

基于无人机摄影测量和激光扫描的高精度地形图测绘

姚 涛

山西北方铜业有限公司 山西 运城 043700

摘 要：无人机摄影测量与激光扫描技术结合，为高精度地形图测绘提供了创新手段。无人机摄影测量系统通过集成高精度相机与定位技术，实现地形影像的快速采集与三维重建。激光雷达（LiDAR）系统能够直接获取地表高程信息，生成高密度点云数据。两者融合应用，优化数据处理流程，确保测绘结果的精确性与完整性。此技术组合不仅提升了测绘效率，还为地形分析、城市规划等领域提供了可靠的数据支持。

关键词：无人机摄影测量；激光扫描；高精度地形图测绘

引言

随着地理信息技术的快速发展，高精度地形图测绘成为资源勘探、城市规划、灾害监测等领域的迫切需求。传统测绘方法受限于作业环境、人力成本等因素，难以满足大规模、高效率的测绘要求。无人机摄影测量与激光扫描技术的兴起，为地形图测绘带来了革命性变化。这两种技术各自具有独特优势，无人机摄影测量能够高效捕捉地形影像，而激光扫描则能精确获取地表高程信息，将两者结合应用，有望进一步提升测绘精度与效率。

1 无人机摄影测量技术

1.1 无人机摄影测量系统组成

无人机摄影测量系统是一个集成了多项高新技术的综合性系统，其核心组成部分包括无人机平台、高分辨率相机、飞行控制系统、数据传输模块以及地面控制站等关键要素。无人机平台作为整个系统的载体，负责搭载高分辨率相机在空中执行拍摄任务，这一平台的设计需兼顾稳定性与灵活性，以适应各种复杂环境下的拍摄需求。高分辨率相机则是捕捉地面影像的关键设备，其高精度成像能力确保了影像数据的准确性和可靠性。飞行控制系统在整个系统中扮演着至关重要的角色，它负责规划并控制无人机的飞行航线，确保无人机能够按照预定的轨迹稳定飞行，同时有效应对各种突发状况，保障飞行安全。数据传输模块则实现了影像数据的实时回传，它利用先进的通信技术，将无人机拍摄的高清影像迅速传输至地面控制站，为后续的数据处理和分析提供了及时的数据支持。地面控制站作为整个系统的指挥中心，不仅负责监控无人机的飞行状态，还承担着接收、存储和处理影像数据的重任，通过专业的软件对影像数据进行解析和重建，最终生成高精度的地形地貌图或三维模型。各组件紧密配合，共同构建了一个高效、灵活

的无人机摄影测量系统。

1.2 摄影测量原理与方法

1.2.1 摄影测量原理

摄影测量原理是摄影技术与几何测量学相结合的产物，旨在通过摄取目标物体的影像来精确测定其空间位置、形状和大小。具体而言，摄影测量原理基于中心投影几何，即光线从物体表面反射后，通过摄影机的镜头中心投影到感光面上形成影像。这一过程中，物体的形状、大小、位置及其相互关系在影像上得到一定程度的反映，但受到摄影机内外方位元素、镜头畸变以及地面起伏等因素的影响，影像上的信息需要进行严格的几何纠正和解析。为了实现这一目标，摄影测量原理引入了共线方程、共面方程等数学模型，通过求解这些方程，可以精确计算出影像上各点对应的空间坐标。为了进一步提高测量精度，还需要考虑摄影机的检校、影像的预处理以及测量误差的校正等问题。摄影测量原理是一种基于中心投影几何和数学模型的空间信息获取方法，它利用摄影机摄取的影像，通过解析影像中的几何信息，恢复出被摄物体的三维空间结构，为后续的测量、制图和分析提供可靠的数据支持。

1.2.2 摄影测量方法

摄影测量方法涵盖了一系列从影像中提取空间信息的专业流程和技术手段。其中，最为基础且广泛应用的方法包括直接线性变换法、相对定向与绝对定向法以及数字摄影测量法。直接线性变换法通过建立影像坐标与世界坐标之间的线性关系，直接求解摄影机的内外方位元素，从而实现目标物体的空间定位。这种方法无需假设特定的投影模型，适用于各种复杂地形和摄影条件。相对定向与绝对定向法则是在已知部分控制点坐标的基础上，首先通过相对定向确定影像间的相对位置关系，进而通过绝对定向将影像纳入统一的地理坐标系

统。这一方法能够充分利用影像间的重叠信息，提高测量的精度和可靠性。

1.3 高精度定位技术

高精度定位技术对于无人机摄影测量而言，是实现高精度测量的核心要素之一。该技术通过融合多种先进的导航与定位手段，确保无人机在执行摄影测量任务时能够获取到精确的位置和姿态信息。具体而言，GNSS（全球导航卫星系统）与惯性导航系统（INS）的深度融合，构成了一种高效的差分定位技术。这一技术利用GNSS提供的全球范围内的卫星信号，结合INS对无人机自身运动状态的实时感知，共同为无人机提供高精度、连续性的位置与姿态数据。为了进一步提升定位精度，地面基站或网络RTK（实时动态差分定位）技术的引入显得尤为重要。地面基站通过接收并处理来自多颗卫星的信号，能够实时计算出卫星信号的误差，并将这一误差修正信息通过无线方式传输给无人机。而网络RTK技术则利用互联网或专用通信网络，实现更广泛、更精确的误差修正信息共享，使得无人机即使在没有地面基站覆盖的区域也能获得高精度的定位结果。通过这些技术的综合运用，无人机摄影测量系统能够实现厘米级甚至毫米级的定位精度，为后续的影像处理、三维建模以及地理空间信息的提取提供了可靠的空间参考。这种高精度的定位能力，不仅提升了无人机摄影测量的准确性和可靠性，还为城市规划、环境监测、灾害评估等领域的应用提供了更加精细化的数据支持。

2 激光扫描技术

2.1 激光雷达（LiDAR）系统介绍

激光雷达（LiDAR）系统是一项集成了光、机、电以及数据处理技术于一体的高精密测量设备。该系统通过激光发射器向目标物体发射高强度的激光束，当激光束照射到目标表面后会发生反射，接收器则负责捕捉这些反射回来的激光信号。基于激光脉冲的往返时间或相位差异，LiDAR系统能够精确计算出激光束从发射到接收的时间间隔，进而推算出目标与系统之间的直线距离。结合扫描装置的旋转或摆动，LiDAR系统能够实现对目标区域全方位、多角度的扫描，从而获取详尽的三维坐标信息。LiDAR系统的核心组件包括高性能的激光发射器、高灵敏度的接收器、精密的扫描装置以及集成度高的惯性导航系统。激光发射器负责提供稳定、高强度的激光光源，确保信号能够穿透一定的障碍物并有效反射回来；接收器则具备高度的信号识别与处理能力，能够在复杂环境中准确捕捉微弱的反射信号。扫描装置通过精密的机械结构设计，实现激光束的快速、连续扫

描，覆盖更广泛的目标区域。惯性导航系统则提供实时、准确的姿态与位置信息，为三维坐标的精确计算提供可靠依据。凭借高精度、高效率以及全天候作业等优势，LiDAR系统在测绘、城市规划、环境监测、林业资源管理等领域展现出广泛的应用前景，成为现代空间信息技术的重要组成部分^[1]。

2.2 激光扫描数据处理

激光扫描数据处理在LiDAR技术的应用中占据着至关重要的地位，这一环节涉及对原始扫描数据的深度加工与解析，旨在从海量点云信息中提取出有价值的地理信息。第一，在预处理阶段，主要任务是去除噪声点和冗余数据。原始扫描数据中往往包含由设备误差、环境因素等导致的噪声点，以及重复采集的冗余数据，通过预处理，可以有效提升后续处理步骤的准确性和效率。第二，滤波步骤是区分地面点与非地面点的关键。利用滤波算法，可以将点云数据中的地面点与非地面点进行分离，为后续的地形分析、建筑物识别等提供基础。第三，配准过程则是将不同扫描站点的数据整合到同一坐标系下的重要步骤。由于LiDAR扫描通常需要在多个站点进行，因此需要通过配准算法将各站点数据精确对齐，以形成完整的点云数据集。分割和特征提取技术也是不可或缺的，通过对点云数据进行分割，可以将其划分为不同的地物类别，如地形、植被、建筑物等。而特征提取则进一步从分割后的数据中提取出具有代表性的特征信息，如高度、形状、纹理等，为后续的应用提供有力的支持。经过这一系列处理步骤的点云数据，可用于生成高精度地形图、三维模型等地理信息产品^[2]。

3 无人机摄影测量与激光扫描的融合应用

3.1 项目概述

本文研究的对象是铜矿峪矿智控大楼施工前的原始地形，该测区面积约为26000m²，区域北端为一片浓密的竹林，南端为荒废住宅区，灌木丛生，覆盖复杂，RTK在茂密植被下无信号，全站仪通视情况不好，采用传统测量方法比较困难，根据实际情况，决定采用无人机航拍及三维激光扫描的方法获取三维数据。

3.2 高精度地形图测绘流程

高精度地形图测绘流程具体可分为以下三个主要阶段：（1）无人机与LiDAR设备准备阶段。在开始测绘之前，需根据测区的地理特征、面积大小以及测绘精度要求，精心挑选适宜的无人机平台和LiDAR设备。对所选设备进行全面的校准与测试，确保其在作业过程中能够提供稳定、准确的数据。这一步骤是确保后续测绘工作顺利进行的基础。（2）航线规划与数据采集阶段。利

用专业的航线规划软件,结合测区的地形地貌、飞行安全等因素,设计出合理的无人机飞行航线。无人机将按照这一航线进行飞行,同步开展影像拍摄与激光扫描作业,确保覆盖整个测区并获取到足够的影像重叠度和激光扫描数据密度。(3)数据处理与建模阶段。将采集到的影像与激光扫描数据导入专业的数据处理软件中,进行影像匹配、点云配准、滤波去噪、分割识别以及特征提取等一系列精细处理。经过这些步骤,最终生成高精度的地形图和逼真的三维模型。图1为采用大疆M300无人机搭载P1摄影测量相机数据处理后生成的三维模型,图2为搭载L1激光雷达采集的点云数据经过滤波去噪后生成的点云模型。



图1 摄影测量三维模型



图2 经过滤波处理的激光点云数据

3.3 精度验证与质量控制

在精度验证方面,我们采用已知控制点进行比对分析的方法,具体而言,将测量结果与已知控制点的实际坐标进行比对,通过计算测量误差来评估测绘成果的精度。这一过程能够直观地反映出测绘技术的准确性和可

靠性,为后续的决策和应用提供有力支持。对正射影像和激光雷达检查点进行精度验证,正射影像和激光雷达的中误差如表所示:

表1 无人机摄影测量精度评定

数据类型	点类型	平面误差	高程误差
正射影像	检查点	4.3cm	8.8cm
激光雷达	检查点	8.6cm	7.5cm

表1统计了正射影像检查点平面中误差为4.3cm,高程中误差为8.8cm;激光雷达点云检查点平面中误差为8.6mm,高程中误差为7.5cm,精度符合《低空数字航空摄影测量内业规范》的要求。

质量控制则贯穿于整个测绘流程之中,从设备校准、航线规划到数据采集、数据处理等各个环节,都需要严格遵循操作规程,采用先进的数据处理技术和质量控制方法。通过这些措施,我们可以有效地减少误差,提高测绘成果的准确性和可靠性^[3]。为了长期保存和有效管理测绘成果,我们还需要建立完善的质量管理体系和档案管理制度。这一体系应包括测绘成果的接收、存储、查询和利用等环节,确保测绘成果的安全、完整和可追溯性。我们还需要定期对测绘成果进行质量检查和评估,及时发现并纠正可能存在的问题,以确保测绘成果的持续有效和可靠^[4]。

结语

综上所述,无人机摄影测量与激光扫描技术的融合应用,为高精度地形图测绘开辟了新的途径。通过优化数据处理流程、加强精度验证与质量控制,该技术组合已在实际应用中展现出显著优势。未来,随着技术的不断进步与成本的进一步降低,无人机摄影测量与激光扫描技术将在更多领域发挥重要作用,为地形测绘、城市规划、灾害预警等提供更为精准、高效的数据支持。

参考文献

- [1]纪桂欣.无人机摄影测量技术在地籍测绘中的应用及管理对策[J].科技创新与应用,2020,13(26):176-179.
- [2]罗显圣.无人机航空摄影测量模拟系统的应用[J].现代信息科技,2020,6(11):193-195.
- [3]赵慧莉,李华明.基于激光雷达技术的高精度地形测绘方法研究[J].测绘与空间地理信息,2023,46(3):18-24.
- [4]王月明.基于地面三维激光扫描的道路带状地形图测绘[J].科技创新与应用,2023,13(10):127-130.