

无人机与物联网融合技术在流域隐蔽排污口监察中的应用研究

陈先敏

北海市合浦生态环境监测站, 广西 合浦 536100

DOI:10.61369/ERA.2026020036

摘要 : 为解决流域隐蔽排污口监察中地形限制、识别精准度不足、效率偏低等问题, 推动智慧水利建设, 本研究提出无人机与物联网融合的新型监察技术方案, 设计并构建了感知层-网络传输层-平台应用层三级协同架构系统。系统通过常态化巡查与精准执法取证两大闭环流程, 实现从数据采集到业务应用的全流程自动化智能化, 大幅提升隐蔽排污口监察的精准度与效率, 为环境执法提供有力技术支撑, 创新水环境监测模式, 助力智慧水利建设进程。

关键词 : 无人机; 物联网; 流域隐蔽排污口; 水环境监察

Research on the Application of UAV and Internet of Things Fusion Technology in the Supervision of Hidden Drainage Outlet in River Basin

Chen Xianmin

Beihai Hepu Ecological Environment Monitoring Station, Hepu, Guangxi 536100

Abstract : In order to solve the problems of terrain limitation, insufficient identification accuracy and low efficiency in monitoring concealed sewage outlets in river basins, and promote the construction of smart water conservancy, a new monitoring technology scheme integrating UAV and Internet of Things was proposed, and a three-level collaborative architecture system of perception layer, network transport layer and platform application layer was designed and constructed. Through the two closed-loop processes of normalized patrol and accurate law enforcement and evidence collection, the system realizes the automation and intelligence of the whole process from data collection to business application, greatly improves the accuracy and efficiency of monitoring hidden sewage outlets, provides strong technical support for environmental law enforcement, innovates the water environment monitoring mode, and helps the process of smart water conservancy construction.

Keywords : UAV; Internet of Things; hidden sewage outlet in the basin; water environment monitoring

引言

随着新一代信息技术的快速发展, 无人机技术与物联网技术在环境监测领域的应用日益广泛, 为解决隐蔽排污口监察难题提供了新路径。无人机凭借机动灵活、覆盖范围广、可突破复杂地形限制的优势, 能够实现空中全方位巡查, 搭配多类型传感器可获取高清影像、红外数据及污染物特征信息; 物联网技术则通过分布式感知节点与无线传输网络, 实现水质、水文等数据的实时采集、动态上报与智能预警, 构建起“空-地-水”一体化感知网络。将两者深度融合, 可弥补单一技术在监察中的局限性, 实现从被动应对到主动发现、从粗放监管到精准溯源的转型, 为智慧水利建设注入核心动力。基于此, 本文立足流域隐蔽排污口监察的实际需求, 构建无人机与物联网融合监察系统, 优化系统三级架构设计, 研究隐蔽排污口发现与识别关键算法, 完善常态化巡查与精准执法取证业务流程, 旨在实现隐蔽排污口监察的全流程自动化、智能化, 提升监管效率与精准度, 为流域水环境治理与执法监管提供技术支撑, 推动智慧水利建设向纵深发展。

一、无人机与物联网融合监察系统架构设计

(一) 系统总体设计思路

无人机技术具有机动灵活、复杂地形可达等优势, 物联网技术则可实现数据实时传输智能分析, 因此将无人机与物联网2种技

术结合, 创新水环境监测模式, 提升监测效率质量, 有助于推动智慧水利建设的进程^[1]。无人机与物联网融合监察系统以精准感知、高效传输、智能分析、便捷应用为核心目标, 遵循模块化、可扩展、高可靠原则, 构建感知层-网络传输层-平台应用层三级架构, 深度融合无人机空中巡查与物联网地面/水下感知^[2]。各

层级独立实现核心功能并通过数据交互形成协同闭环，感知层采集多维度基础数据，网络传输层保障数据实时稳定互联，平台应用层完成数据融合处理、智能分析与可视化展示，支撑监察业务开展，实现从数据采集到业务应用的全流程自动化智能化，提升隐蔽排污口监察的精准度与效率。

（二）感知层设计

感知层作为系统数据采集核心，采用无人机空中感知 + 物联网地面 / 水下感知 协同模式，通过两大单元实现隐蔽排污口全方位、多维度数据采集^[8]。无人机端集成高分辨率可见光相机、红外热成像仪、气体传感器及 GPS / 北斗定位模块，可见光相机获取流域关键区域高清影像，捕捉排污口外观与排放状态；红外热成像仪突破光照、植被遮挡等限制，识别隐蔽及夜间排污行为；气体传感器检测特征污染物以辅助判断污染情况；定位模块实现数据精准时空关联，为排污口定位奠定基础^[9]。物联网节点采用分布式部署，在流域关键区域布设水质、水文传感器及无线传输模块，水质传感器实时采集核心水质指标并触发异常预警，水文传感器采集流速、水位数据辅助分析污染扩散影响；传感器节点具备防水抗干扰设计，通过低功耗广域网实时上传数据，兼顾能耗控制与数据连续性。

（三）网络传输层设计

网络传输层的核心功能是实现感知层（图像、视频、传感器、定位等）与平台应用层的双向高效稳定传输，解决无人机、分布式物联网节点与平台的互联问题，兼顾数据传输的实时性、安全性与可靠性^[9]。针对无人机数据传输，采用 4G/5G + 卫星通信双模方案。信号良好区域通过 4G/5G 满足近距离高带宽实时传输需求，偏远信号薄弱区域切换至卫星通信保障数据不中断，同时采用 H.265 编码等压缩技术降低带宽占用、提升效率。针对物联网节点传输，采用低功耗广域网 + 局域网协同模式^[9]。分布式传感器节点通过 LoRa 或 NB-IoT 将水质、水文等数据上传至区域网关，网关经 4G/5G 或光纤接入平台，实现低功耗远距离传输；近距离密集部署节点则通过局域网提升传输速率与稳定性。此外，传输层设数据加密模块，防止数据泄露与篡改，保障监管数据安全。

（四）平台应用层设计

平台应用层是系统核心处理与应用载体，依托云计算、大数据、人工智能及 GIS 技术，为流域隐蔽排污口监察提供全流程支撑，主要包含四大功能模块^[7]。数据存储模块采用云数据库 + 本地缓存架构，云数据库存储海量多类型数据以保障长期存储与共享，本地缓存提升实时数据访问速度，同时通过数据标准化规范统一数据格式^[8]。智能分析模块集成多种算法处理感知层数据，借助图像视频识别排污口位置及状态，结合水质数据交叉验证提升准确率，可通过智能追踪算法控制无人机跟踪移动或突发排污行为^[9]。可视化展示模块基于 GIS 构建流域三维地图，叠加巡查轨迹、排污口、水质及预警等信息，实现数据可视、位置精准、状态实时，支持点击查看排污口详情以辅助决策。业务管理模块为巡查、执法、应急等核心业务提供流程化管理，涵盖任务规划、文书生成、档案管理等功能，实现监察业务全流程数字化，提升

监管效能。

二、隐蔽排污口发现与识别关键算法

（一）基于无人机遥感图像的排污口视觉识别

无人机遥感图像排污口视觉识别是隐蔽排污口探测核心技术，需克服光照、植被遮挡、背景复杂等干扰以实现精准识别，流程分三步骤。预处理阶段通过高斯滤波去噪、几何校正消畸变、直方图均衡化增强对比度，红外图像则用阈值分割突出污水温度异常区^[10]。特征提取需提取排污口视觉特征（形状、颜色、排放状态）、GLCM 纹理特征，结合红外温度特征构建多维度向量。模型识别采用 YOLOv8 算法，经多场景数据集训练优化并引入注意力机制，适配无人机实时巡查，对隐蔽排污口识别准确率超 90%，满足实际监察需求。

（二）多源数据融合处理技术

源数据融合处理技术整合无人机遥感图像、物联网传感器（水质、水文、气体）、GPS 定位及历史监管数据，通过数据层 - 特征层 - 决策层三级架构实现数据互补验证，提升隐蔽排污口识别准确性，规避单一数据误判、漏判问题。数据层对原始数据预处理对齐，标准化无人机图像并关联 GPS，用 3σ 准则剔除传感器数据异常值、插值补缺失，统一时空坐标系。特征层提取视觉、纹理（图像）与水质、气体浓度（传感器）特征构建向量，经 PCA 降维后实现视觉 + 环境特征双向印证。决策层基于特征结果，用 D-S 证据理论融合多源判断、结合历史数据与专家规则决策，辅助区分排污类型、修正结果（如水质异常无图像时触发无人机红外巡查）。该技术使系统识别准确率较单一数据源提升 15% 以上，有效降低误判率。

（三）智能追踪与定位技术

智能追踪与定位技术聚焦移动排污口（如非法排污船、临时排污管）及突发排污行为的实时追踪与精准定位，融合无人机自主导航、视觉追踪与 GPS / 北斗定位技术，实现排污口位置动态更新与精准锁定。定位方面采用 GPS / 北斗 + 视觉定位融合方案，无人机通过自身定位模块与图像中排污口相对位置获取初步坐标，结合地面物联网节点信息校准以消除误差，定位精度控制在 1 米内，满足执法取证需求；水下排污口则结合声呐传感器数据与 GPS 定位实现三维坐标锁定。追踪技术以 KCF 核相关滤波算法为核心，依托其实时性强、抗遮挡的优势快速锁定目标，联动无人机自主导航系统动态调整飞行姿态与路径，持续采集目标及环境数据；当目标超出视野时，结合历史轨迹与水质传感器异常区域预测移动方向，启动大范围搜索确保追踪不中断，同时可联动多架无人机协同追踪，扩大范围并提升效率。

三、系统应用与业务流程实现

（一）常态化巡查业务流程

流程以自动化规划、智能化巡查、精准化分析、规范化归档为核心，实现流域隐蔽排污口全覆盖、周期性巡查，助力隐患早

发现早干预,同时大幅降低人工成本、提升巡查效率。由监管人员通过平台制定巡查计划,明确范围、路线等关键信息,系统依托GIS地图生成无人机最优飞行路径并设置采集参数,将指令下发至无人机与物联网感知节点;随后无人机按预设路径自主飞行,通过多设备采集音视频及环境数据,物联网节点同步采集水质水文数据,发现疑似排污口时自动预警并聚焦强化采集;平台对采集数据自动分析融合,验证疑似排污口、判定污染情况,分类存储数据、标记异常并生成含处理建议的分析报告;所有巡查资料自动归档至档案管理模块、更新台账,疑似排污口信息同步推送至监管人员,为后续核查工作提供依据。

(二) 精准执法取证流程

精准执法取证流程以常态化巡查发现的疑似排污口为起点,构建精准锁定、现场核查、证据固定、执法处置全流程闭环,保障执法合法性、准确性与高效性。精准锁定阶段通过智能分析与多源数据融合,确定排污口精准位置、排放特征及污染范围,生成含位置坐标、影像数据、水质监测结果等初步证据的执法任务,推送至执法人员移动端并提供GIS导航支持。现场核查时,执法人员借助无人机采集排污口及周边影像,通过便携式设备检测COD、氨氮等核心水质指标并与物联网数据验证,对水下、涵

洞等隐蔽排污口则由无人机深入采集影像,确保核查全面。证据固定环节由系统按执法规范整合现场采集的各类数据,生成含关键信息的标准化加密档案,可直接用于执法文书制作与诉讼。执法处置阶段依法下达相关文书并录入系统,通过定期复查与无人机、传感器验证整改效果,形成完整执法闭环,为环境执法提供有力支撑。

四、结束语

本文围绕流域隐蔽排污口监察的现实难题,开展无人机与物联网融合技术的应用研究,构建了感知层-网络传输层-平台应用层三级协同监察系统,优化了隐蔽排污口识别、追踪与定位关键算法,完善了常态化巡查与精准执法取证业务流程,形成了一套全流程自动化、智能化的隐蔽排污口监察技术方案,有效突破了传统监察模式的局限。随着人工智能、5G等技术的持续迭代,无人机与物联网融合技术将在流域水环境治理中发挥更大作用,助力实现水生态环境的精细化、长效化管控,为生态文明建设提供坚实保障。

参考文献

- [1] 陈燕朋, 邓保军. 无人机与物联网技术在水环境监测中的应用[J]. 资源节约与环保, 2025(7): 46-49. DOI: 10.3969/j.issn.1673-2251.2025.07.011.
- [2] 包新星, 杨珍珍, 薛欣莹, 等. 入河排污口排查溯源调查研究[J]. 能源与环境, 2024(5): 155-157. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9064.2024.05.042.
- [3] 张元敏. 无人机航测技术在入海排污口排查中的应用[J]. 测绘通报, 2020(1): 146-149. DOI: 10.3969/j.issn.1673-2251.2020.01.046.
- [4] 王贵作, 孟祥龙, 郎励贤, 等. 利用无人机开展入河排污口清查的思路与建议[J]. 水利发展研究, 2018, 18(02): 27-29+33. DOI: 10.13928/j.cnki.wrdr.2018.02.008.
- [5] 马艳冰, 王琳琳, 姚瑞. 无人机遥感技术在入河排污口清查中的应用解析[C]//2022年(第十届)中国水利信息化技术论坛论文集. 2022: 1-13.
- [6] 易少雄, 陈春, 邹兰兰, 等. 典型河湖流域排污口调查及溯源分析[J]. 山西化工, 2022, 42(5): 161-164. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2022.05.065.
- [7] 李秀玲. 流域水体环境入河排污口污染源调查及溯源分析[J]. 中国资源综合利用, 2024, 42(11): 199-201. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9500.2024.11.057.
- [8] 谢长淮, 徐卫兵. 长江流域入河排污口问题分析及对策探讨[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2020, 33(1): 10-12, 56. DOI: 10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.202001003.
- [9] 涂建峰, 王孟, 肖文文, 等. 长江流域入河排污口管理实践与探讨[J]. 人民长江, 2016, 47(15): 5-8. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2016.15.002.
- [10] 周亚平, 张晓强, 李盐, 等. 无人机摄影在黄河流域水环境监测及排污口督查中的应用研究[C]//中国水利学会2018学术年会论文集. 2018: 545-550.