

无人机倾斜摄影测量在土地三维建模中的精度优化研究

步照辉

黑龙江省大庆市林甸县不动产登记中心 黑龙江 大庆 166300

摘要：本文聚焦于无人机倾斜摄影测量在土地三维建模中的精度优化问题。首先阐述了无人机倾斜摄影测量的基本原理和土地三维建模的重要意义，接着分析了影响建模精度的多种因素，包括硬件设备、飞行参数、影像处理算法等。通过实际案例，详细探讨了针对这些影响因素所采取的优化策略，如设备选型与校准、飞行参数的合理设置、影像处理流程的优化等。经过精度优化后的无人机倾斜摄影测量能够显著提高土地三维建模的精度，为土地资源管理、城市规划等领域提供更准确可靠的数据支持。

关键词：无人机倾斜摄影测量；土地三维建模；精度优化；飞行参数；影像处理

引言

科技发展对土地资源管理和规划提出更高要求，传统二维地图和测量方法难以满足全面、精确获取土地空间信息的需求。土地三维建模能直观准确表达土地空间形态和属性，成为重要手段。无人机倾斜摄影测量技术因灵活高效、低成本，在土地三维建模中广泛应用，可构建更真实详细的三维模型。但实际应用中，多种因素影响其建模精度，优化精度是研究热点。本研究旨在分析影响因素、探索优化策略，提高建模质量，为土地管理、城市规划等提供支持。

1 无人机倾斜摄影测量与土地三维建模基础理论

1.1 无人机倾斜摄影测量原理

无人机倾斜摄影测量是利用无人机作为飞行平台，搭载多台高分辨率数码相机，以一定的角度和姿态对地面进行倾斜和垂直摄影，获取地面物体多个视角的影像信息。这些影像数据包含了地物的顶部和侧面特征，通过专业的影像处理软件，对影像进行空中三角测量、密集匹配、纹理映射等操作，最终生成具有真实纹理的三维模型。

1.2 土地三维建模方法

土地三维建模主要包括数据采集、数据处理和模型构建三个主要步骤。数据采集是获取土地空间信息的基础，无人机倾斜摄影测量是其中重要的数据采集手段之一。数据处理包括影像预处理、特征提取、匹配和三维坐标计算等过程，其目的是将采集到的二维影像转换为三维空间坐标。模型构建则是根据处理后的数据，生成具有真实地形和地物特征的三维模型，常用的建模方法有基于点云的建模、基于多边形网格的建模等。

1.3 精度评价指标

在土地三维建模中，常用的精度评价指标包括平面

精度和高程精度。平面精度通常用建模结果与实际地面点在水平方向上的偏差来衡量，高程精度则用垂直方向上的偏差来表示。此外，模型的完整性、纹理清晰度等也是评价模型质量的重要指标。

2 影响无人机倾斜摄影测量土地三维建模精度的因素分析

影响无人机倾斜摄影测量土地三维建模精度的因素众多。硬件设备方面，相机分辨率、像元大小等影响影像质量，镜头畸变降低建模精度；无人机平台稳定性差会使影像模糊、匹配难；POS系统精度低致外方位元素确定不准。飞行参数上，飞行高度需平衡分辨率与成本；重叠度不合适会导致建模空洞或效率低；飞行速度过快影响影像清晰度和重叠度。影像处理算法中，空中三角测量、密集匹配和纹理映射算法的精度和稳定性影响建模质量。环境因素里，光照过强或不足影响影像特征提取，复杂地形增加飞行和采集难度，大气中的雾、霾、风等影响飞行安全和影像质量。

3 无人机倾斜摄影测量土地三维建模精度优化策略

3.1 硬件设备优化

3.1.1 相机选型与校准

高分辨率相机能够捕捉到更丰富的地物细节信息，为三维建模提供更精确的数据基础。同时，低畸变相机可有效减少影像的几何变形，提高影像质量。在选择相机时，需综合考虑其分辨率、感光元件尺寸、镜头焦距等参数。例如，对于大面积土地建模项目，可选择具有较高分辨率（如5000万像素以上）的全幅相机，以获取高清晰度的影像。镜头畸变是影响影像质量的重要因素之一，包括径向畸变和切向畸变^[1]。在使用相机前，需进行严格的校准，采用专业的相机校准工具和软件，通过拍摄特定标定板的方式，获取相机的内参（如焦距、

主点坐标)和外参(如旋转矩阵、平移向量),并消除镜头畸变对影像质量的影响。此外,还应定期对相机进行检测和维护,检查相机的传感器、镜头等部件是否正常,确保其性能稳定。

3.1.2 无人机平台选择与改进

稳定性好的无人机平台是保证影像采集质量的关键。应选用具有减震装置、高精度姿态控制系统的无人机,减震装置可有效减少无人机飞行过程中因发动机振动等因素对相机的影响,提高影像的清晰度;高精度姿态控制系统能够精确控制无人机的飞行姿态,确保相机在拍摄时保持稳定的角度和方向。例如,大疆经纬M300RTK无人机,具备高精度的定位和姿态控制能力,可在复杂环境下稳定飞行。根据实际需求对无人机进行适当的改装,可进一步提高其飞行性能。增加配重可以调整无人机的重心,提高飞行的稳定性;优化飞行控制系统,如升级飞控软件、调整控制参数等,可使无人机更好地适应不同的飞行环境和任务要求。例如,在无人机上安装额外的电池或设备时,需合理调整配重,确保无人机的平衡。

3.1.3 POS系统精度提升

采用高精度的POS系统,如差分GNSS(Global Navigation Satellite System)和惯性测量单元(IMU)组合的POS系统,可提高位置和姿态测量的精度。POS系统在使用过程中可能会出现误差积累,因此需定期进行校准和检测。通过与已知坐标的地面控制点进行比对,调整POS系统的参数,消除误差。同时,还应定期检查POS系统的硬件设备,确保其正常运行。结合地面控制点,对POS数据进行后处理可进一步提高其精度。利用专业的后处理软件,对采集到的POS数据和地面控制点数据进行联合解算,优化无人机的飞行轨迹和姿态信息,从而提高影像的定位精度。

3.2 飞行参数优化

3.2.1 合理确定飞行高度

根据建模区域的地形地貌、地物特征和所需的精度要求,通过试验确定最佳的飞行高度。在城市平坦地区,地物相对规则,飞行高度可以适当降低,一般为50-100米,以获得高分辨率影像,更好地捕捉地物的细节信息;在山区或地形复杂地区,地形起伏较大,存在高山、峡谷等地形障碍,应适当提高飞行高度,通常在150-300米之间,保证飞行安全,同时避免因地形起伏导致影像遮挡^[2]。不同的土地三维建模项目对精度要求不同。对于高精度的建模项目,如城市规划、土地测绘等,需要较低的飞行高度以获取更详细的影像信息;而对于一

般性的地形展示、资源调查等项目,可适当提高飞行高度,以提高作业效率。

3.2.2 优化重叠度设置

根据相机的性能和建模要求,合理设置航向重叠度和旁向重叠度。航向重叠度是指同一航线相邻影像之间的重叠比例,旁向重叠度是指相邻航线影像之间的重叠比例。通常航向重叠度可设置在70%-85%之间,旁向重叠度设置在60%-75%之间。较高的重叠度可以增加影像之间的冗余信息,提高空中三角测量的精度和三维建模的可靠性。对于复杂地形区域,如山区、森林等,地物遮挡和地形起伏较大,可适当增加重叠度。例如,将航向重叠度提高到85%-90%,旁向重叠度提高到75%-85%,以确保在复杂环境下也能获取足够的有效影像信息,提高建模精度。

3.2.3 控制飞行速度

根据无人机的性能和相机的曝光时间,合理控制飞行速度。一般来说,飞行速度不宜过快,以保证影像的清晰度和质量。如果飞行速度过快,相机在曝光时间内无人机移动距离过大,会导致影像模糊。例如,当相机曝光时间为1/1000秒时,飞行速度应控制在10-15米/秒以内。在飞行过程中,应保持飞行速度的稳定,避免速度的突然变化。速度的波动会影响影像的拍摄质量和重叠度,进而影响三维建模的精度。可通过无人机的飞行控制系统设置稳定的飞行速度模式,确保飞行过程的平稳性。

3.3 影像处理算法优化

3.3.1 选择合适的空中三角测量算法

空中三角测量是无人机倾斜摄影测量三维建模的关键环节,其精度直接影响最终模型的准确性。根据建模区域的特点和数据量,选择精度高、稳定性好的空中三角测量算法。对于平坦地区或数据量较小的项目,可采用传统的光束法平差算法;对于复杂地形区域或大规模数据,可采用多基线、多影像匹配的算法,如SGM(Semi-Global Matching)算法,该算法能够充分利用多视角影像信息,提高空中三角测量的精度。不断对空中三角测量算法进行改进和优化,以提高其适应性和精度^[3]。例如,结合深度学习技术,对影像中的特征点进行更准确的提取和匹配,减少误匹配点的影响,从而提高空中三角测量的解算精度。

3.3.2 改进密集匹配算法

密集匹配算法在处理复杂区域时,如植被茂密区域、建筑物遮挡区域等,存在匹配困难、匹配错误等问题。可采用基于多特征融合、深度学习等方法的改进算法,提高匹配的准确性和鲁棒性。例如,将影像的颜

色、纹理、形状等多种特征进行融合,构建更全面的特征描述符,提高特征匹配的准确性;利用深度学习模型学习影像中的复杂特征关系,自动识别和匹配地物点。在改进密集匹配算法的同时,还需考虑算法的性能优化,提高计算效率。采用并行计算、分布式计算等技术,加速算法的运行速度,缩短三维建模的处理时间。

3.3.3 优化纹理映射算法

纹理映射是将影像的纹理信息准确地映射到三维模型表面的过程,直接影响模型的视觉效果和真实感。研究高效的纹理映射算法,确保纹理信息能够准确、无缝地映射到三维模型表面。例如,采用基于视点的纹理映射算法,根据观察视角动态调整纹理显示,使模型在不同视角下都能呈现出逼真的效果。在纹理映射过程中,需要对多张影像的纹理进行拼接和融合,以消除拼接痕迹和色彩差异。采用先进的纹理拼接和融合算法,如基于梯度域的融合算法,能够实现纹理的自然过渡,提高模型的整体质量。

3.4 环境因素应对策略

3.4.1 选择合适的光照条件

尽量选择在光照均匀、无强光直射和阴影的时段进行影像采集,如上午10点到下午3点之间的晴天。此时光照充足且柔和,能够保证影像的亮度和色彩均匀,减少因光照不均导致的影像质量问题。对于光照不足的情况,如阴天或室内环境,可采用补光设备或调整相机参数来提高影像质量。补光设备可以是专业的摄影灯或无人机搭载的补光模块,通过合理调整补光的位置和强度,增加影像的亮度;调整相机参数,如增大光圈、提高感光度、延长曝光时间等,也可在一定程度上改善影像质量,但需注意避免因参数调整过度导致影像出现噪点或模糊。

3.4.2 针对地形地貌采取相应措施

在复杂地形区域,可提前进行实地勘察,了解地形地貌和地物分布情况,规划合理的飞行路线。避免地物遮挡,确保无人机能够拍摄到完整的地物影像。例如,在山区飞行时,可根据山峰、山谷的走向规划航线,使

无人机在合适的高度和角度进行拍摄。对于森林等植被茂密区域,单一的倾斜摄影测量方法难以获取准确的地形信息^[4]。可采用激光雷达与倾斜摄影相结合的方法,激光雷达能够穿透植被,获取地面的高精度三维坐标信息,与倾斜摄影获取的影像信息进行融合,提高地形建模的精度和完整性。

3.4.3 关注大气条件

在飞行前,密切关注天气预报,了解飞行区域的天气情况,避免在雾、霾、强风等恶劣天气条件下进行飞行作业。雾和霾会导致影像模糊,降低影像质量;强风会影响无人机的飞行稳定性,增加飞行风险。如在飞行过程中遇到突发恶劣天气,应及时采取返航等安全措施。无人机应具备自动返航功能,当检测到恶劣天气或信号丢失等情况时,能够自动返回起飞点,确保飞行安全。同时,操作人员应保持冷静,按照操作规程进行操作,避免因慌乱导致事故发生。

结语

本研究聚焦无人机倾斜摄影测量在土地三维建模中的精度问题,深入剖析了硬件设备、飞行参数、影像处理算法及环境因素等对精度的影响,并通过实际案例提出硬件选型与校准、合理设置飞行参数、改进算法及应对环境等优化策略。尽管取得一定成果,但复杂地形和遮挡区域建模精度提升、大规模建模高效处理,以及与其他测绘技术深度融合等问题仍待研究。未来将围绕这些问题完善技术,推动土地三维建模发展应用。

参考文献

- [1]钱跃磊.无人机倾斜摄影测量技术在土地整理中的应用分析[J].安徽农学通报,2025,31(02):116-119.
- [2]王凤.无人机倾斜摄影在土地确权中的应用——以灵璧县下楼镇地区为例[J].资源信息与工程,2025,40(03):61-64+68.
- [3]王新静,姚怡桦,段晨鑫.无人机倾斜摄影在土地调查中的应用[J].河南科技,2024,51(03):10-13.
- [4]李小光.基于无人机倾斜摄影测量的土地利用变化监测研究[J].科技资讯,2023,21(10):1-4.