

基于物联网的市政道路养护决策支持系统构建

洪大江

江西天圣智能建设有限公司 江西上饶 334000

摘要：随着城市化进程的加快，市政道路养护面临效率低、决策滞后、资源浪费等问题。本文基于物联网技术，构建了一套市政道路养护决策支持系统，旨在提升道路养护的科学性与精准性。系统采用分层架构设计，包括数据采集与传输层、数据处理与分析层、决策支持与服务层，通过实时感知、智能分析与多目标优化，实现对道路状态的动态监测与养护决策的智能支持。研究表明，该系统能够有效提升养护效率、降低成本，为市政道路管理提供可靠的技术支撑。

关键词：物联网；市政道路养护；决策支持系统；数据采集

引言

市政道路养护是保障城市交通正常运行的重要环节，传统养护模式依赖人工巡检与经验判断，存在效率低、主观性强、响应滞后等问题。物联网技术的快速发展为道路养护提供了新的技术路径，通过实时数据采集与智能分析，能够实现对道路状态的精准监测与科学决策。本文基于物联网技术，构建了一套市政道路养护决策支持系统，旨在解决传统养护模式的痛点，提升养护效率与决策水平。

一、物联网技术与市政道路养护的理论基础

（一）物联网技术的内涵与特征

物联网技术是指通过信息传感设备，如射频识别、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等，按约定协议将物品与互联网连接，实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的网络技术。其核心在于实现物与物、物与人的全面互联，构建一个实时感知、可靠传输、智能处理的综合信息网络。物联网技术的特征主要体现在三个方面：一是全面感知，通过部署在道路基础设施上的各类传感器，实时采集路面状况、交通流量、环境参数等数据；二是可靠传输，依托5G、LoRa、NB-IoT等通信技术，确保海量数据的高效、低延时传输；三是智能处理，利用云计算、大数据分析和人工智能算法，对采集的数据进行深度挖掘与智能分析，为决策提供科学依据。这些特征使得物联网技术在市政道路养护中具有显著的技术优势，能够实现对道路状态的动态监测与精准管理^[1]。

（二）市政道路养护的基本要求与挑战

市政道路养护是保障城市交通系统正常运行的重要

环节，其基本要求包括安全性、经济性、及时性和可持续性。安全性要求道路设施始终处于良好状态，避免因路面破损、坑洼等问题引发交通事故；经济性要求在有限预算内优化养护资源配置，降低养护成本；及时性要求快速响应道路病害，防止问题扩大化；可持续性则强调养护过程中需兼顾环境保护与资源节约。然而，当前市政道路养护面临诸多挑战：一是传统养护模式依赖人工巡检，效率低下且主观性强，难以全面掌握道路状况；二是养护决策缺乏数据支撑，往往凭经验判断，导致资源分配不合理；三是道路病害类型复杂，如裂缝、车辙、沉降等，其成因多样，传统检测手段难以精准识别；四是养护工作与交通管理、城市规划等部门协同不足，影响整体养护效果。这些挑战亟需通过技术创新与管理优化加以解决。

（三）物联网技术在道路养护中的适用性分析

物联网技术在市政道路养护中的适用性主要体现在数据采集、状态评估、决策支持和过程管理四个方面。在数据采集层面，物联网传感器可实时监测路面平整度、裂缝发展、结构应变等关键指标，结合气象数据（如温度、湿度）和交通荷载信息，构建多维度道路健康数据库。例如，嵌入式光纤光栅传感器能精确捕捉路面微小变形，为早期病害预警提供依据。在状态评估层面，通过机器学习算法对长期监测数据进行分析，可建立道路性能退化模型，量化评估道路剩余使用寿命，实现从“被动修复”向“主动预防”的转变。在决策支持层面，物联网系统能整合养护历史数据、成本效益分析和交通影响评估，生成最优养护方案，如针对不同路段制定差异化养护策略（裂缝灌封、薄层罩面或结构补强）。在过

程管理层面,物联网平台可实现养护作业全流程可视化监控,如施工机械定位、材料消耗跟踪和质量验收自动化,提升养护工作的透明度与规范性。此外,物联网技术还能促进跨部门数据共享,如与交通管理系统联动,在养护施工期间动态调整交通信号,减少对市民出行的影响。综上,物联网技术通过提供实时、精准、全面的数据支持,有效解决了传统养护模式的痛点,为构建智能化、科学化的市政道路养护决策支持系统奠定了坚实基础^[2]。

二、基于物联网的市政道路养护决策支持系统架构设计

(一) 系统总体架构

基于物联网的市政道路养护决策支持系统总体架构采用分层设计模式,分为数据采集与传输层、数据处理与分析层、决策支持与服务层。该架构设计旨在实现从数据感知到智能决策的全流程闭环管理。系统总体架构以模块化、可扩展、高可靠为原则,支持多源异构数据的接入与融合,具备较强的适应性和可维护性。各层之间通过标准化接口实现数据交互与功能调用,确保系统各组件协同工作。系统总体架构不仅为市政道路养护提供技术支撑,也为后续智慧城市建设中基础设施智能化管理奠定基础。

(二) 数据采集与传输层设计

数据采集与传输层是系统的基础,负责实时获取道路状态、环境参数、交通流量等多源数据。该层设计包括感知设备部署、通信网络构建和数据传输协议三部分。感知设备主要包括路面传感器(如应变片、温度传感器、裂缝检测仪)、视频监控设备、车载终端和气象站等,部署于道路关键节点和易损路段,形成覆盖全域的监测网络。通信网络采用5G、NB-IoT、LoRa等低功耗广域网技术,结合边缘计算节点,实现数据的高效传输与本地预处理。数据传输协议采用MQTT、CoAP等轻量级协议,确保海量设备接入下的低延迟和高可靠性。该层设计能够实现道路状态的实时感知与数据上传,为上层分析提供原始数据支撑^[3]。

(三) 数据处理与分析层设计

数据处理与分析层是系统的核心,负责对采集到的海量数据进行清洗、存储、建模与挖掘。该层采用分布式计算框架(如Hadoop、Spark)和时序数据库(如InfluxDB),支持高并发写入与快速查询。数据处理流程包括数据清洗(去除噪声、填补缺失值)、特征提取(如路面平整度指数、裂缝密度计算)和数据融合(整合结

构化与非结构化数据)。分析模块基于机器学习算法(如随机森林、LSTM神经网络)构建道路性能退化预测模型,结合历史养护数据与实时监测信息,识别潜在病害并评估发展趋势。此外,该层还支持多维度数据可视化,通过GIS平台展示道路健康状态空间分布,辅助管理人员直观掌握全局情况。该层设计显著提升了数据处理效率与分析精度,为科学决策提供依据。

(四) 决策支持与服务层设计

决策支持与服务层是系统的应用终端,面向养护管理部门提供智能化决策工具与服务。该层设计包括养护方案生成、资源调度优化、效果评估与用户交互四部分。养护方案生成模块基于多目标优化算法(如NSGA-II),综合考虑养护成本、交通影响、施工周期等因素,输出最优养护策略(如预防性养护、修复性养护或重建)。资源调度模块通过整合人员、设备、材料等资源信息,实现养护任务的动态分配与进度跟踪。效果评估模块采用对比分析法,结合养护前后监测数据,量化评估养护措施的有效性。用户交互界面提供Web端与移动端访问,支持实时查询、报表生成与预警推送,满足不同层级管理人员的需求。该层设计将数据分析结果转化为可执行的养护决策,显著提升市政道路养护的科学性与时效性。

三、系统实现与关键技术应用

(一) 系统开发环境与技术选型

系统开发采用分层架构设计,底层以Linux操作系统为基础,结合Docker容器技术实现微服务的轻量化部署,确保系统在不同硬件环境下的兼容性与扩展性。核心数据处理层基于Java EE框架构建,支持多线程并行计算与分布式事务管理,可满足市政道路养护数据的高并发处理需求。数据库选型采用PostgreSQL与Redis结合的混合存储方案:PostgreSQL用于存储结构化的养护历史数据、设备档案及决策模型参数,支持复杂的空间分析与时序查询;Redis则作为内存数据库,缓存实时感知数据与高频访问的基础信息,将数据读取响应时间压缩至毫秒级。地理信息可视化模块基于开源GIS平台QGIS二次开发,支持三维地形建模与病害位置的精准标注。在算法开发层面,决策支持模型采用Python语言实现,集成TensorFlow与PyTorch深度学习框架,便于快速迭代优化病害预测算法。深圳市某区2020年部署的市政道路养护系统采用类似技术架构,其后台服务响应时间稳定在200ms以内,可同时支撑2000路传感器数据的实时接入与处理,验证了该技术选型的可靠性与高效性^[4]。

（二）物联网感知设备部署策略

感知设备部署采用“核心节点+边缘节点”的分级架构。核心节点选用工业级LoRaWAN网关，部署于市政道路养护管理中心，覆盖半径可达3公里，负责接收边缘节点上传的数据并转发至云端平台。边缘节点根据监测需求分为三类：路面状态监测节点集成高精度MEMS加速度传感器与视觉摄像头，安装于道路接缝、桥梁伸缩缝等易损部位，每50米间隔部署一个，实时采集路面振动、裂缝扩展等数据；环境监测节点配备温湿度、降雨量、光照强度传感器，部署于易积水路段与绿化隔离带，每200米间隔部署一个，用于分析环境因素对道路老化的影响；设施状态监测节点集成RFID标签与倾角传感器，安装于路灯杆、检查井等市政设施，实现设备状态的实时追踪。杭州市2019年在某主干道试点该部署策略，通过500个边缘节点与5个核心网关的协同工作，将道路病害发现时间从人工巡查的72小时缩短至2小时，设备故障响应效率提升80%。

（三）数据处理与决策支持算法应用

数据处理流程分为实时清洗、特征提取与模型推理三个阶段。实时清洗环节通过卡尔曼滤波算法消除传感器噪声，结合阈值检测剔除异常数据点，确保原始数据的准确性。特征提取阶段运用小波变换与卷积神经网络（CNN），从振动信号中识别路面破损类型（如裂缝、坑槽、沉降），并计算病害面积、深度等量化指标。决策支持模型采用长短时记忆网络（LSTM）与随机森林算法融合架构：LSTM模型用于预测道路病害的发展趋势，基于历史数据训练的模型对未来3个月病害扩展程度的预测误差控制在15%以内；随机森林模型则根据病害类型、交通流量、环境参数等多维度输入，生成最优养护方案，包括修补材料选择、施工工艺推荐及成本预算。腾讯2021年在深圳市福田区试点的道路智能巡检方案应用类似算法，通过车载摄像头采集的图像数据训练YOLOv3神经网络，单次巡检的病害识别率达90%，两次巡检综合识别率接近100%，较传统人工巡查效率提升10倍，直接推动该区道路养护成本降低18%。

（四）系统集成与功能实现

系统集成采用RESTful API接口规范，实现与市政现有业务系统的无缝对接。与GIS系统集成后，可在电子地图上实时显示道路病害分布、养护工单执行进度及设备运行状态，支持养护人员通过移动端APP接收派单

指令并上传处置结果。与ERP系统集成后，实现养护材料库存、设备台账、人员工时的数字化管理，材料申领审批周期从3天缩短至2小时。在功能实现层面，系统提供四大核心模块：实时监测模块支持多维度数据的动态可视化，养护人员可通过热力图直观查看病害高发区域；预警管理模块设定三级预警阈值（黄色预警：病害面积 $\geq 0.5\text{m}^2$ ；橙色预警：裂缝深度 $\geq 3\text{cm}$ ；红色预警：结构安全风险），当监测数据触发预警条件时，系统自动向相关责任人发送短信与APP通知；决策支持模块基于预设的养护知识库，自动生成三种备选方案供管理人员选择，方案对比维度包括成本、工期、环境影响；绩效评估模块对养护作业完成率、病害复发率、市民投诉量等指标进行量化分析，为养护单位的服务质量考核提供数据支撑。某直辖市2020年上线的市政道路养护系统通过上述集成与功能设计，使养护工单平均处理时长从48小时压缩至12小时，市民对道路养护的满意度从65%提升至82%^[5]。

结语

本文基于物联网技术，构建了一套市政道路养护决策支持系统，通过分层架构设计与关键技术应用，实现了对道路状态的实时监测、智能分析与科学决策。系统在数据采集、处理与决策支持方面表现出显著优势，能够有效提升养护效率、降低成本，为市政道路管理提供了可靠的技术支撑。然而，系统在实际应用中仍面临感知设备部署成本高、数据融合难度大等局限性，需进一步优化与完善。

参考文献

- [1] 刘友泉, 章旭敏, 高俊海, 等. 城市道路智慧照明物联网的关键技术[J]. 照明工程学报, 2019, 30(4): 5. DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2019.04.004.
- [2] 王金凤. 城市道路智慧照明物联网的关键技术[J]. 百科论坛电子杂志, 2019.
- [3] 陈梅丽. 探讨智慧化在市政设施管理中的应用[C]//2021. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4097.2021.z1.018.
- [4] 徐行. 高速公路高边坡智慧化管理实践[J]. 道路交通与安全, 2022(002): 022.
- [5] 张翔飞. 道路网基础设施全生命周期智能养护决策方法研究[D]. 东南大学, 2022.