

利用无人机技术进行水文测量的方法与效果

吴培旭 李红 卢伟

青海省水文水资源测报中心

DOI:10.12238/hwr.v8i7.5569

[摘要] 随着环境监测技术的快速发展,无人机已经成为一种重要的工具,在水文测量领域表现出了独特的优势。本文探讨了无人机技术在水文测量中的应用方法与效果,重点分析了不同传感器的选择与数据处理流程。研究表明,对比传统方法,无人机技术能显著提高水文数据采集的精确度和效率,为水资源提供有力的数据支持。

[关键词] 无人机技术; 水文测量; 精确测绘; 环境监测

中图分类号: X83 **文献标识码:** A

The method and effect of using drone technology for hydrological measurement

Peixu Wu Hong Li Wei Lu

Qinghai Provincial Hydrological and Water Resources Monitoring and Reporting Center

[Abstract] With the rapid development of environmental monitoring technologies, drones have become an essential tool, exhibiting unique advantages in the field of hydrological measurement. This paper discusses the application methods and effects of drone technology in hydrological measurements, with a focus on the selection of different sensors and the data processing workflow. The research results indicate that, compared to traditional methods, drone technology significantly enhances the accuracy and efficiency of hydrological data collection, providing robust data support for water resources management.

[Key words] Drone technology; Hydrological measurement; Precision mapping; Environmental monitoring

水文测量作为理解和管理水资源的关键手段,一直以来都依赖于地面观测和卫星遥感。然而,这些传统方法往往受限于设备的部署成本、覆盖范围和数据更新的频率。无人机技术由于其便捷性、低成本和高灵活性,已经开始改变水文学和环境监测的面貌。无人机能够在短时间内覆盖大面积地区,提供高分辨率的图像和数据,使研究人员能够更加精确地监测水体变化和环境状况。通过搭载多种传感器,无人机不仅可以实时监控水位和水质,还能在灾害发生时进行快速评估,对预防和减轻灾害损失具有重要意义。

1 无人机技术概述

1.1 无人机的发展历史和技术特点

无人机,或称为无人飞行器(UAV),最初在军事领域被开发用于执行侦察和攻击任务,避免直接将人员置于危险之中。随着技术的进步,民用领域的无人机开始普及,其大小、成本和操作难度都有了显著的改进。现代无人机搭载高级的传感器和摄像头,可以进行实时数据传输和精确定位,其技术特点包括高度的机动性、迅速部署的能力以及对复杂环境的适应性^[1]。

1.2 无人机在水文测量中的应用前景

在水文测量领域,无人机技术展现出巨大的应用潜力。无人

机可以在难以接近的地区或是对人员安全构成威胁的环境中进行高效的数据收集。例如,在洪水、海啸或者河流溢出时,无人机可以被迅速部署,收集关键的水文数据,如水位、流速和污染分布等,帮助科学家和决策者及时了解水文状况,制定响应措施。

2 无人机水文测量的方法

2.1 无人机搭载传感器的种类与选择

2.1.1 光学传感器

光学传感器主要利用可见光范围内的光波进行拍摄,适用于获取地表水体的图像和视频数据。通过高分辨率的光学成像,可以详细观察水体的表面状态和周围环境。此外,结合图像处理技术,例如数字图像相关性分析(Digital Image Correlation, DIC),可以测量和分析水流速度和方向。公式如下:

$$Velocity = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

其中, Δx 代表图像序列中特征点的位移, Δt 是时间间隔。

2.1.2 红外线和热感应器

红外线和热感应器主要用于检测水体的温度分布,这对于分析水体的热污染、水体健康状况及其生态系统非常重要。这类传感器通过捕捉不同物体表面的红外辐射来测量温度。应用于水文测量时,它可以帮助识别水体中的温度异常区,这些区域可能是由于工业排放或自然热源引起的。水体温度的计算可以用斯特藩-玻尔兹曼定律 (Stefan-Boltzmann Law) 描述:

$$M = \epsilon \sigma T^4$$

其中, M 是辐射强度, ϵ 是物体的发射率, σ 是斯特藩-玻尔兹曼常数, T 是绝对温度^[2]。

2.1.3 激光雷达 (LiDAR)

激光雷达是一种高精度的测量技术,通过发射激光脉冲并测量其反射回的时间来确定物体的位置和距离。在水文测量中, LiDAR 技术特别适用于测量水面高程、河床地形以及植被覆盖。这些数据对于洪水模拟和流域管理尤为重要。激光雷达测距的基本公式为:

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

其中, d 是距离, c 是光速, Δt 是激光脉冲往返时间。

每种传感器都有其特定的应用场景和优势,因此在实际操作中,通常会根据具体的测量目标和环境条件综合考虑,选择最适合的一种或多种传感器组合使用,以达到最佳的测量效果。

2.2 无人机飞行路径和高度的设计

2.2.1 飞行路径规划

飞行路径规划首先需要考虑的是目标区域的地形特征和环境因素。基于GIS(地理信息系统)技术,可以创建详尽的地图并模拟最佳飞行路径。此外,考虑到安全性和法规限制,无人机的飞行路径必须避开禁飞区和高风险区域。

无人机的飞行路径通常采用“条带覆盖”(strip coverage)方法,即按照平行或重叠的直线条带进行飞行,确保全面覆盖测量区域。飞行路径的设计还需要考虑到风向和风速,以优化能耗和飞行稳定性。可以使用以下公式计算理想飞行速度,考虑风速对无人机的影响:

$$V_{opt} = V_{air} + W$$

其中, V_{opt} 是无人机的最优飞行速度, V_{air} 是无人机相对于空气的速度, W 是风速向量。

2.2.2 测量高度与重复性确定

测量高度的选择对于无人机搭载的传感器(如光学传感器、LiDAR等)的数据质量有着直接影响^[3]。一般来说,高度越低,获取的数据分辨率越高,但覆盖范围会减小,飞行风险也会增加。

因此,需要在保证数据质量和飞行安全之间找到平衡点。

飞行高度的确定通常基于传感器的技术规格和所需的数据精度。例如,激光雷达的测量精度与飞行高度有关,可以用以下公式估算分辨率:

$$Resolution = \frac{H \cdot \tan(\theta)}{2}$$

其中, H 是飞行高度, θ 是传感器的视场角(Field of View, FoV)。

为了确保数据的可重复性,飞行高度和路径在不同任务中应保持一致,或者在变化时采取标准化的调整方法。此外,考虑到环境因素如天气条件的变化,飞行计划应具备一定的灵活性,以适应突发情况。

2.3 数据采集和处理流程

2.3.1 数据采集方法

数据采集是水文测量中的首要步骤,决定了后续分析的基础。无人机搭载的传感器根据预定飞行路径收集地表和水体的多维数据。主要的数据类型包括高分辨率图像、红外和热成像数据、以及三维激光扫描数据。这些数据通过无人机的通信系统实时或定时发送回地面站。

对于图像数据,常用的采集技术是采用高分辨率相机进行连续拍摄,通过以下公式确定拍摄间隔:

$$t = \frac{S}{V \cdot F}$$

其中, t 是拍摄间隔, S 是传感器的覆盖宽度, V 是无人机飞行速度, F 是图像重叠率。

2.3.2 数据的预处理与错误纠正

数据预处理是提高数据质量的关键步骤,包括数据校正、去噪声、对齐和校准等。对于光学图像,需要进行几何校正和辐射校正,以消除拍摄角度和光照变化引起的误差。激光雷达数据则需要对点云进行过滤和噪声去除。几何校正可以通过以下模型进行:

$$(x', y') = Transform(x, y, params)$$

其中, (x, y) 是原始坐标, (x', y') 是校正后坐标, $params$ 是校正参数,包括旋转、缩放和平移^[4]。

除此之外,数据的时间同步也非常关键,尤其是当使用多个传感器时,确保所有数据在时间上的一致性是一致的。

2.3.3 数据分析和解释

数据分析的目标是从采集的原始数据中提取有用的信息。这包括使用图像处理技术识别水体特征、使用热成像分析水温分布、以及利用激光雷达数据生成精确的地形图和水深图。

对于洪水分析,可以通过图像序列分析洪水的发展和退去过程,提供重要的洪水动态信息:

$$FloodIndex = \frac{Area_{flooded}}{Area_{total}}$$

其中, $FloodIndex$ 表示洪水指数, $Area_{flooded}$ 是被洪水覆盖的区域面积, 是总测量面积。

最终, 分析结果需要与历史数据对比, 或与水文模型结合, 以解释水文现象和支持决策制定。这一步通常涉及统计分析和模型模拟, 以确保结果的准确性和可靠性。

3 无人机技术在水文测量中的效果与评估

3.1 精确度和效率的比较分析

无人机技术与传统水文测量方法(如地面观测和卫星遥感)的比较, 主要侧重于精确度和效率两个关键指标。这些比较通常在特定的条件和环境下进行, 以确保评估的客观性和准确性。

与传统方法的比较: 传统的地面观测虽然精确, 但受地形限制和成本较高; 而卫星遥感能覆盖广泛区域, 但其更新频率和分辨率有限。无人机水文测量在以下几个条件下与这些方法进行了比较:

测试地点: 选择了具有不同地形特征的三个区域(平原河网区、山区河流、城市湖泊)。

测试时间: 在一年中不同季节进行, 以观察不同气候条件下的表现。

测量对象: 包括水位、水质和河床地形。

比较方法包括同一时间点的数据采集, 使用相同的数据处理算法, 以及对最终结果的精度和时间成本进行评估。详细结果如表1所示:

表1 无人机与传统方法在不同测试地点的精确度和效率比较

测量方法	测试地点	精确度 (误差范围)	数据更新频率	成本效益
无人机	平原河网区	±0.1 米	每小时一次	高
地面观测	平原河网区	±0.05 米	每日一次	低
卫星遥感	平原河网区	±0.5 米	每周一次	中
无人机	山区河流	±0.15 米	每小时一次	高
地面观测	山区河流	±0.1 米	每周一次	中
卫星遥感	山区河流	±1.0 米	每月一次	低
无人机	城市湖泊	±0.2 米	每小时一次	高
地面观测	城市湖泊	±0.1 米	每日一次	低
卫星遥感	城市湖泊	±0.6 米	每周一次	中

由表中数据可以看出, 尽管地面观测在精确度上有优势, 但无人机在数据更新频率和操作灵活性上显著优于其他方法, 尤其适合需要快速和频繁数据更新的场景。卫星遥感虽然覆盖范

围广, 但在精确度和更新频率上较为有限, 适用于不需要高频更新的场景^[5]。

3.2 面临的技术挑战与解决方案

无人机在水文测量中虽展现出显著优势, 但仍面临一些技术挑战, 主要包括电池寿命、飞行稳定性等技术限制以及天气等环境因素的影响。

无人机的电池寿命限制了其持续飞行的时间, 尤其是在需要长时间或大范围监测的情况下。为解决这一问题, 一种方法是开发更高效的电池技术, 提升电池容量和能源管理效率。另外, 可采用换电策略, 即在地面设多个换电站, 无人机在低电量时自动返回最近的换电站进行电池更换, 从而维持持续运行。强风或恶劣气候条件可能影响无人机的飞行稳定性。解决这一问题的方法包括改进无人机的气动设计, 使其更能抵抗风的影响。同时, 开发更智能的飞行控制系统, 能够实时调整飞行参数, 保持稳定。

此外, 恶劣天气, 如雨、雾等, 不仅影响无人机的飞行操作, 也可能干扰传感器的性能, 如降低光学传感器的成像清晰度。针对这一挑战, 一是可以通过天气预报技术预先规划飞行时间, 避开恶劣天气。二是开发和应用更为健壮的传感器技术, 如使用具备更强穿透力的雷达系统, 即便在恶劣天气条件下也能有效进行数据采集。

4 结语

无人机技术在水文测量领域的应用, 不仅为现代水文科学提供了一个新的视角, 也为环境管理和灾害应急响应带来了革命性的变革。无人机的高效率和精确度, 特别是在无法接近或危险的地区, 展现了其不可替代的价值。展望未来, 随着技术的进一步发展和应用的深化, 无人机在全球水资源管理和保护中的角色将越来越重要, 有望成为推动可持续发展目标实现的关键工具。

[参考文献]

[1]张永宏, 李飞翔, 董天天, 等. 基于无人机平台的时空影像法视频测流技术应用研究[J/OL]. 中国农村水利水电, 1-12[2024-07-02].

[2]吴天宇, 李彬. 无人机在水文站地形测量中的应用[J]. 广西水利水电, 2024, (02): 19-23.

[3]李明亮, 高云. 无人机图像法流量测验技术及其应用[J]. 江西水利科技, 2024, 50(02): 131-134.

[4]孔慧. 无人机在环境监测中的应用与创新[J]. 上海轻工业, 2024, (02): 138-140.

[5]王海祥. 浅谈激光雷达技术在水文测量中的创新[J]. 内蒙古水利, 2024, (02): 27-29.