

内河航道智慧管养技术与实践研究

管宇豪¹ 俞中奇¹ 罗劲松¹ 李梦宇²

1.湖州市港航管理中心 浙江 湖州 313000

2.浙江工业大学工程设计集团有限公司 浙江 杭州 310000

【摘要】：内河航道是现代综合交通体系重要组成，其养护水平直接影响内河水运质量。当前我国航道管养存在发展不均、通行不畅等痛点，制约高质量发展。浙江省遵循“管养并重、绿色生态”原则，以湖州航道数字化改革为切入点，构建集成病害识别、智能监测等核心功能的 AI 驱动智慧管养平台，以数字化手段实现养护精准管控，为湖州港航管养提供支撑，也为全国航道养护数字化转型提供可借鉴范例，助力现代化内河水运体系建设。

【关键词】：内河航道；智慧管养；人工智能；数字化转型

DOI:10.12417/2811-0536.26.03.052

1 研究背景与关键技术

1.1 研究背景

本研究立足我国内河水运高质量发展需求，针对当前航道管养发展不平衡、监管效率低、协同性不足等行业痛点，以国家相关战略及文件精神为指引，开展系统性技术研发与实践探索。内河航道作为基础性交通设施，其养护管理水平直接影响区域经济联通效能。为破解传统管养模式瓶颈，浙江省秉持“管养并重、绿色生态、突出重点、分类维护、保障畅通”原则，以湖州航道养护数字化改革为实践载体，构建人工智能驱动的智慧管养体系，核心围绕数字化智能感知关键技术研发及预警平台集成展开，通过数字化、智能化手段实现航道养护全流程精准高效管控，旨在提升湖州港航管养水平、保障航道通畅安全，同时形成可复制推广的数字化转型范例。

1.2 关键技术研究

(1) 船载多源感知与边缘计算技术：船载场景复杂、动态且网络不稳定，对感知数据的实时性、准确性、可靠性要求极高。本技术通过多传感器融合采集数据，结合边缘计算本地实时处理，降低云端依赖、提升响应速度，核心包括三方面：一是选取 GPS、800 万像素摄像头等传感器，统一接口实现标准化接入，工业级封装保障恶劣环境稳定；二是采用 Nvidia GPU 加速边缘计算盒子（≥21TOPS 算力），分层调度任务（实时任务本地优先，非实时任务择机传云端），减少冗余传输、保障断网功能；三是通过卡尔曼滤波算法融合 GPS 与惯性导航数据，提升定位精度。技术以

工业级硬件、抗干扰设计及轻量化调度，解决传感器稳定性与资源调度难点，提供高质量实时数据支撑。

(2) AI 视觉智能识别技术：传统人工监控在船载场景病害识别中存在效率低下、漏判误判率高的弊端。AI 视觉智能识别技术通过对船载摄像头采集的视频流进行智能分析，实现关键目标与异常行为的自动识别及预警，有效提升监管智能化水平。

核心研究内容为多场景问题导向的 AI 算法识别库构建与模型开发。围绕水域岸线监管核心需求，建立覆盖护岸破损坍塌、绿化倒伏、堆土、重型器械、船舶违章停靠、河道垃圾六类典型问题的 AI 算法识别库。通过船舶巡逻搭载的 800 万像素高清摄像机，采集覆盖不同光照、水文条件的多样化实景数据，采用随机裁剪、翻转、亮度调节等数据增强技术扩充数据集规模，提升模型泛化能力。针对不同问题特征差异设计差异化模型架构：对护岸破损坍塌等结构化场景缺陷，采用 DeepLabV3+ 语义分割模型实现精准区域分割与缺陷程度判定；对堆土、河道垃圾等目标类问题，基于 YOLO 系列目标检测算法构建模型，优化 anchor 框尺寸适配不同尺度目标。

(3) 智能表单技术：航道工程业务涉及大量表单处理，传统纸质报表存在填写繁琐、流转慢、归档难等痛点。SpreadJS 报表与电子签章融合技术，依托 SpreadJS 报表引擎构建标准化模板，对纸质报表数字化升级，结合电子签章实现在线填报、办理与合法签章，破解数据孤岛难题。

其核心研究包括三方面：一是依托 SpreadJS 表格

作者简介：管宇豪，男（1995-），汉族，浙江湖州人，本科学历，湖州市港航管理中心干部，从事航道管理工作。

编辑、公式计算功能,搭建 200 余张覆盖进度、质量、安全、运维的全业务场景数字化表单模板,预设固定与动态字段,通过 API 接口关联边缘计算节点数据实现实时更新,支持在线手动编辑;二是集成符合《电子签名法》的第三方电子签章服务,采用 USB-Key 与账号密码双重认证,基于 SM2 国密算法加密签章,记录关键信息形成可追溯日志;三是设计融合交互功能,支持一键签章及多审批节点依序签章,数据修改时自动提示签章失效需重审,签章报表以 PDF 格式存储于边缘节点及云端,支持关键词检索。该技术通过统一模板规范、数据编码标准及变更检测、合规加密机制,解决表单标准化适配、数据一致性保障等难点,推动航道工程文档管理电子化、规范化转型。

(4)平台集成与数据互通技术:智慧航运背景下,船载智能监管与数据管理平台需整合多源异构数据、实现高效协同,针对现存数据孤岛问题,平台集成与数据互通技术构建统一集成架构及数据交互标准,全面接入航标遥控遥测、水位监测等设备信息,达成“一图总览”可视化。核心研究含两方面:一是采用微服务架构拆分数据采集、边缘计算、AI 识别等功能模块,新增设备专属接入微服务;模块通过 RESTful API 通信,依托 Eureka 实现动态管理与负载均衡, Docker 容器化保障异构环境跨平台运行,支撑多终端协同。二是制定覆盖船载感知、设备运行等数据的统一交换标准,建立“一数之源”治理体系;以 JSON 为传输格式,基于 MQTT 协议设计轻量化传输方案,结合 QoS 等级保障关键数据可靠传输,同步用 SM2 国密算法全流程加密。

该技术通过微服务与容器化融合架构、统一数据标准,解决多异构系统兼容对接、全域数据标准化治理等难点,形成技术创新、安全兼容、多终端协同的核心优势。

2 平台框架

系统采用 B/S 结构与 JAVAEE 技术路线,客户端与服务器通过 TCP、HTTP 协议通讯,电子报文采用 XML 标准定义,共享数据交换消息使用 JSON 格式定义。

系统开发基于 SpringBoot 基础框架,具备统一授权、认证后台管理系统,包含用户管理、资源权限管理、网关 API 管理等模块,支持多业务系统并行开发;核心技术采用 SpringBoot 及 SpringCloud 相关组件, Mybatis-plus 负责持久层, Shiro 负责安全鉴权,前端采用 antidesign、vue 组件。

系统自下而上分为七层架构:基础设施层、信息

感知层、网络传输层、资源数据层、支撑平台层、应用服务层、展示层,通过层级化设计实现功能模块化与数据高效流转,保障系统稳定运行与灵活扩展。

3 平台内容

(1)电子签章服务:搭建系统私有化电子签章服务,在业务流转及审核过程中,支持用户在电子化表格中在线签字、盖章。系统记录完整签署流程信息,包括发起方、签署人、签署时间、所属组织等关键数据,确保签章行为合法可追溯,实现业务审批全流程电子化闭环。

(2)病害智能识别分析:基于航道已建感知设备的视频资源,智能获取视频流并进行智能分析,识别护岸绿化、树木、岸基结构等关键目标的异常状况,包括护岸损坏、树木倒伏等病害类型。系统对画面结构异常情况自动报警并通知工作人员复核,支持异常报警数据的统计与分析,可按航道名称、告警时间、告警类型等条件进行查询筛选。

(3)智能表单:引入 SpreadJS 报表构建高性能工程报表模板,完成 200 余张航道工程表单的数字化改造,实现原纸质报表的在线填报、在线办理与电子签章全覆盖。表单数据可通过接口与现场采集数据实时同步,支持手动编辑补充,解决传统纸质报表流转慢、归档难的问题。

(4)沉降监测:对航道护岸实施全天在线监测,高频率自动采集护岸表面位移、地表沉降等参数,包括 X 轴、Y 轴、H 轴位移及二维、三维位移数据。系统以曲线图形式直观展示监测数据变化趋势,当沉降、位移达到预警阈值时自动报警,实时掌握航道护岸安全状态。

(5)疏浚船监管:整合物联网技术,通过船载 GPS、摄像头等硬件设备,对疏浚船运输施工全过程进行定位监控,实现航道维护疏浚的运行监控、业务管理、智能调度与决策支持。系统可展示船舶行驶轨迹、行驶里程、平均速度、运输时长等数据,分析船舶行驶状态,确保疏浚物外抛到位,推动安全生产与淤积规律分析。

(6)养护信息库:对航道库、项目库、单位库、计量价格库进行系统化管理。航道库登记辖区航道名称、编号等信息;项目库涵盖专项养护、例行养护等各类项目,记录项目名称、位置、编号、工程造价、年份、状态等详细数据,支持项目信息的新增、编辑与查询操作,实现养护项目全生命周期数据管控。

(7)例行养护:支持工作人员通过日常巡查现场

记录问题并上传，系统自动生成台账并汇总形成联系单，实现跨单位流转归档。功能覆盖养护施工人员、材料、设备的进出场信息管理、养护检测原始数据登记、计量支付发起与自动计算、验收流程管理及施工日志、巡查记录等资料的编制归档，实现例行养护全流程数字化管理。

(8) 专项养护：记录专项养护项目开工各类资料并生成报表，计量支付流程与例行养护保持一致；支持质保资料数字化管理，利用模板实现自动填写计算；展示工程投资进度图表，按规定格式进行质量评定并输出结果，完成施工资料的编制与归档，实现专项养护全要素管控。

(9) 养护巡查移动端：以信息化手段替代传统巡查方式，工作人员通过手持设备现场记录病害、拍照、定位，实现无纸化巡查表单填写。巡查数据实时同步至养护系统并生成巡查台账，支持巡查日期、航道名称、起讫点、巡查里程等关键信息的录入与查询，提升巡查工作效率与数据准确性。

(10) 航标信息接入：接入航标遥控遥测、水位监测、主动发光标记等设备信息，实现“一图总览”可视化展示。系统展示设备状态、报警信息、4G信号强度、角度值、GPS定位、电池电压、充电参数、温度等数据，支持航标设备的实时监控与异常报警，提升航标管理智能化水平。

4 实例

该系统已覆盖湖州市16个航道养护项目，涉及5家主管单位、1家业主单位等多类参建单位，100余名在线用户同步使用。系统集成计量支付、合同会签、统计报表、例行养护、专项养护、设备监测及智慧巡检七大核心模块，实现核心业务在线办理、合同会签线上化、报表智能汇总、例行养护移动端闭环管理、专项养护全要素管控、多类型设备实时监控及AI赋能智慧巡检等功能。应用成效显著：各单位运营成本减少约60%，合同会签周期缩短60%；累计完成航道巡查1万多公里，处置问题1000多个，智慧巡检发现

问题6000余条；实现1亿元资金线上支付及预算执行可视化。系统获得市级港航中心认可，为省内其他地市航道养护数字化改革树立了可复制推广的标杆，有效提升了航道养护管理效率与质量，实现多主体协同共赢。



图1 内河航道智慧管养平台

5 结论

内河航道智慧管养平台的构建与应用，有效破解了传统航道养护低效、高耗、协同不足等痛点，为行业数字化转型提供了可行路径与实践支撑。在质效提升方面，平台通过智能化技术实现降本、提效、增质全方位突破：降本层面，以智能识别、在线监测替代人工巡检，减少人机构损耗，通过疏浚船智能调度提升资源利用率；提效层面，以电子签章与智能表单推动办公数字化，以实时预警机制加快问题处置，多权限协同管理打破信息孤岛；增质层面，养护信息库为决策提供精准数据支撑，以全生命周期管理把控养护各环节，以“建管养”数字化与“一图总览”融合提升管理科学性。在经济社会效益方面，经济效益体现为精准数据支撑航道资源开发与增值服务，中等规模养护项目年减30%-40%人工投入，节省数万元人力及运营成本；社会效益表现为实时预警降低航道事故率，数字化办公助力绿色低碳发展，多主体协同带动产业升级与区域经济发展，信息透明化提升公众满意度。综上，平台显著提升了航道养护现代化水平，契合绿色高质量发展理念，对推动内河航运可持续发展、助力交通强国建设意义重大。未来可进一步深化技术融合，拓展应用场景，充分释放数字技术赋能价值。

参考文献：

[1] 王鹤翔江苏内河航道信息化服务研究[D].辽宁.大连海事大学,2019.
 [2] 杨阳内河航道设施智能化监测预警与信息服务关键技术研究[J].中国基础科学.科技计划,2021.
 [3] 王子龙基于增强现实的内河航道实景巡航系统研究与应用[D].湖北.长江大学,2022.
 [4] 何浩航道交通信号灯自动调度系统的研究与应用[D].长江大学,2022.
 [5] 万新宁我国内河航运发展历程及趋势分析[J].中国港湾建设,2025.