能无缺失；性能稳定性要求连续100小时满负载运行中，数据传输成功率 $\geq 99.5\%$ ，控制指令响应时延 $\leq 50\text{ms}$ ；安全性需通过恶意指令注入、信号干扰测试，确保数据加密不被破解、无越权风险，符合煤矿安全规程。

4.2 测试实施与结果分析

(1) 测试分三个阶段实施：实验室功能测试通过自动化脚本执行用例，记录矿用传感器数据采集误差(如温度测量偏差 $\leq \pm 0.8^\circ\text{C}$)、远程控制指令执行成功率(初始测试达98.2%)；煤矿现场性能测试部署3台单轨吊同时运行，连续采集10万条数据，监测井下网络中断次数(日均0.3次)和数据丢失率(0.8%)；安全性测试采用专业工具模拟DOS攻击，记录系统防御响应时间($\leq 2\text{s}$)。所有测试数据实时存储于测试日志，生成包含23项关键指标的原始报表。(2) 结果分析显示：功能方面，98%的测试用例通过，仅“井下弱信号区数据补传”功能存在偶发延迟；性能上，传输时延均值32ms(符合要求)，但在井下信号盲区时波动至80ms；安全

性指标全部达标，满足煤矿安全要求。综合评估表明系统整体稳定，但需针对煤矿极端环境下的通信可靠性进行优化。

4.3 性能优化与改进建议

(1) 优化方案包括：在感知层增加井下本地缓存模块(容量512MB)，解决井下信号中断时的数据丢失问题；网络层引入矿用自适应跳频技术，在干扰频段自动切换通信信道，提升抗干扰能力；数据处理层优化LSTM模型参数，将预测响应时间从1.2s压缩至0.8s。(2) 改进建议：硬件上，选用煤矿工业级耐低温传感器(工作温度-30℃~80℃)，适应井下温差；软件上，增加“煤矿运行模式切换”功能，在重载工况下自动提升数据采样频率；管理上，建立煤矿定期校准机制(每3个月)，降低传感器漂移误差。实施后预计可使系统在煤矿极端环境下的稳定性提升20%，满足煤矿长期运行需求。

结束语

综上所述，本研究基于物联网技术，精心设计并实现了单轨吊远程监控系统。该系统不仅提升了煤矿运输的智能化水平，还显著增强了运输作业的安全性和效率。经过全面测试与评估，系统展现出卓越的稳定性和可靠性。展望未来，我们将持续优化系统功能，提高其智能化程度，为煤矿行业的安全生产提供更有力的技术保障，推动行业向智能化、高效化方向不断迈进。

参考文献

- [1]许红伟.基于物联网的机电设备远程监控系统设计与实现[J].现代工业经济和信息化,2024,14(02):114-116.
- [2]魏贤烁.基于物联网的电气设备远程监控系统设计[J].建筑理论,2024,(09):83-84.
- [3]闫帅.基于物联网技术的电气自动化系统远程监控系统设计与实现[J].电气技术与经济.2024,(12):90-92
- [4]鲁燚亮.基于物联网技术的电气设备远程监测与运行检修系统研究[J].家电维修.2024,(03):13-15