

基于物联网的水资源实时监测与调度技术研究

李晶莹, 岳云奎

(黄河水利委员会山东水文水资源局, 山东 济南 250000)

摘要 水资源是社会经济可持续发展的重要保障, 但受气候变化与人类活动的影响, 水资源短缺和分配不均问题日益突出。传统的水资源监测与调度方式存在响应滞后、信息化程度低、数据孤立等问题, 难以满足现代水资源管理的需求。物联网技术凭借其高度自动化、实时监测和智能分析的优势, 为水资源管理提供了全新的技术手段。本文研究了基于物联网的水资源实时监测系统的组成与关键技术, 分析了传感器数据采集、无线通信、数据处理与异常检测等核心环节, 并探讨了智能调度方法在优化水资源配置中的作用, 以期为提高水资源管理的精细化与智能化水平提供借鉴, 进而优化水资源配置, 促进其可持续利用。

关键词 物联网; 水资源管理; 实时监测; 智能调度; 数据分析

中图分类号: TP393; TV213.9

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.041

0 引言

水资源的高效管理对社会经济的可持续发展至关重要, 但受气候变化、人口增长及工业化进程加快等因素影响, 水资源短缺与分配不均问题日益严峻。传统的水资源监测与调度依赖人工巡检和经验决策, 存在数据采集滞后、调度响应缓慢、优化能力不足等局限, 难以满足现代化精细管理的需求。物联网技术的快速发展为水资源管理提供了新的技术手段, 通过传感器网络、无线通信、大数据分析等, 实现水资源状态的实时感知、远程传输及智能决策, 显著提高监测精度和调度效率。在实际应用中, 基于物联网的水资源管理系统可对水质、水量等参数进行连续监测, 并结合智能调度算法优化水资源配置。

1 物联网在水资源监测中的应用

1.1 物联网技术概述

物联网 (IoT) 凭借智能传感器、无线通信、大数据分析和人工智能技术, 在水资源管理中展现出巨大潜力。该技术体系由感知层、网络层和应用层构成。感知层通过水质、水量、流速、温度等传感器获取关键参数, 实现实时监测。网络层采用 NB-IoT、LoRa、5G、Wi-Fi 等通信方式, 确保数据稳定高效传输。应用层基于云计算和人工智能处理数据, 提供远程监测、自动预警和智能调度功能。物联网技术使水资源监测从传统人工巡检模式转向实时、精准、智能化管理, 提高资源利用效率。

1.2 水资源实时监测系统的组成

物联网水资源监测系统主要由智能传感器网络、

数据采集与传输模块、云计算分析平台、远程监控系统及智能调度系统组成。智能传感器网络分布于河流、水库、地下水系统及供水管网, 利用 pH、溶解氧、电导率、超声波水位及流量传感器获取数据, 确保监测的全面性与准确性。数据采集与传输模块采用 NB-IoT、LoRa、5G 等无线通信技术, 将监测数据远程传输至云端, 同时结合边缘计算提升数据处理效率^[1]。云计算分析平台通过人工智能和大数据技术存储、分析水资源数据, 提供趋势预测和优化建议。远程监控系统基于 GIS 可视化呈现水资源状况, 并在检测到异常时自动预警, 提高应急响应能力。智能调度系统结合气象预测、历史用水数据和实时监测信息, 优化水资源配置, 减少浪费, 提升利用效率。

1.3 水资源数据分析与异常检测

高效的数据分析和异常检测能力是物联网水资源监测系统的核心。基于机器学习的水资源数据分析利用回归分析、支持向量机 (SVM) 及长短期记忆网络 (LSTM) 等算法, 提高水资源预测精度和调度科学性^[2]。异常检测技术通过 Z-Score、箱型图识别极端值, K-means 聚类分析检测异常数据模式, ARIMA 和 LSTM 等时序分析方法预测突发变化, 如水污染或水位骤降, 增强系统预警能力。GIS 技术可直观展示水污染分布、水流变化等信息, 使管理者迅速掌握水资源状况, 并基于数据趋势制定科学决策。Hadoop、Spark 等大数据平台支持海量数据存储和处理, 确保数据分析的实时性与精准度。物联网技术的深度融合, 使水资源监测向智能化、动态化发展, 为精细化水资源管理提供了强有力的技术支撑。

2 基于物联网的水资源实时监测技术

2.1 物联网水资源监测系统架构

物联网水资源监测系统采用分层架构设计, 涵盖感知层、网络层、平台层和应用层, 以确保数据采集、传输、存储和应用的高效协同。感知层由分布式部署的水质、水位、流量及环境传感器组成, 实现水资源状态的实时监测。网络层利用 NB-IoT、LoRa、5G 等无线通信技术或光纤网络, 将监测数据传输至平台层。平台层基于云计算、大数据分析和人工智能技术, 对数据进行存储、处理与分析, 识别异常状况并提供优化建议。应用层则通过远程监控、数据可视化、智能预警和调度优化等功能, 为水资源管理提供决策支持。例如, 在流域污染监测中, 系统可实时采集水体污染数据, 并通过智能分析预测污染扩散趋势, 及时向管理部门推送预警信息, 提高水环境治理的响应能力。

2.2 智能传感器技术

智能传感器是水资源监测的核心部件, 具备自动采集、数据预处理和远程传输等功能, 能够提高监测的精准度和稳定性。常见传感器包括 pH 传感器、溶解氧传感器、电导率传感器和浊度传感器, 主要用于水质监测; 超声波水位传感器、雷达水位计及流量传感器则广泛应用于水文监测。近年来, 智能传感器正朝着微型化、低功耗、高稳定性和自校准方向发展, 部分高精度传感器已集成边缘计算功能, 可在本地进行初步数据分析, 减少数据冗余, 提高传输效率。例如: 光纤传感技术已成功应用于长距离水质监测, 可在复杂水环境下提供高精度数据, 同时降低维护成本。

2.3 无线通信技术

无线通信技术是物联网水资源监测系统的关键环节, 影响数据传输的稳定性、覆盖范围和能耗表现。不同应用场景采用不同的通信方式, 以适应环境特点和数据需求。NB-IoT 适用于远程低功耗监测, 如地下水资源管理; LoRa 因具备长距离传输和低能耗特性, 适合用于农业灌溉系统或山区水资源监测; 5G 技术凭借高带宽、低延迟优势, 可用于城市供水管网的实时监控; 而卫星通信则适用于偏远地区的水文监测, 确保数据的全球覆盖与稳定传输^[3]。例如: 在山区河流监测项目中, 由于地形复杂、基站覆盖有限, 研究人员采用 LoRa 通信技术, 实现低功耗、长距离数据传输, 有效克服了传统通信方式的局限性。

2.4 数据采集与传输技术

高效的数据采集与传输技术是物联网水资源监测

系统运行的基础, 决定了系统的数据精度、实时性和稳定性。在数据采集环节, 智能传感器定期测量水质、水位、流速等参数, 并通过边缘计算技术进行本地预处理, 筛选异常数据, 减少冗余传输, 提高响应速度。在数据传输过程中, 采用 MQTT、CoAP 等轻量级协议优化数据流管理, 不仅能降低带宽占用, 还能提高数据包的稳定性和安全性。在关键水资源区域, 为确保监测数据的稳定传输, 常采用双重通信机制, 如无线通信与光纤网络结合, 以增强系统的容错性和可靠性。例如: 在大型水库管理系统中, 通过边缘计算网关对传感器数据进行初步分析, 仅将异常情况上传至云端, 大幅降低带宽消耗, 并提升数据处理效率。

3 基于物联网的水资源智能调度技术

3.1 水资源调度的基本理论

水资源调度的核心目标是优化水资源的分配和利用, 以满足农业、工业、生态及生活等多领域的用水需求, 同时降低水资源浪费, 提高系统的运行效率。传统的水资源调度方式主要依赖人工经验和历史数据, 难以适应水资源时空分布不均、需求变化复杂的现实情况。气候变化、人口增长及经济发展进一步加剧了水资源调度的不确定性, 使得传统方法在精准性和灵活性上存在明显不足。

智能调度技术的引入, 为水资源管理提供了更为科学的解决方案。基于物联网的智能调度系统能够实时监测水资源的供需状况, 并结合数学优化模型和人工智能技术, 动态调整供水策略, 提高水资源的利用效率。智能调度理论体系主要包括两类模型: 确定性优化模型和不确定性优化模型。确定性优化模型适用于供需关系稳定、外部变量相对可控的情况, 主要采用线性规划、动态规划、网络流模型等方法求解最优调度方案。在实际应用中, 水库调度、城市供水系统优化等常采用此类方法, 以实现水资源的均衡配置。不确定性优化模型则考虑到气象变化、水资源突发状况及供需波动等因素, 结合随机优化、模糊优化和强化学习等技术, 提高调度方案的适应性。例如: 基于马尔可夫决策过程 (MDP) 的水资源调度模型, 可在不同气象条件和水库水位波动情况下, 自主调整供水策略, 提升系统的鲁棒性和响应能力。

3.2 物联网赋能的智能调度方法

物联网技术为水资源智能调度提供了数据支撑和自动化能力, 使得调度系统能够基于实时监测数据进行优化决策。数据驱动调度、优化算法调度和智能预

测调度是当前物联网水资源智能调度的主要方法。

数据驱动调度依托物联网传感器实时获取水位、水质、流量等关键信息,并结合历史数据分析,形成动态调度方案。实时监测技术的进步,使得水资源管理系统能够在短时间内完成数据采集、处理和反馈,实现供需平衡的动态调整。例如:在农业灌溉管理中,基于传感器网络和气象数据的智能灌溉系统可以根据土壤湿度、蒸发量及降雨预报,自动调整灌溉量,避免水资源浪费,同时提高作物产量。

优化算法调度利用数学优化方法,在复杂供需条件下求解最优水资源分配策略。遗传算法、粒子群优化算法(PSO)、蚁群算法(ACO)等智能优化技术在水资源调度中得到了广泛应用。这些算法能够在大规模、多变量的调度问题中找到最优解,提高水资源利用率,并降低调度成本^[4]。例如:在城市供水网络优化中,粒子群优化算法可以用于计算最优供水路径和压力分配,减少管网泄漏和能耗,提高供水效率。

智能预测调度则依靠深度学习和强化学习方法,对未来用水需求和供水能力进行预测,并提前调整调度策略。基于长短期记忆网络(LSTM)的预测模型,可以利用历史用水数据和气象信息,精准预测未来供水需求,优化水库调度方案,提高水资源利用效率。深度强化学习(DRL)技术能够在复杂环境下,自主学习最优调度策略,使系统具备自适应能力。

3.3 水资源调度系统的构建与实现

基于物联网的水资源智能调度系统由数据采集层、计算分析层和控制执行层组成,各部分相互协同,确保调度的实时性、精准性和可靠性。

数据采集层通过分布式传感器网络获取水位、流量、水质、降水量等关键数据,并通过 LoRa、NB-IoT 或 5G 网络进行无线传输。水资源调度的精准性依赖于数据的全面性和实时性,因此,采集系统需具备高精度、低能耗和稳定传输能力。云计算与边缘计算的结合,使得部分数据在本地完成处理,仅上传关键信息,减少网络负荷,提高数据传输效率。

计算分析层负责数据的存储、处理和调度优化。基于大数据分析和人工智能技术,该层可进行数据异常检测、趋势预测和智能优化计算。GIS(地理信息系统)可视化技术用于展示水资源的空间分布及调度方案,使管理人员能够直观掌握系统运行状况。优化算法和机器学习模型在计算分析层发挥核心作用,确保调度决策的科学性和高效性。

控制执行层通过远程控制技术,实现调度方案的

精准执行。智能水阀、泵站控制系统和水库闸门可根据调度指令自动调整供水量,优化水资源配置。例如:在城市供水系统中,智能调度系统可根据用水高峰期和低谷期,动态调整供水量,降低能源消耗,提高供水稳定性^[5]。智能调度系统的核心功能包括实时监测、智能预测、动态优化和自动执行。在实时监测阶段,物联网传感器对水资源状态进行连续监测,并通过异常检测算法识别突发情况,如管网泄漏或水质污染。智能预测阶段利用深度学习和时间序列分析技术,预测未来供需变化,提前制定调度预案。动态优化阶段基于数学优化模型,计算最优调度策略,减少水资源损耗,提高供水效率。自动执行阶段结合工业自动化控制系统,远程调整水资源配置,确保调度方案的高效执行。

4 结束语

水资源的合理管理和高效调度是实现可持续发展的关键,物联网技术的应用为水资源的实时监测与智能调度提供了新的解决方案。通过智能传感器、无线通信、大数据分析和优化算法的结合,物联网不仅提升了水资源监测的精准度和响应速度,也为智能调度提供了科学决策依据。水资源的时空分布不均、供需变化复杂性以及突发性问题,要求调度系统具备更强的适应性和自学习能力。人工智能、边缘计算和区块链等前沿技术的融入,将进一步提高系统的智能化水平和数据安全性,推动水资源管理向更高效、更精准、更可持续的方向发展。在智慧水务建设的趋势下,物联网技术的深入应用将促使水资源管理模式从被动响应向主动预测、从经验决策向数据驱动、从传统调度向智能优化演进,助力全球水资源的科学配置和可持续利用,为生态保护、经济发展和社会稳定提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 聂雄.基于物联网的工业供水管网监测系统及用水量预测研究[D].淮南:安徽理工大学,2024.
- [2] 赵引弟,张鹏.智能化水库管理技术在水资源调配中的应用[J].水上安全,2025(02):73-75.
- [3] 张玉明.水文水资源监测现状及数据维护管理措施[J].水上安全,2023(06):31-33.
- [4] 徐旭栋,陈伟利.基于物联网技术的水质远程监测系统[J].电器工业,2025(01):73-76,81.
- [5] 孙博阳.基于物联网技术的水资源利用平台在智慧水务领域的运用[J].产业创新研究,2024(24):59-61.