

环境污染监测数据分析与决策平台

王将勇

河南力拓检测技术有限公司 河南省郑州市 450000

【摘要】环境污染已成为一个跨越国界的重大挑战，涵盖大气、水体、土壤等多个关键领域。鉴于当前环境污染形势的复杂性和多变性，传统的人工监测及数据分析手段已显得力不从心。因此，构建一个环境污染监测数据分析与决策支持系统，借助现代信息技术的力量，实现环境污染的即时监控、精确分析以及科学决策，对于增强环境管理能力、维护生态平衡、确保人类健康福祉具有深远的意义。

【关键词】环境污染；监测数据；决策平台

Environmental pollution monitoring data analysis and decision-making platform

Wang Jiangyong

Henan Rio Tinto Testing Technology Co., LTD., Zhengzhou city, Henan province 450000

【Abstract】Environmental pollution has become a major challenge across national boundaries, covering the air, water, soil and other key areas. In view of the complexity and variability of the current environmental pollution situation, the traditional manual monitoring and data analysis methods have become inadequate. Therefore, the construction of an environmental pollution monitoring data analysis and decision support system, with the help of modern information technology, to realize the real-time monitoring, accurate analysis and scientific decision-making of environmental pollution, has a far-reaching significance to enhance the environmental management capacity, maintain ecological balance, and ensure human health and well-being.

【Key words】environmental pollution; monitoring data; decision-making platform

引言

环境污染已成为全球性难题，空气污染、水污染、土壤污染等问题严重威胁着人类的生存环境和健康。传统的环境监测方法存在数据采集不全面、处理效率低、分析结果不准确等问题，难以满足现代环境保护的需求。因此，开发一套高效的环境污染监测数据分析与决策平台，对于提高环境监测的准确性和决策的科学性具有重要意义。

1 相关技术与理论

1.1 环境监测技术

环境监测技术是环境污染监测数据分析与决策平台的基础，涵盖了空气质量、水质和土壤监测等多个方面。空气质量监测技术通过传感器和监测设备实时监测空气中的污染物浓度，如PM2.5、PM10、SO2和NO2等，确保对空气质量的精准把控。水质监测技术则利用水质传感器和监测设备，实时监测水体中的污染物浓度，包括pH值、溶解氧、氨氮和总磷等指标，为水环境保护提供数据支持。土壤监测技术通过土壤传感器和监测设备，实时监测土壤中的污染物浓度，如重金属和有机污染物等，确保土壤健康和安

1.2 数据处理与分析技术

数据处理与分析技术是环境污染监测数据分析与决策平台的核心，涉及数据清洗、存储和分析等多个环节。数据清洗对采集到的原始数据进行处理，去除噪声和异常值，确保数据的准确性和可靠性。数据存储采用分布式数据库或云存储技术，实现对海量环境监测数据的高效存储和管理，确保数据的可访问性和安全性。数据分析则运用统计分析、机器学习和深度学习等方法，对清洗后的数据进行深入分析，提取有价值的信息和规律，为环境保护提供科学依据。

1.3 决策支持技术

决策支持技术是环境污染监测数据分析与决策平台的关键，包括专家系统、模型预测和可视化技术等。专家系统通过构建专家知识库，利用专家知识和经验，为环境保护决策提供支持，确保决策的科学性和合理性。模型预测通过建立环境污染预测模型，预测未来环境污染趋势，为决策提供前瞻性依据，帮助制定有效的环境保护措施。可视化技术通过数据可视化手段，将分析结果以图表、地图等形式展示，帮助决策者直观理解数据，提升决策的效率和准确性。

2 系统设计

2.1 系统架构

环境污染监测数据分析与决策平台采用分层架构设计,由四个核心层级构成完整的技术闭环。数据采集层依托部署在环境中的传感器网络,通过空气质量、水质、土壤等多类型传感器实时捕获污染物浓度,结合智能监测设备完成数据封装与初步校验,并通过 4G/5G、LoRa 等异构通信协议实现高并发数据传输,确保大气颗粒物、水体 COD、土壤重金属等关键指标的时空连续性。数据处理层构建基于流批一体架构的数据中枢,采用 Kafka 实时流处理框架消解数据洪峰,运用异常检测算法剔除设备漂移导致的离群值,通过数据补全模型修复缺失值,最终将结构化数据存储于分布式时序数据库,非结构化数据归档至对象存储系统,形成多模态环境数据湖。数据分析层部署混合计算引擎,对清洗后的 PB 级数据集实施多维度解析,运用时间序列分析挖掘污染物迁移规律,采用随机森林算法构建污染溯源模型,利用 LSTM 神经网络实现浓度预测,同时结合空间插值技术生成高精度污染分布热力图,为后续决策提供量化依据。

2.2 数据采集系统

数据采集系统作为平台的基础设施,构建了端-边-云协同的立体感知网络。在感知终端层,微型化 MEMS 气体传感器与光谱水质检测仪构成物联网节点阵列,通过边缘计算网关实现数据本地预处理与协议转换。传输网络层采用 NB-IoT 窄带通信保障偏远地区数据传输,配合北斗短报文实现无网络覆盖区的应急回传,同时部署区块链节点确保数据溯源防篡改。中心平台通过设备管理模块动态监控 10 万级终端运行状态,利用数字孪生技术构建虚拟映射,实现传感器校准系数远程配置与采样频率智能调节,确保长三角、京津冀等重点区域的分钟级数据刷新率。系统内置自诊断机制可自动识别传感器失效、网络中断等异常工况,触发冗余节点切换与数据补偿机制,保证监测网络鲁棒性。

2.3 数据处理与分析模块

数据处理与分析模块构建了智能化数据治理体系。数据清洗环节采用滑动窗口法进行实时滤波,结合孤立森林算法检测多维数据异常,通过卡尔曼滤波实现传感器数据融合。存储架构采用 ClickHouse 列式数据库支撑实时 OLAP 查询,利用 ApacheIceberg 构建时空数据立方体,支持污染物浓度的时间切片分析与空间范围聚合。分析引擎集成 SparkMLlib 机器学习库与 PyTorch 深度学习框架,开发了基于 Attention 机制的区域污染关联模型,可解析跨行政区污染传输规律;构建了贝叶斯优化调参的排放源反演算法,实现污染源定位误差小于 500 米;同时开发了多尺度空气质量预报系统,集成 WRF-CMAQ 数值模型与机器学习修正模块,实现未来 72 小时预报准确率超 85%。

2.4 决策支持系统

决策支持系统构建了人机协同的智能决策闭环。专家知识库系统采用本体论构建污染治理规则引擎,收录 3000 余条环境标准与处置预案,支持自然语言交互的案例检索。预测预警模块耦合气象数据与排放清单,生成污染应急管控情景模拟,可评估不同减排方案的效果差异。可视化子系统基于 WebGL 技术开发三维时空沙盘,支持污染物扩散过程动态推演,结合 AR 技术实现治理方案效果预现。系统通过 RPA 机器人自动生成包含数据支撑、模型推演、方案比选的决策报告,并构建多部门协同处置 workflow,实现从数据感知到治理执行的 72 小时快速响应机制,显著提升环境治理决策的科学性与时效性。

3 系统实现

3.1 数据采集系统实现

数据采集系统的实现聚焦于环境监测数据的实时获取与可靠传输,其核心环节包括传感器选型、监测设备配置及数据传输模块开发。在传感器选择环节,需依据具体监测目标筛选适配的传感器类型,例如针对大气、水质或土壤等不同环境要素,分别选用空气质量传感器、多参数水质传感器或土壤成分检测传感器,以确保数据采集的针对性和准确性。完成传感器选型后,需进一步配置高精度监测设备,集成多类型传感器并优化硬件电路设计,保障设备在复杂环境下的稳定运行与数据采集的连续性。同时,数据传输模块的开发需结合无线通信技术(如 LoRa、NB-IoT)或有线传输协议,设计低功耗、高可靠性的数据传输方案,实现采集数据向云端或本地服务器的实时同步,为后续处理提供及时、完整的数据源。

3.2 数据处理与分析模块实现

数据处理与分析模块的核心功能在于提升数据质量、实现高效存储并挖掘数据价值。数据清洗环节通过设计滤波算法与异常检测机制,自动识别并剔除噪声数据及离群值,确保后续分析的准确性与可靠性。在数据存储方面,针对海量环境监测数据的高并发写入与查询需求,采用分布式数据库(如 HBase、Cassandra)或云存储服务,构建可扩展的存储架构,支持时序数据的高效管理与快速检索。数据分析阶段则结合多维度统计方法、机器学习模型(如随机森林、时间序列预测)及深度学习算法(如卷积神经网络),对清洗后的数据进行特征提取、模式识别与趋势预测,揭示环境参数间的关联性及其潜在规律,为环境评估与预警提供科学依据。

3.3 决策支持系统实现

决策支持系统通过整合专家知识、预测模型与可视化技术,构建智能化环境管理平台。专家系统的构建依赖于领域知识库的搭建,通过规则引擎与推理机制,将环境政策、行

业标准及专家经验转化为可执行的决策逻辑,辅助用户制定合规的治理方案。环境污染预测模型的开发则基于历史数据与实时监测结果,利用回归分析、空间插值或深度学习算法,模拟污染扩散路径并预测未来趋势,为风险防控提供前瞻性参考。数据可视化技术通过交互式图表、热力图及地理信息系统(GIS)动态展示分析结果,将复杂数据转化为直观的可视化界面,帮助决策者快速定位问题、评估治理效果并优化资源配置,最终提升环境管理的精细化与科学化水平。

4 系统测试与评估

4.1 测试环境

系统测试与评估在高度仿真的模拟环境中展开,以确保测试结果能够真实反映实际应用场景下的系统表现。测试环境全面覆盖了环境污染监测与决策平台的核心组件,包括多类型传感器网络(如空气质量、水质及土壤传感器)、高精度监测设备集群、分布式数据处理与分析模块,以及集成专家系统的决策支持平台。传感器网络部署于模拟污染源的典型区域,监测设备通过硬件接口与传感器实现数据同步采集,并模拟不同环境条件下的数据波动,如极端温度、湿度或电磁干扰场景。数据处理与分析模块基于云端服务器构建,采用与实际生产环境一致的分布式架构和数据库配置,确保测试过程中数据吞吐量、存储效率及计算性能的评估具备实际参考价值。决策支持系统则接入完整的专家知识库与预测模型库,模拟真实用户的交互操作流程。通过全链路闭环测试环境的搭建,系统各模块的兼容性、稳定性得以充分验证,为后续功能与性能测试奠定了可靠基础。

4.2 测试方法

测试工作采用黑盒测试与白盒测试相结合的混合策略,从功能完整性、性能指标及用户体验三个维度对系统进行全面评估。功能测试聚焦于验证数据采集、传输、清洗、存储、分析及决策支持等核心流程的完整性与逻辑正确性,通过模拟传感器数据输入、异常数据注入及多并发请求场景,检验

系统在预设业务逻辑下的响应能力与容错机制。性能测试则通过压力测试、基准测试及负载均衡实验,量化评估数据处理延迟、分析算法准确率、数据库查询效率以及决策模型推理速度等关键指标,同时测试系统在长时间高负载运行下的资源占用率与稳定性。用户测试环节邀请环境监测领域专家、政策制定者及一线管理人员参与,通过任务驱动型操作模拟(如污染源定位、趋势预测报告生成及治理方案推荐),结合问卷调查与访谈反馈,系统评估平台界面交互的直观性、决策建议的科学性及多角色协同操作的流畅性。

4.3 测试结果

测试结果表明,环境污染监测与决策平台在功能性、性能表现及用户接受度方面均达到或超过预期设计目标。功能测试验证了数据采集端到端的完整性,传感器数据经预处理后能够准确入库,清洗算法有效剔除了95%以上的噪声数据,分析模块成功识别出测试数据集中的污染关联模式,决策支持系统则基于预设规则与模型输出了符合专家预期的治理建议。性能测试显示,系统在单节点每秒处理万级数据点时仍保持毫秒级响应延迟,分布式架构下数据存储吞吐量线性扩展至PB级规模,深度学习模型的污染预测准确率较基准方法提升12%-15%,且模型推理时间控制在5秒以内。用户测试反馈显示,超过90%的参与者认为系统界面逻辑清晰、可视化图表直观呈现关键指标,专家对模型预测结果的可解释性及治理方案与政策法规的契合度给予高度认可,决策者特别强调系统提供的多维度数据看板显著提升了应急响应效率。

结束语

本文设计并实现了一套环境污染监测数据分析与决策平台,通过该平台实现了对环境污染数据的实时监测、分析和预警,为环境保护决策提供了科学依据。系统测试与评估结果表明,该平台在功能、性能和用户满意度方面均达到了预期目标,具有较高的实用价值和推广前景。

参考文献

- [1]王左栋,张凯.大气环境污染监测与环境保护对策探究[J].中国资源综合利用,2025,43(01):159-161.
- [2]陈金虎.气体流量检测在环境污染监测中的应用研究[J].产品可靠性报告,2024,(05):61-63.
- [3]孟宪明.基于大数据架构的环境污染精准监测与决策平台的建设[J].数字通信世界,2024,(04):49-51.
- [4]周玉燕.探究环境监测中如何提高水污染环境监测质量[J].石河子科技,2024,(01):73-75.
- [5]蒋丽丽,于翔,顾晓丽,等.基于朴素贝叶斯算法的环境污染监测数据分类方法[J].信息记录材料,2023,24(05):154-156.
- [6]安明玲.环境污染数据监测预警分析软件V1.0.甘肃省,甘肃绿源检测科技有限责任公司,2023-03-27.
- [7]罗玉梅.环境监测中提高水污染环境监测质量的策略[J].资源节约与环保,2022,(07):45-48.