

与存储、数据处理与分析、设备管理以及成果展示和应用这五个部分。数据采集模块依靠集成的多源传感器和终端设备,可以实现地理位置、地形地貌、环境参数等重要数据的自动化、实时化的采集,支持定时(最小间隔1分钟)或者手动触发的方式,并把采集到的数据自动转换成SHP或者LAS等标准格式,保证数据格式的一致性,便于后续处理,数据传输与存储模块采用加密技术保证数据在传输过程中的安全,搭建起分布式存储体系来支撑超大规模($\geq 10\text{TB}$)数据的高效存储和管理,具备快速的数据检索和调用能力,响应时间小于3秒,数据处理与分析模块采用加权融合算法加上卡尔曼滤波技术,将GNSS、激光雷达、倾斜摄影相机等各类数据融合起来,剔除冗余信息,消除系统性偏差,从而加强数据精度,利用YOLOv8深度学习框架完成地物自动识别工作,识别准确率达到95%以上,并且借助时序分析手段对地表沉降状况实施观测,能察觉到微米级别的位移变动趋势,设备管理模块对物联网终端设备,通信设施,服务器这些硬件资源展开实时监控和保养,包含状态检测,异常警报,远程操控以及固件更新等服务内容,从而保证设备持续运作,成果展示与应用模块凭借三维可视化技术表现测绘成果及相关分析结论,支持数据导出,打印并分享,还能同诸多行业应用平台达成对接,给决策支撑赋予精准可靠的科技支撑^[4]。

4.4 系统实现与测试

根据前面的设计理念,本文建立了一个包含物联网技术的智慧测绘系统。在硬件方面使用国产高精度传感器和通信模块,可以达到降低成本的目的,并且大大提高系统的自主控制能力^[5]。软件开发所用的编程语言有Java、Python等主流开发语言,依靠开源的算法库或者自建模块来实现软件的快速部署和稳定运行。项目完成阶段选择某城市郊区作为试验场地,该区域面积约5平方公里,地形类型有平地、丘陵、河道等。经过实地测试来检验系统的各项功能指标,对数据采集精度、传输时延、处理速度和系统稳定性等主要性能做综合评价。测试结果说明本系统可以实时采集多源异构数据并高效传输,采集精度为厘米级,平均传输时间为一秒内,比传统的测绘方式快40%以上,连续运行时间大于72小时,无故障。系统可以识别出地物的特征,进行三维建模,满足行业的标准要求。该系统实际使用中把单次测绘任务的人工成本降低60%,作业速度提高50%,满足现代测绘领域高

质量的技术需求,方案有效。测试结果表明,融合多种传感器数据之后复杂地形区域的位置误差在 ± 3 厘米左右,虽然接近国际领先水平,但是还有改进的空间。上述研究结果给智慧测绘技术发展赋予了实际依照和技术助力。

测试项目	测试结果	行业标准要求
数据采集精度	厘米级	分米级及以上
数据传输延迟	≤ 1 秒	≤ 3 秒
数据处理效率提升	$\geq 40\%$	$\geq 20\%$
连续稳定运行时间	72小时无故障	48小时无故障

5 结语

本文以物联网技术为依托,对智慧测绘系统进行架构设计以及实践应用的研究。对有关领域研究现状和发展态势做系统的整理与分析,得出系统构建的主要目的和基本准则。在硬件选型、软件架构设计和功能模块划分等各方面提出具有前瞻性优化方案,并且完成了系统开发及验证。该系统已经用在了某个城市自然资源监测和市政工程上,在区域规划上给它提供准确的时空数据支持,体现了它的技术可行性和实用性。由于目前的技术水平和研究条件所限,系统还存在着多源数据融合精度不高、核心算法有待提高、跨平台兼容性差等难题。针对以上问题,将会加大研发投入,重点研究多源数据融合算法和人工智能建模技术,提高复杂环境下数据处理能力,制定统一的设备接口规范及标准的数据格式,使系统具有普适性、可扩展性,逐步发展成能对灾害预警、水下探测等新兴领域实施应用的技术系统,促进物联网、智慧测绘技术深度融合,实现测绘行业全面智能化转型,给数字经济、智慧城市创建提供强有力的技术支持。

参考文献

- [1] 蒋昊. 测绘地理信息系统在智慧城市测绘工程中的应用[J]. 智慧中国, 2025, (10): 100-101.
- [2] 陈志敏. 测绘地理信息系统在智慧城市测绘工程中的应用[J]. 塑料包装, 2025, 35(05): 151-153.
- [3] 孙振杰. 基于多源大地测量数据的智慧城市信息服务模式研究[J]. 工程建设与设计, 2025, (04): 97-99.
- [4] 刘姚, 李奕诺. 测绘地理信息系统在智慧城市测绘工程中的运用初探[J]. 产品可靠性报告, 2024, (08): 127-129.
- [5] 张龙. GPS测绘地理信息系统在智慧城市测绘工程中的应用研究[J]. 中国高新科技, 2024, (10): 146-148.

Dredging Completion Inspection Measurement Technology Based on Unmanned Aerial Vehicles

Peng Deng¹ Yingming Zhang²

1. Nantong Marine Monitoring Service Center, Nantong, Jiangsu, 226006, China

2. Nanjing Tuneng Real Estate Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

The completion acceptance of land reclamation is a critical step in marine area use management and real estate cadastral surveys. Traditional measurement methods fail to efficiently and comprehensively acquire spatial information of reclamation areas. Based on UAV-based land reclamation completion acceptance measurement technology, this study elaborates on the hardware selection requirements for drones suitable in reclamation environments, flight route planning and imaging acquisition methods tailored for acceptance, as well as the rapid reconstruction process of real-world 3D models and DOMs. It analyzes precise measurement techniques for key elements such as reclamation boundaries and parcel boundary points, earthwork volume calculations, elevation compliance checks, and spatial data collection of supporting facilities. The study also explores accuracy control and quality assessment measures, including control point distribution, GNSS-assisted positioning, data comparison with traditional acceptance measurements, and measurement result quality inspection. UAV measurement technology can significantly enhance the efficiency of reclamation acceptance tasks and improve the accuracy of results, providing reliable technical support for marine area use completion acceptance and playing a crucial practical role in standardizing land reclamation project management.

Keywords

Completion acceptance of land reclamation; UAV measurement; Realistic 3D model; Boundary point determination

基于无人机的填海竣工验收测量技术

邓鹏¹ 张英明²

1. 南通市海洋监测服务中心, 中国·江苏 南通 226006

2. 南京图能地产科技有限公司, 中国·江苏 南京 210000

摘要

填海竣工验收是海域使用管理和不动产权籍调查的关键环节, 传统的测量方式无法高效且全面地获取填海区空间信息。基于无人机的填海竣工验收测量技术, 阐述了适应填海环境的无人机硬件选型要求、针对验收的航线规划和影像采集方式, 以及实景三维模型和DOM迅速重建的流程。分析了填海边界与宗海界址点测定、填土方量计算以及高程符合性检测、配套设施空间数据采集等关键要素的精准测量方法。探讨了像控点布设、GNSS辅助定位、跟传统验收测量数据的比对以及测量成果质量检验等精度控制与质量评估手段。无人机测量技术能大幅提升, 为海域使用竣工验收提供可靠的技术后盾, 对规范填海项目管理具备关键的现实意义。

关键词

填海竣工验收; 无人机测量; 实景三维模型; 界址点测定

1 引言

传统的全站仪、RTK等手段在潮间带开展作业存在难题, 同时大范围采集效率低这一问题十分明显。无人机低空摄影测量跟激光雷达技术的进展, 为填海验收测量给出了新的技术路径。从硬件选型、航线规划、三维重建方面搭建技术体系, 探讨界址点测定、土方量计算、设施采集等关键要素的测量途径, 研讨像控点安排、传统数据比对与质量检查

等精度控制手段。

2 无人机填海验收测量技术体系

2.1 面向验收的航线规划与影像采集

航线设计兼顾地物特征以及验收指标: 填筑区用正射航线保障重叠度和分辨率; 线性设施仿地飞行获取均匀影像; 配套设施使用五向倾斜或多角度环绕采集立面纹理。再结合潮汐预报低潮位采集填海边界, 高潮位记录护岸淹没线, 多时相叠加获完整边界。航向重叠度 $\geq 80\%$ 、旁向 $\geq 70\%$ 保空三稳定。实时图传监测, 遇风速突增或鸟干扰及时调整航线或返航^[1]。

【作者简介】邓鹏(1981-), 男, 中国江苏南通人, 本科, 工程师, 从事海洋管理研究。

2.2 实景三维模型与 DOM 快速重建

外业数据经内业处理重建实景三维模型与 DOM。影像预处理含畸变校正、色调均衡与位置匹配。三维模型分块并行生成三角网并映射纹理，DOM 经单片纠正、镶嵌匀色生成。激光雷达数据处理经航带平差、点云分类滤波，生成 DEM 用于土方与高程分析。重建成果进行质量初检对空洞扭曲区域补飞，保证要素提取精度达标^[2]。

3 填海验收关键要素精准测量方法

3.1 填海边界与宗海界址点测定

填海边界和宗海界址点关系法律认定。基于无人机实景三维模型与 DOM，人机交互矢量化提取边界，DOM 识别分界线，模型断面剖切辅助隐伏点。界址点达厘米级精度，结合像控点与室内量测获坐标制表。与设计图叠置分析查超

占或未达，存疑点 RTK 复核修正。成果为海域验收与权籍调查提供基础数据。

3.2 填土方量计算与高程符合性检测

填土方量与高程检测是关键。基于无人机点云生成 DEM 用两期地形对比法栅格差值计算总填方量。高程检测以设计高程为基准，格网逐点比对计算中误差与最大偏差，色斑图展示超欠填分布。线性工程做纵横断面比对检查堤顶高程、坡比及平台标高。成果形成报告分析超限区域并判定是否二次处理^[3]。

3.3 配套设施空间数据采集

填海区配套设施的空间数据采集工作涉及防波堤、灯塔、管理用房等各类建（构）筑物。针对具有别样几何特征的设施，运用差异化的航线与采集手段保证完整获取空间信息。基于无人机的填海区配套设施空间数据采集见图 1。

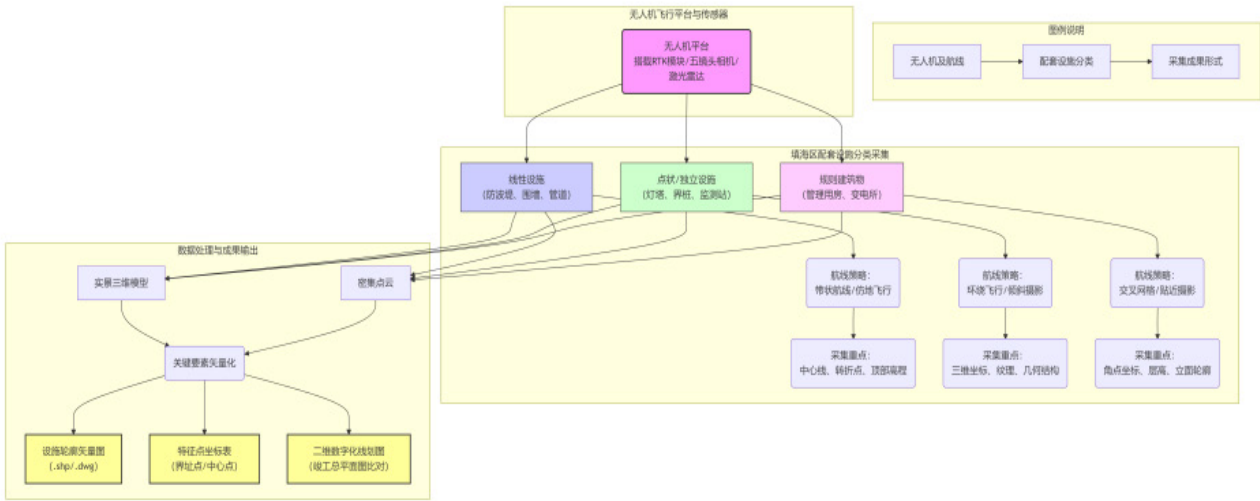


图 1 基于无人机的填海区配套设施空间数据采集示意图

线性设施用带状仿地飞行，提取中心线、转折点及高程；点状设施用环绕倾斜摄影，测定中心坐标、顶部高程及三维结构；规则建筑用交叉网格与贴近摄影，获取角点、层高、轮廓及门窗位置。处理后矢量化提取要素与设计图比对偏差标注并纳入报告。

4 无人机测量精度控制与质量评估

4.1 像控点布设与 GNSS 辅助定位

无人机测量几何精度取决于像控点布设与 GNSS 辅助定位。像控点应均匀分布、特征明显且位置稳定，在边界、界址点及设施密集区加密。采用 GNSS 接收机以 RTK 或静态模式采集坐标每点独立观测两次取均值。GNSS 辅助定位通过无人机实时记录 PPK/RTK 数据，与基准站解算获取高精度外方位元素，可减少像控点数量。

4.2 与传统验收测量数据的比对

统一数据基准后选择特征地物同名点从平面、高程、

几何三维度比对：计算点位中误差，叠加分析边界线与竣工图。生成偏差统计表、直方图及色斑图，对照验收规范误差在限差内判定合格，否则补测检校。无人机测量与传统验收测量数据比对分析见图 2。

5 结语

基于无人机的填海竣工验收测量技术，为海域使用管理以及不动产权籍调查供给了高效精准的技术途径。通过形成适合填海环境的硬件抉择、面向验收环节的航线规划与影像获取、实景三维模型快速再造的技术体系，打造了填海边界与宗海界址点测定、土方量计算与高程检测、配套设施空间数据采集等关键要素的精准测量办法，成功攻克传统手段在潮间带作业难题、大范围采集效率低的问题。伴随机载激光雷达水深探测、智能化航线规划与多源数据融合技术的不断发展，无人机填海验收测量将朝高精度与自动化的方向迈进。