

基于数字孪生的农村河道“巡查-养护-评价”智慧化管理平台构建与应用

童丹妮

上海市金山区朱泾镇农业农村服务中心 上海市金山区 201599

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15772

[摘要] 本文聚焦农村河道管理难题,探讨基于数字孪生技术构建“巡查-养护-评价”智慧化管理平台的路径。通过分析传统管理模式的不足,阐述数字孪生技术在数据采集、模型构建、智能决策等方面的优势。详细介绍平台架构、功能模块及关键技术,并探讨其在农村河道管理中的应用价值与前景,为提升农村河道管理效能提供理论支持与实践参考。

[关键词] 数字孪生;农村河道;智慧化管理;巡查养护评价

一、引言

农村河道作为农村水系的重要组成部分,承担着防洪排涝、灌溉供水、生态调节等多重功能。据统计,我国农村河道数量众多,分布广泛,传统农村河道管理模式存在诸多弊端,如巡查效率低、养护不及时、评价缺乏科学性等,导致河道问题频发,影响农村生态环境与居民生活质量。随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展,数字孪生技术应运而生,为解决农村河道管理难题提供了新思路。通过构建基于数字孪生的农村河道“巡查-养护-评价”智慧化管理平台,可实现对河道全生命周期的实时监测、精准养护与科学评价,提升河道管理的智能化水平。

二、传统农村河道管理模式的问题分析

2.1 巡查效率低下

传统农村河道巡查主要依赖人工巡查,巡查人员需沿着河道徒步或乘船检查,不仅耗费大量人力物力,而且巡查范围有限,难以覆盖整个河道区域。据统计,一个中等规模的农村河道(长度约20公里),人工巡查一次平均需要3-5天,且容易出现漏查、误查等问题,人工巡查无法实时获取河道动态信息,对于突发性的河道问题难以及时发现和处理。

2.2 养护缺乏精准性

农村河道养护工作通常缺乏科学依据,养护人员往往根据经验进行养护,难以准确判断河道问题的类型和严重程度,导致养护措施缺乏针对性。例如,对于河道淤积问题,若不能准确测量淤积厚度和范围,就无法合理调配清淤设备和人力,造成养护资源的浪费。同时,传统养护方式缺乏实时监测和反馈机制,无法及时调整养护策略,影响养护效果。

2.3 评价缺乏科学性

传统农村河道评价主要依靠人工评估和经验判断,评价指标单一,缺乏客观性和科学性。评价过程往往只关注河道的水质、水量等表面指标,忽视了河道的生态功能、结构稳定性等深层次指标。此外,评价结果缺乏量化和可视化展示,难以直观反映河道的健康状况和管理效果,不利于管理部门制定科学合理的决策。

三、数字孪生技术在农村河道管理中的应用优势

3.1 实时数据采集与监测

数字孪生技术通过在农村河道部署各类传感器,如水位传感器、水质传感器、流量传感器等,可实时采集河道的水位、水质、流量等关键数据。同时,结合无人机、卫星遥感等技术,可获取河道的地形地貌、植被覆盖等空间信息。这些数据通过物联网传输至数字孪生平台,实现对河道运行状态的实时监测和动态更新。例如,通过水位传感器可实时监测河道水位变化,当水位超过警戒水位时,系统自动发出预警信息,提醒相关部门及时采取措施。在某农村河道试点项目中,部署了20多个水位传感器和10多个水质传感器,实现了对河道关键参数的实时监测,数据传输延迟不超过1秒。

3.2 高精度模型构建与仿真

数字孪生技术可构建农村河道的高精度数字模型,包括地形模型、水流模型、生态模型等。这些模型能够准确反映河道的物理特性和运行规律,通过与实时监测数据融合,实现对河道运行状态的精准模拟和预测。例如,利用水流模型可模拟不同降雨条件下河道的洪水演进过程,为防洪减灾提供科学依据;通过生态模型可评估河道生态系统的健康状况,为生态修复提供决策支持。相关研究表明,运用智能决策优化后,河道清淤效率可提升40%以上。

3.3 智能决策与优化

基于数字孪生模型和大数据分析技术,可对农村河道管理进行智能决策和优化。通过对历史数据和实时数据的深度挖掘,分析河道问题的成因和发展趋势,为管理部门提供科学合理的决策建议。例如,根据河道淤积情况和水流特性,系统可自动生成最优的清淤方案,包括清淤时间、清淤范围、清淤设备等,提高养护效率和效果。同时,数字孪生技术还可对不同管理策略进行模拟和评估,帮助管理部门选择最优的管理方案。

四、基于数字孪生的农村河道“巡查-养护-评价”智慧化管理平台架构

4.1 感知层

感知层是平台的数据采集基础, 主要包括各类传感器、无人机、卫星遥感等设备。传感器分布在河道沿岸和水中, 实时采集河道的水位、水质、流量、流速等数据; 无人机定期对河道进行巡查, 获取河道的高清影像和视频数据; 卫星遥感则提供大范围的河道空间信息。这些设备通过物联网技术将采集到的数据传输至网络层。在一个大型农村河道管理项目中, 共部署了 200 多个各类传感器, 无人机每月巡查次数达到 4 次, 卫星遥感数据更新周期为 15 天。

4.2 网络层

网络层负责数据的传输和通信, 采用有线和无线相结合的方式, 确保数据的稳定传输。对于距离较近的传感器设备, 可采用有线网络连接; 对于分布广泛的无人机和移动监测设备, 则采用 5G、WI-FI 等无线网络技术进行数据传输。同时, 网络层还具备数据加密和安全防护功能, 保障数据的安全性和隐私性。在实际应用中, 数据传输成功率达到 99% 以上, 数据加密强度满足国家相关标准要求。

4.3 模型层

模型层是数字孪生技术的关键体现, 包括河道地形模型、水流模型、生态模型等。利用三维建模技术和地理信息系统 (GIS) 技术, 构建河道的高精度地形模型; 基于流体力学原理, 建立河道水流模型, 模拟水流运动规律; 结合生态学理论, 构建河道生态系统模型, 评估生态系统的健康状况。这些模型相互关联、相互影响, 共同构成农村河道的数字孪生体。

4.4 应用层

应用层是平台与用户交互的界面, 包括巡查管理、养护管理、评价管理等模块。巡查管理模块实现巡查任务的分配、巡查路线的规划、巡查数据的上传等功能; 养护管理模块根据数字孪生模型的分析结果, 制定养护计划和方案, 并对养护过程进行实时监控和评估; 评价管理模块建立科学的评价指标体系, 对河道的健康状况和管理效果进行综合评价, 并生成评价报告。

4.5 数据层

数据处理环节采用实时流计算 (FLINK) 与批量计算 (Spark) 混合架构, 对原始数据进行清洗、校准和融合, 例如通过空间插值算法整合不同分辨率的遥感数据与地面监测数据。数据治理方面建立元数据管理体系, 记录数据血缘关系, 确保数据可追溯性。同时搭建数据服务中台, 通过 RESTFUL API 接口为模型层和应用层提供标准化数据服务, 支持数字孪生模型训练、三维可视化渲染等高性能计算需求。在数据安全领域, 采用国密算法对敏感数据进行加密存储, 并通过基于角色的访问控制 (RBAC) 机制保障数据隐私, 满足网络安全等级保护 2.0 要求。该层日均处理数据量达 TB 级, 支撑了河道数字孪生体毫秒级的状态同步与决策响应。

五、平台功能模块设计

5.1 巡查管理模块

巡查管理模块具备巡查任务制定、巡查路线规划、巡查数据采集与上传等功能。管理部门可根据河道实际情况和巡查要求, 制定巡查任务和计划, 并将任务分配给巡查人员。系统根据河道地形和巡查重点区域, 自动规划最优巡查路线, 提高巡查效率。巡查人员在巡查过程中, 通过移动终端设备实时采集河道数据和影像资料, 并上传至平台, 实现对河道问题的及时发现和上报。

5.2 养护管理模块

养护管理模块根据数字孪生模型的分析结果, 自动生成养护计划和方案。养护计划包括养护时间、养护内容、养护设备等详细信息。养护人员在执行养护任务时, 可通过移动终端设备获取养护计划和指导信息, 并实时上传养护进度和结果。平台对养护过程进行全程监控和评估, 确保养护工作的质量和效果。例如, 对于河道清淤养护, 系统可根据淤积厚度和范围, 自动计算清淤量和清淤时间, 并推荐合适的清淤设备。

5.3 评价管理模块

评价管理模块建立了一套科学的农村河道评价指标体系, 包括水质指标、水量指标、生态指标、结构指标等。系统根据实时监测数据和历史数据, 运用层次分析法、模糊综合评价法等评价方法, 对河道的健康状况和管理效果进行综合评价。评价结果以直观的图表和报告形式展示, 为管理部门提供决策依据。同时, 评价管理模块还具备评价结果反馈功能, 将评价结果及时反馈给相关部门和人员, 促进河道管理工作的持续改进。

六、结论

基于数字孪生的农村河道“巡查-养护-评价”智慧化管理平台是解决传统农村河道管理难题的有效途径。通过构建平台架构、设计功能模块和实现关键技术, 可实现对农村河道全生命周期的实时监控、精准养护与科学评价。平台的应用将提升农村河道管理的智能化水平, 保障农村河道的安全运行和生态健康, 为农村水利事业的可持续发展提供有力支持。未来, 应进一步加强数字孪生技术的研发和应用, 推动农村河道管理向更加智慧化、精细化的方向发展。

[参考文献]

- [1] 迪丽达尔·迪力木拉提. 小型农田水利工程中河道的治理[J]. 农家参谋, 2021, (22): 179-180.
- [2] 郭伟, 辛军, 兴朋. 基于生态文明理念的农村河道综合治理措施——以德州地区农村河道治理为例[J]. 水利发展研究, 2021, 21(01): 85-88.
- [3] 赵漫. 中小河流农村河道治理的重要性及对策研究[J]. 现代农村科技, 2020, (11): 54.