

的是通过测量技术和地图制作，为不动产的产权确认、土地使用规划、资源管理以及法律文件的生成提供基础数据支持。

不动产测绘是土地管理、城市规划、建设管理和房地产交易等领域中不可或缺的关键技术。（如图 1 所示）

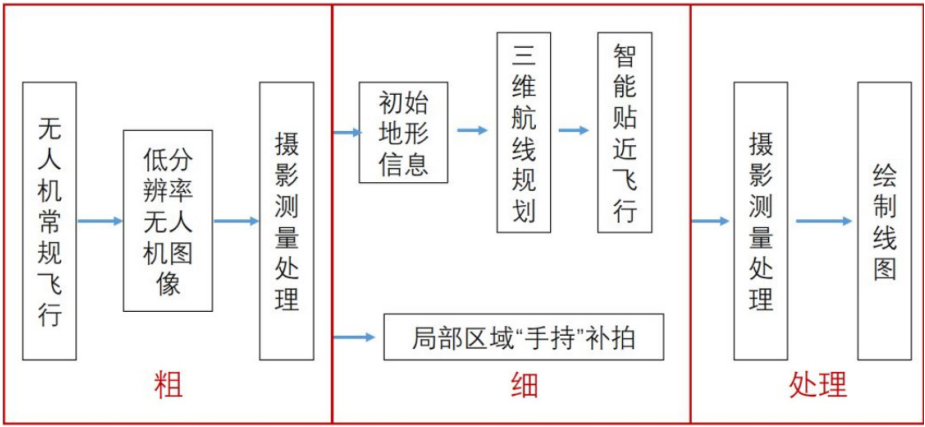


图 1 倾斜摄影测量

3 不动产测绘的难点

不动产测绘作为一项复杂的技术性工作，实际作业环节还存在一些难点，需要相关人员深入分析。

3.1 地形复杂性

不动产测绘常涉及多样的地形环境，如山地、丘陵、湿地等复杂地形。在这些地方，测量仪器的使用、数据的获取和处理都面临着较大的困难。尤其在山地等复杂地形中，信号接收困难，可能会影响定位精度。

3.2 不规则的边界与产权复杂性

很多不动产的边界并不规则，尤其是在城市中，地块和建筑物的形状往往较为复杂。传统的土地测量方法可能无法完全满足这些需求，需要更高精度的测量手段。另外，一些不动产的产权关系复杂，土地和房产的权属不清晰，导致测绘数据的使用和处理更为复杂。

3.3 数据精度要求高

不动产测绘需要精确到厘米级甚至更高的精度，尤其是在进行不动产登记、土地利用和规划等方面时，数据的精度对最终结果至关重要。传统的测量方法（如经纬仪测量）在一些细节方面可能难以满足精度要求，而现代的测量技术（如激光雷达、无人机等）虽然精度较高，但其操作难度和技术要求也增加了测绘难度。

这些难点的存在直接影响测绘技术的开展，需要相关人员深入分析。

4 倾斜摄影测量技术在不动产测绘中的优势

4.1 可以高效获取三维空间信息

倾斜摄影测量技术通过从多个不同角度（通常是四个倾斜角度：前方、侧面、后方及顶部）拍摄地物的影像，可以获取建筑物、地形等对象的完整三维信息。相比于传统的正射影像，倾斜影像能全面展现物体的立体结构，尤其适合对高层建筑、复杂建筑物以及城市景观的精确测量。

4.2 可以提升数据精度和细节捕捉能力

倾斜影像可以从不同的角度捕捉目标物体的细节信息，减少了传统单一视角下无法获取的建筑细节。尤其对于建筑物的立面、屋顶等部分，倾斜摄影测量提供了更为清晰和精确的视角，能够提高建筑物三维建模的精度。

4.3 适应性强，覆盖范围广

该技术通过无人机或其他航拍设备，能够覆盖大范围的测绘区域。对于大规模的不动产测绘任务，如城市建筑群、广阔的土地或沿海区域，倾斜摄影测量提供了一种便捷高效的解决方案。此外，这项技术也能在复杂环境下工作，比如高楼林立的城市中心或难以进入的偏远地区。

5 倾斜摄影测量技术在不动产测绘中的应用

5.1 数据采集

在不动产测绘中，数据采集是倾斜摄影测量技术的基础，需要相关人员通过以下手段开展作业。首先，测绘人员需要合理选择采集平台，其中，无人机是倾斜摄影测量中最常用的采集平台，它具有灵活、可控的飞行高度和飞行路径，可以适应各种复杂的测绘环境。无人机通常配备倾斜摄影系统，能够从多个角度同时拍摄影像；其次，需要合理选择倾斜摄影系统配置，倾斜摄影测量通常使用集成了多个相机的系统（例如四个相机系统），每个相机需要从不同的倾斜角度拍摄。常见的相机一般包括垂直相机、前后倾斜相机、左右倾斜相机等，需要测绘人员合理选择^[21]；然后要进行飞行规划与航线设置，为了保证采集到高质量的影像，需对飞行路线进行精确规划。航线的设置应根据拍摄区域的大小、建筑物的密集程度和飞行高度等因素来确定。一般要求相邻影像具有一定程度的重叠（如 60% ~ 80%），以便进行影像拼接与三维重建。综上，这些步骤确保了高质量的影像数据，可以支持精确的三维重建与不动产测绘分析。

5.2 积极开展影像预处理

在不动产测绘中，倾斜摄影测量技术的影像预处理是

确保影像质量、提高后续数据处理精度的关键步骤，需要相关人员通过以下步骤进行设计。一是要开展影像质量检查与修正，需要检查影像是否有模糊、失焦等问题。如果影像模糊或失焦，需要重新采集数据，或者对图像进行清晰化处理，但效果有限。有时影像在采集过程中可能会因为光照问题导致曝光过度或不足，预处理时需要对曝光进行调整，确保影像的亮度均衡且细节清晰；二是要开展影像拼接与配准，由于倾斜摄影系统使用多个相机从不同角度拍摄同一场景，影像预处理的一项重要任务是进行影像配准。配准过程是将不同角度的影像对齐到同一坐标系中，以确保它们在空间上的一致性。这一步骤需要精确匹配重叠区域的图像特征，如角点、边缘等；三是要进行几何校正，倾斜摄影测量中，由于相机倾斜角度和地面起伏等因素，影像可能会出现几何变形，需要进行几何校正。几何校正的目的是使得影像中的每一个像素点都对应到地面实际的三维坐标。几何校正通常使用图像配准算法和外部控制点（如GPS定位、地面控制点）来完成；此外还需要进行正射影像生成，正射影像是经过几何校正的影像，地面上的每个点都对应影像中的一个像素点。生成正射影像需要对每一张影像进行投影变换，消除相机倾斜造成的影像畸变^[3]。通过这些预处理操作，可以提高影像的质量和精度，为后续的三维重建、立体建模、地理信息分析等提供可靠的数据支持。

5.3 倾斜摄影测量技术的三维建模

在不动产测绘中，倾斜摄影测量技术可以应用于三维模型建立，主要通过对拍摄的倾斜影像进行处理，生成建筑物、地形等地物的三维模型。在进行数据收集与影像处理之后，就要求相关人员通过多视角影像的重叠区域，利用立体匹配算法（如SIFT、SURF、ORB等）进行特征点匹配，生成稠密点云。点云是指由大量的三维坐标点构成的数据集，这些点通常代表地物的表面信息。并且通过影像之间的几何关系，生成从地物表面得到的稠密点云，反映建筑物和地面等物体的真实形状和空间位置。然后，就需要对点云数据进行处理和优化。常见的处理方法包括去除噪声、填补缺失点等，确保点云的准确性。并且根据处理后的点云数据，通过三角网格算法（如Delaunay三角化）将离散的点云转化为三维表面网格。该网格由若干个三角形面构成，形成一个完整的三维物体表面。实际来看，通过三维模型，可以可视化整个城市的建筑和道路布局，支持城市规划、景观设计等工作。并且帮助评估建筑物的市场价值，提供更为精确的

测绘数据。还可以为建筑师提供真实的环境三维数据，以进行建筑设计和优化。综上，这些过程最终生成的三维模型不仅具有较高的几何精度，还能通过纹理映射真实地呈现地物外观，为不动产测绘提供准确且直观的三维数据支持。

5.4 需要开展质量检查

在不动产测绘中应用倾斜摄影测量技术时，质量检查是确保数据准确性、可靠性和应用有效性的关键，需要相关人员通过以下手段进行设计。一是要进行影像质量检查，要确保采集的影像清晰、无模糊。模糊影像会导致特征点匹配失败，影响后续的配准与三维建模过程。需要注意的是，影像曝光过度或过暗会影响细节的提取，检查影像的亮度和曝光设置，避免因光照不均而导致的问题；二是要进行影像配准质量检查，需要检查自动或手动匹配的特征点是否准确。特征点匹配的精度对后续三维重建至关重要。可以使用图像处理软件（如Photoshop、OpenCV等）查看匹配点的分布和匹配精度。并且对比已知控制点与自动匹配结果的差异，计算配准误差。通常使用影像外方位元素和控制点的误差来判断配准的质量；第三，还需要进行外方位元素估算质量检查，需要通过已知的地面控制点和外方位元素估算结果之间的对比，来检查外方位元素的精度。并且利用束平差（Bundle Adjustment）等方法，优化外方位元素的估算结果，确保其精度。综上，通过影像质量检查手段，可以确保最终测量结果的高精度和高可靠性。这些质量检查对于确保不动产测绘成果的精度、可靠性和应用有效性至关重要。

6 结语

综上所述，倾斜摄影测量技术在不动产测绘中存在广泛应用和优势。但是，倾斜摄影测量技术也存在一些挑战，例如数据的处理和管理，容易受到地形和大气条件的影响等。因此，我们需要更多地研究和不断改进倾斜摄影测量技术，以便更好地使用该技术，并促进其在不动产测绘中的应用。

参考文献

- [1] 邱芬. 倾斜摄影测量技术在不动产测绘中的应用研究[J]. 房地产世界, 2022, (22): 142-144.
- [2] 杨岩岩, 顾久美, 王俊念. 倾斜摄影测量技术在农村宅基地不动产测绘中的应用研究[J]. 房地产世界, 2022, (21): 142-144.
- [3] 赵国波. 倾斜摄影测量技术在农村宅基地不动产测绘中的应用剖析[J]. 中国住宅设施, 2022, (04): 133-135.

Application of UAV-based LiDAR in highway survey and design

Yu Yang

Xinjiang Transportation Planning, Survey and Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

With the continuous advancement of transportation infrastructure construction, the demand for high-precision and high-efficiency data acquisition in highway survey and design is increasingly urgent. With its unique advantages, UAV-based LiDAR technology is gradually becoming an important means of highway survey and design. This paper deeply discusses the application of UAV-based LiDAR in highway survey and design, elaborates its technical principle and system composition, analyzes the application advantages and specific practices in terrain surveying and mapping, route selection, geological survey and other aspects, aiming to provide comprehensive and in-depth technical reference for highway survey and design industry, and promote the industry technology upgrade and development.

Keywords

UAV-based LiDAR; Highway survey and design; Topographic mapping; Route selection; Geological investigation

无人机载激光雷达在公路勘测设计中的应用研究

杨雨

新疆交通规划勘察设计研究院有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要

随着交通基础设施建设的持续推进,公路勘测设计对高精度、高效率数据获取的需求日益迫切。无人机载激光雷达技术凭借其独特优势,正逐渐成为公路勘测设计的重要手段。本文深入探讨无人机载激光雷达在公路勘测设计中的应用,详细阐述其技术原理、系统组成,分析在地形测绘、路线选线、地质勘察等方面的应用优势与具体实践,旨在为公路勘测设计行业提供全面、深入的技术参考,推动行业技术升级与发展。

关键词

无人机载激光雷达;公路勘测设计;地形测绘;路线选线;地质勘察

1 引言

公路作为国家交通网络的重要组成部分,其勘测设计的质量影响到公路的建设成本、施工进度、运营安全以及对周边环境的影响。传统的公路勘测设计方法,如 RTK 测量、航空摄影测量等,在面对复杂地形、多样地物以及日益增长的建设需求时,逐渐暴露出效率低、精度有限、数据获取困难等问题。无人机载激光雷达技术的出现,为公路勘测设计带来新的解决方案,有利于快速、高效获取高精度的三维空间数据,全面反映地形地貌特征和地物信息,有效提高勘测设计的效率和质量,为公路建设提供更加科学、准确的数据支持,在公路勘测设计领域具有广阔的应用前景。

2 无人机载激光雷达技术概述

无人机载激光雷达 (Unmanned Aerial Vehicle-Light Detection and Ranging, UAV-LiDAR) 技术是一种集激光测距技术、全球定位系统 (GPS)、惯性测量单元 (IMU) 以及航空摄影技术于一体的主动式对地观测技术。其基本原理是利用无人机搭载的激光雷达传感器向地面发射激光束,并接收地面物体反射回来的激光信号,根据激光的飞行时间和光速,计算出传感器到地面目标点的距离。同时,利用 GPS 和 IMU 实时获取无人机的位置和姿态信息,从而确定每个激光反射点在三维空间中的坐标。通过对大量激光反射点的采集和处理,生成高精度的三维点云数据,这些点云数据精确反映地面物体的形状、位置和空间分布^[1]。如图 1 所示。

【作者简介】杨雨 (1995-), 男, 中国四川南部人, 本科, 助理工程师, 从事工程测量、航空摄影测量研究。