

噪声与空气质量一体化实时监测系统优化设计

王方方

河南佑恒检测技术有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：城市化进程提速与工业、交通活动密集，让噪声扰民、空气污染成为城市治理核心难题。传统监测模式多为单因子分散布点，存在数据割裂、实时性差、响应滞后等短板，难以适配精细化管控需求。公众对人居环境质量要求持续提升，环保监管亟需全域感知、协同联动的一体化监测手段，构建高效实时监测系统，成为破解环境监管痛点、推进智慧城市生态建设的关键举措。

【关键词】：噪声；空气质量；一体化；实时监测系统；优化设计

DOI:10.12417/2811-0528.26.11.059

引言

环境监测是生态治理的前提，噪声与空气质量作为人居环境核心指标，二者联动监测更能精准反映环境全貌。当前一体化监测系统普遍存在兼容性弱、数据精度不足、运维成本高等问题，亟需通过架构、算法、部署全链条优化，提升系统稳定性与监测效能。本次优化立足实际应用场景，补齐现有系统短板，打造适配多场景、高可靠的实时监测体系，助力环境管控提质增效。

1 系统总体需求与优化目标

1.1 功能需求

本系统需兼顾噪声与空气质量双维度监测功能，实现全流程闭环管控。噪声监测需精准采集等效连续声级、峰值声级、昼夜声级等核心参数，满足环境噪声评价标准；空气质量监测需覆盖 PM2.5、PM10、SO₂、NO₂、CO、O₃及温湿度、气压等辅助参数，全面反映大气污染状况。同时需具备数据实时传输、云端存储、动态可视化展示、超标异常告警、历史数据溯源查询等基础功能，支持 PC 端、移动端、监控大屏多终端适配访问，满足不同场景监管需求，实现监测数据一键调取、报表自动生成，简化运维操作流程。

1.2 性能需求

系统性能需满足户外长期稳定运行的严苛要求，监测精度需贴合国家环境监测标准，噪声监测误差控制在±1dB 以内，空气质量参数监测误差符合环保部门规范；采样频率支持 1-5 分钟可调，数据传输延迟不超过 3 秒，保障实时性。户外部署需具备超强续航能力，极端天气下稳定工作，适应-20℃~60℃温差、高湿、粉尘等复杂环境。同时要保证系统 7×24 小时不间断运行，抗电磁干扰、抗信号衰减能力强，建立数据加密传输机制，防止数据泄露与篡改，保障监测数据的安全性、完整性与可靠性。

1.3 优化设计目标

本次优化设计围绕一体化、高效化、智能化核心目标推进，硬件层面聚焦小型化集成、低功耗运行、低成本量产，优化传感器布局与电路设计，弱化多设备干扰，提升硬件兼容性与耐用性。算法层面重点优化数据降噪、多源融合、趋势预测模型，降低监测误差，提升数据鲁棒性，实现噪声与空气质量数据协同分析。软件层面优化界面交互逻辑，简化操作流程，提升数据处理与查询效率。系统层面打破数据孤岛，实现双参数联动研判、智能预警，降低运维成本，提升环境监管效率，为环保决策提供精准、高效的数据支撑。

2 系统总体架构优化设计

2.1 感知层硬件集成优化

感知层是数据采集核心，优化采用模块化集成设计，整合高精度噪声传感器、空气质量传感模块与温湿度辅助监测单元，解决硬件兼容性差、数据采集偏差问题。针对户外复杂工况下多设备协同采集的痛点，统一硬件通信协议与数据接口标准，消除不同传感器间的协议壁垒，实现各类监测数据毫秒级同步对齐，避免数据时序错乱。选用低功耗、高灵敏度芯片，缩小设备体积，降低安装难度，适配复杂户外环境，无论是高空挂载、地面布设还是隐蔽点位安装，都能快速完成部署。增设抗干扰防护电路与自动校准模块，削弱电磁、温变对监测精度的影响，实现多因子数据同步采集，定期自动完成零点校准与灵敏度校验，无需人工现场调试，持续保障采集数据精准可靠。优化供电与接口设计，支持太阳能补能与有线、无线双供电模式，延长设备续航，减少运维频次，筑牢全域数据采集根基，即便在无市电接入的偏远区域，也能实现 7×24 小时不间断稳定监测。

2.2 网络传输层协同优化

针对传统传输延迟、丢包、弱网适配差等问题，构建

5G+LoRa 双模传输架构, 兼顾远距离低功耗传输与高速率实时传输双重需求, 彻底打破单一传输模式的场景局限。边缘节点采用 LoRa 实现低功耗本地组网, 降低能耗与部署成本, 适配偏远点位传输, 单节点通信距离可达数公里, 大幅减少中继设备投入, 适合乡村、郊区等信号薄弱区域。核心监测数据通过 5G 专网上传云端, 规避公共网络拥堵, 保障传输稳定性与实时性, 关键预警数据可实现秒级上传, 为应急处置抢占时间。增设数据缓存与断点续传机制, 应对网络波动、信号中断导致的数据丢失问题, 本地缓存容量可支持断网状态下长时间数据存储, 网络恢复后自动补传, 杜绝数据断层。优化轻量化传输协议, 压缩数据包体积, 提升传输效率, 减少带宽占用与传输耗时。搭建多级网络校验与加密机制, 对传输数据进行身份校验、加密封装, 防范数据篡改与泄露, 实现数据从感知端到平台端安全、高效、无间断传输, 全方位守护数据传输全链路。

2.3 平台应用层功能优化

平台层采用微服务架构拆分功能模块, 提升系统并发处理能力与扩展性, 支持海量监测节点接入, 即便后续新增数百上千个监测点位, 平台也能平滑扩容不卡顿。整合数据存储、分析、预警、展示核心功能, 搭建可视化管控界面, 实现监测点位 GIS 地图定位、数据曲线实时刷新、异常预警弹窗推送, 管理人员可直观掌握全域监测态势, 快速定位异常区域。优化权限管理体系, 区分管理员、运维人员、监管部门不同操作权限, 细化数据查看、设备操控、参数修改等权限边界, 防止越权操作, 保障数据安全。预留第三方系统对接接口, 支持与环保管控平台、智慧城市系统联动, 实现数据共享与业务协同, 打破信息孤岛, 助力跨部门联合监管。同时搭载智能分析引擎, 可对历史监测数据进行趋势研判、异常溯源, 生成专业化监测报告, 打造集监测、分析、预警、调度于一体的智能化应用平台, 全面提升环境监测管控效率。

3 数据处理与算法优化设计

3.1 数据预处理算法优化

针对传感器漂移、环境干扰导致的异常数据, 构建自适应数据清洗模型, 融合滑动平均滤波与阈值过滤算法, 剔除野值、噪声数据, 保留有效监测信息。引入动态校准算法, 结合历史基准数据与环境参数, 实时修正传感器采集偏差, 提升数据精度, 针对温湿度、气压等环境变量建立偏差补偿矩阵, 消除环境突变带来的采集误差。增设数据完整性校验机制, 对缺失数据进行插值补全, 采用线性插值与邻近加权插值相结合的方式, 兼顾补全效率与数据真实性, 保障数据连续性。优化预处理流程, 将核心清洗算法部署在边缘端, 减少云端运算压力, 实现数据采集后秒级预处理, 为后续深度分析提供高质量数据源, 降低误判、漏判概率。

3.2 多源数据融合算法优化

打破噪声与空气质量数据孤岛, 采用加权融合与贝叶斯估计结合的算法, 实现多因子数据深度耦合, 针对颗粒物、气态污染物、噪声分贝等多类指标, 建立统一的数据标准化体系, 消除量纲差异带来的融合偏差。根据不同监测指标权重分配融合系数, 结合行业标准与现场工况动态调整权重占比, 精准刻画环境综合状态, 解决单一数据研判片面性问题。引入时空关联分析模型, 结合监测点位地理位置、时间维度, 挖掘数据内在关联规律, 识别污染叠加效应与扩散趋势, 构建全域时空数据网格, 还原污染扩散全景。优化融合算法运算逻辑, 简化冗余迭代步骤、压缩数据运算维度, 大幅降低算法复杂度, 显著提升运算速度, 实现多源数据毫秒级实时融合分析, 为超标预警、污染溯源、全域管控提供精准数据支撑, 全面提升系统研判稳定性与可靠性。

3.3 智能预警与预测算法优化

摒弃传统固定阈值预警弊端, 构建动态阈值预警模型, 结合时段、区域、气象因素自适应调整预警阈值, 针对早晚高峰、特殊气象天设定差异化阈值区间, 减少误报、漏报。引入 LSTM 时间序列预测算法, 基于海量历史监测数据迭代训练模型, 优化网络层数与神经元参数, 提升预测准确率, 实现短时间内噪声、空气质量变化趋势预测, 提前预判污染风险。优化预警分级机制, 按照超标程度划分红、黄、蓝三级预警, 细化各级预警触发条件、响应时限和处置流程, 匹配针对性处置预案, 确保分级管控落地。增设污染溯源算法, 结合多点位数据联动分析、浓度梯度推演, 快速定位污染源头, 同步推送溯源结果至监管端, 提升监管响应效率, 实现从被动监测到主动预判、精准管控的转变。

3.4 算法性能与鲁棒性优化

针对复杂工况下算法运行不稳定、适配性差的问题, 搭建全流程算法容错机制, 对数据断链、算法卡顿、参数异常等突发状况设置应急兜底方案, 避免系统宕机。引入自适应参数调优模块, 结合实时运行数据与工况变化, 自动修正算法核心参数, 无需人工干预即可维持最优运行状态, 提升极端环境下的算法鲁棒性。优化算法资源调度策略, 针对边缘端算力有限、云端并发量大的场景, 动态分配运算资源, 平衡运算速度与精度, 兼顾低功耗与高实时性。同时建立算法迭代更新机制, 定期归集监测数据、研判结果与处置反馈, 持续迭代优化模型参数, 让整套数据处理体系适配不同监测场景、不同区域工况, 长期保持高效稳定运行, 进一步强化全域环境监测的精准度与长效性。

4 系统部署与测试验证

4.1 分层分级部署方案优化

结合不同场景监测需求,采用分层分级部署策略,核心管控区加密布点、一般区域均衡布点,兼顾监测精度与成本控制。边缘监测节点采用即插即用设计,简化安装调试流程,降低部署难度;云端平台采用云服务器分布式部署,支持弹性扩容,适配节点数量增长需求。分阶段推进部署工作,先试点后全域推广,同步搭建运维体系,配备远程诊断、故障报警功能,实现设备状态实时监控。针对户外场景做好防水、防晒、防雷防护设计,保障系统在复杂环境下长期稳定运行,提升部署灵活性与实用性。

4.2 全流程测试验证体系构建

构建功能、性能、稳定性三维测试体系,全面校验优化效果。功能测试覆盖数据采集、传输、分析、预警全流程,验证各模块功能完整性;性能测试聚焦数据延迟、精度、并发处理能力,对标国家监测标准核查指标达标情况;稳定性测试通过长时间连续运行、极端环境模拟,检验系统抗干扰能力与续航能力。制定标准化测试流程与评判准则,记录测试数据,针对问题迭代优化,完成实验室测试与现场实地测试双重验证,确保系统各项指标达标,满足实际应用场景监测需求。

4.3 部署验收与长效运维保障

建立分级验收机制,结合部署阶段与测试结果,分试点验收、片区验收、全域总验三个层级推进,验收内容涵盖部署规范性、设备运行状态、数据传输质量、功能达标率、运维体系

落地情况等核心维度,验收合格后方可交付使用。同步搭建全生命周期运维保障体系,建立设备台账管理、定期维保、备件储备、应急抢修机制,针对设备老化、软件版本迭代制定常态化升级计划,延长系统使用寿命。搭建运维大数据看板,整合设备运行数据、故障频次、维修时长等信息,实现运维工作可视化、智能化调度,持续优化运维效率,保障系统长期高效、稳定履职。

4.4 风险防控与应急处置预案

围绕系统部署、运行、运维全流程梳理潜在风险点,建立分级风险防控清单,涵盖设备故障、网络中断、数据异常、极端天气、供电不稳等常见隐患,提前制定针对性防控措施,实现风险前置预判、源头管控。针对突发异常情况搭建分级应急响应机制,明确预警等级、响应流程、处置时限和责任分工,配备应急备用设备、临时供电模块、备用通信链路,保障核心监测功能不停摆、关键数据不丢失。同步编制应急处置操作手册,组织一线运维、管控人员开展应急演练,提升故障快速排查、高效处置的实战能力。

5 结语

本次优化通过架构、算法、部署全链条升级,有效解决传统一体化监测系统的痛点难题,提升了监测精度、实时性与稳定性。系统适配多场景环境管控需求,为环保监管提供精准数据支撑与高效决策依据。后续将结合实际运行数据持续迭代优化算法、完善功能,进一步提升系统智能化水平,助力城市生态环境精细化治理与智慧城市建设。

参考文献:

- [1] 张昭,罗鑫迪,郝子坤,等.空气质量及空气颗粒物浓度监测系统设计[J].工业控制计算机,2026,39(01):151-153.
- [2] 吴帅,许琴.环境保护工程中空气监测现场的质量控制措施研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(23):62-64.
- [3] 何锡祯.环境空气质量监测平台的优化与废气排放控制策略研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(22):110-111+114.
- [4] 方勇.环境保护中空气监测现场的质量控制方法[J].大众标准化,2025,(21):13-15.
- [5] 张洋.人工智能在环境监测中的应用策略探讨[J].中国轮胎资源综合利用,2024,(11):75-77.