

无人机倾斜摄影在城市三维测绘中的精度影响因素分析

丁亮

四川中水成勘院测绘工程有限责任公司 四川 成都 610072

【摘要】：无人机倾斜摄影技术在城市三维测绘中应用日益广泛，但其测量精度受多种因素的影响。飞行高度、相机参数、影像质量及数据处理方法等都直接决定了三维模型的精度。本文分析了这些因素对城市三维测绘精度的具体影响，并提出了一些优化方案。通过对不同参数设置下测绘精度的比较，探讨了如何有效提高测绘结果的可靠性。研究表明，通过合理控制飞行条件与数据处理流程，可显著提升倾斜摄影测量的精度，推动城市测绘技术的发展与应用。

【关键词】：无人机倾斜摄影；城市三维测绘；精度分析；飞行高度；数据处理

DOI:10.12417/2705-0998.25.24.062

引言

城市建设的日益复杂，传统的测绘方法已难以满足高效与精确的要求。无人机倾斜摄影作为一种新型的城市测绘技术，凭借其高效、灵活的优势，迅速成为三维建模和城市规划的重要工具。通过无人机搭载摄像头倾斜拍摄，获取地面和建筑物的多角度影像，从而进行三维重建。尽管其在多个领域得到了广泛应用，但测量精度依旧是其应用中的一大难题。精度受飞行高度、拍摄角度、图像质量等多种因素的影响，如何通过合理的参数配置与数据处理方法优化测绘精度，成为了当前研究的重要方向。研究这些因素对精度的影响，对于提升测绘精度、推动无人机倾斜摄影技术的发展具有重要的实践意义。

1 影响无人机倾斜摄影精度的主要因素

飞行高度对精度具有直接影响。飞行高度过低会导致拍摄范围有限，而过高则可能导致影像分辨率下降，从而影响到三维重建的细节精度。飞行过程中，不同的高度会导致影像的几何畸变不同，因此选择合适的飞行高度是提高精度的关键因素之一。拍摄角度也对测绘结果有重要作用。无人机的倾斜角度直接影响地面物体的投影方式，合适的倾斜角度能够更好地捕捉建筑物的立面信息，而过大的倾斜角度可能导致影像畸变，进而影响建模的准确性。控制适当的倾斜角度对于获得清晰的三维点云数据至关重要。

相机的内外部参数也是精度影响因素之一。内参数包括焦距、感光元件的尺寸、镜头的畸变等，外参数则涉及相机在飞行过程中的姿态变化^[1]。相机的标定精度直接影响影像的几何重建，若相机的内部和外部参数出现误差，将导致图像坐标系统的偏差，最终影响三维建模的精确度。数据的质量和处理方法也对精度产生重要影响。拍摄过程中，若环境光照不足或出现大气干扰，会导致图像质量下降，从而影响到三维重建的质量。在数据处理方面，图像匹配、特征提取以及点云生成等环节的精度也会影响最终结果。特别是在高密度建筑区，由于纹理缺乏或相似度过高，特征匹配的难度加大，进而影响到三维模型的精度。飞行参数、相机性能、图像质量及数据处理技术都是

影响无人机倾斜摄影精度的关键因素。在实际应用中，只有综合考虑这些因素，并通过优化方案进行调节，才能确保城市三维测绘的精度达到预期水平。

2 飞行高度与拍摄角度对精度的作用

飞行高度与拍摄角度是影响无人机倾斜摄影测绘精度的重要因素。在无人机测绘过程中，飞行高度的选择直接影响地面目标的影像分辨率和空间几何关系。飞行高度过低会导致影像过于集中，可能导致相邻地物之间的重叠过多，增加了图像处理的复杂性。过高的飞行高度则会导致地物在影像中的比例较小，无法捕捉到足够的细节信息，从而影响三维重建的精确度。飞行高度的调整需要根据目标区域的特点以及所需的测绘精度进行合理设置。对于城市环境中的高楼建筑，较高的飞行高度有助于获得全景影像，但如果目标较为细致的建筑立面细节需要精确测量，适当降低飞行高度能够提升影像的分辨率，从而提高精度。

飞行高度与影像覆盖率密切相关。飞行高度过低会增加相邻图像的重叠部分，虽然这种重叠可以提高特征匹配的成功率，但也可能使得图像之间的几何关系变得复杂，进而影响点云的密度和精度。过高的飞行高度虽然减少了图像的重叠部分，但可能无法精确捕捉到城市三维建模所需的细节，飞行高度的选择不仅需要考虑到图像质量，还要综合考虑测绘任务的具体需求。

拍摄角度对精度的影响也不容忽视。无人机的倾斜角度决定了地面目标在影像中的投影方式，这直接影响到三维重建的效果^[2]。在城市三维测绘中，建筑物的立面信息尤为重要，适当的拍摄角度可以有效提高这些信息的捕捉率。如果倾斜角度过小，拍摄的图像会缺乏立体感，导致建筑物的正面信息无法充分展示；而过大的倾斜角度则会导致影像中的几何变形，影响立面与周围环境的精确定位。一般来说，最佳的倾斜角度能够在保证影像清晰度的基础上，尽量减少图像畸变，提供更多的地面细节信息。

拍摄角度还与飞行高度相互作用。飞行高度较低时，拍摄

角度的变化对测绘精度的影响较大,因为较低的高度会导致建筑物的影像较为集中,需要更精确的角度来避免畸变。而在较高的飞行高度下,拍摄角度的影响相对减小,但仍然需要保持一定的倾斜角度,以确保建筑物和地面物体的清晰呈现。飞行高度和拍摄角度之间的协调,是实现精确三维测绘的关键因素之一。

3 影像质量与数据质量控制对精度的影响

影像质量和数据质量控制是无人机倾斜摄影精度的重要保障,二者在三维重建过程中发挥着至关重要的作用。影像质量直接决定了数据采集的有效性与精确度,低质量的影像会导致图像处理过程中的误差,进而影响点云生成与三维模型重建的准确性。在拍摄过程中,环境光照的变化会显著影响影像的质量,特别是在光照条件较差或强烈反差的场景中,图像可能出现过曝、欠曝或者细节丢失等问题,极大地影响后期处理的准确性。为了提高影像质量,要求摄影设备必须具备较高的分辨率、精准的曝光控制和良好的色彩还原能力,飞行时避免过于剧烈的运动,以减少模糊现象的发生。图像的畸变,特别是镜头畸变,往往会引起图像的几何变形,这对于三维重建精度产生极大影响。通过相机标定可以有效减小这一影响,提高影像的几何准确性。

数据质量控制则涉及整个数据采集、传输和处理的全过程。数据采集环节的质量问题是影响三维建模精度的根本因素^[3]。若数据采集过程中存在大量缺失、重叠或误匹配的现象,将直接影响到后期数据处理的效果,导致生成的点云数据不完整或失真。在点云生成过程中,缺失的数据会导致建筑物或地面物体的缺失,进而影响三维模型的精度。图像处理中的特征提取与匹配方法也对数据质量有着显著影响。特征点的匹配精度直接影响三维重建的精度。高质量的图像通常包含更多的可用特征点,且特征点之间的匹配更加准确,能够有效减少重建过程中出现的误差。若数据处理方法不当,或者特征提取过程中存在误差,可能导致点云数据存在较大的误差,影响模型的空间定位。

环境因素同样影响影像质量和数据控制。大气层中的云雾、雨雪等天气现象可能导致光线的散射或衰减,从而影响影像的清晰度和质量。这要求在数据采集时充分考虑天气条件,选择合适的拍摄时段,以确保数据的准确性和完整性。影像传输过程中的数据压缩和丢包现象,也可能在一定程度上影响数据的完整性,数据传输过程中应保证网络的稳定性,并采用无损压缩技术,以保证数据的质量。影像质量和数据质量的提升,依赖于精确的设备配置、严格的数据采集规范和优化的数据处理流程。通过综合控制这些环节,可以有效提高无人机倾斜摄影的测量精度,为城市三维测绘提供可靠的数据支持。

4 数据处理方法优化对测绘精度的提升

测绘数据处理的每个步骤,从影像的匹配、点云的生成到三维模型的构建,都对最终的精度有直接影响。影像匹配是数据处理中的关键环节之一。对于高分辨率影像来说,影像中的细节非常丰富,然而由于拍摄角度的变化,可能会导致图像中的几何畸变,这要求匹配算法能够在畸变影像中准确识别并提取特征点。优化图像匹配算法,采用高效的特征描述子和匹配策略,可以提高特征点的匹配精度,减少因特征点误匹配而引入的误差。通过使用更强大的算法,如基于深度学习的特征提取与匹配技术,可以更好地应对复杂城市环境中的低纹理区域,从而提高匹配精度和数据的可靠性。

点云生成是另一个需要优化的关键步骤。高质量的影像能够生成更为稠密和准确的点云数据,而在实际操作中,由于影像的重叠区域和视角差异,点云的密度和精度常常不均衡^[4]。通过引入先进的点云处理技术,如自适应密度控制算法,能够有效地根据不同区域的复杂度调整点云的密度,从而提高建筑物立面和地面物体的重建精度。对点云进行去噪、滤波和配准等处理,能够去除不必要的误差和冗余点,确保最终模型更加精确。特别是在城市三维建模中,由于建筑物结构的复杂性,点云的精细化处理至关重要,优化后的点云数据可以极大提升城市建模的精度。

在数据处理的后期,三维模型的构建同样依赖于数据优化。三维建模算法通过将点云数据转化为多边形网格,进一步完成建筑物或地物的三维呈现。为了确保三维模型的精确性,需要对点云数据进行精确的配准和几何优化。通过优化点云配准方法,如采用基于全局优化的配准算法,可以减少由于点云偏移和旋转引起的误差。对模型网格的细化和精度提升,也能通过改进网格优化算法实现。通过细化网格的方式,能够保留建筑细节和复杂的结构特征,提高测绘精度。数据处理中的另一项优化措施是提高数据的集成度。城市三维测绘不仅仅依赖于无人机的倾斜影像,还需要融合其他来源的数据,如激光雷达(LiDAR)数据和地面测量数据。这些数据能够互为补充,通过数据融合方法将不同来源的数据进行有效集成,从而提升整体的测绘精度。采用多源数据融合技术,可以在精度要求较高的情况下,利用不同传感器的优势,减少单一数据源可能带来的误差。

计算资源的提升也是数据处理优化的一个关键因素。无人机倾斜摄影生成的海量数据需要强大的计算能力来进行处理。高效的并行计算技术和优化的处理流程能够显著缩短数据处理时间,同时保证处理结果的高精度。随着计算能力的提升,越来越多复杂的算法能够在合理的时间内得到实现,这对大规模城市三维测绘具有重要意义。通过不断优化数据处理方法,从影像匹配、点云生成到三维建模,再到多源数据融合,每一个环节的改进都能为测绘精度的提升提供强有力的支持。

5 提高测绘精度的实践策略与技术应用

提高测绘精度的实践策略与技术应用需要综合考虑无人机飞行参数、影像质量控制、数据处理优化等多个方面。通过精确的飞行规划，能够有效提升数据采集的准确性。对于高精度的城市三维测绘，飞行路径的选择非常关键。规划合理的飞行路线，确保图像覆盖区域具有足够的重叠部分，可以提高影像匹配的成功率，减少因图像重叠不足导致的匹配错误。飞行时对飞行高度、航向角和倾斜角的控制能够确保拍摄的影像满足精度要求，特别是在复杂的城市环境中，飞行参数的优化能够有效避免畸变和误差的产生。

在影像质量方面，确保拍摄环境的光照条件和天气状况良好是提高测绘精度的基础。良好的光照条件有助于提高影像的清晰度和细节表现，尤其是在城市建筑物的立面拍摄中，较为充足的光线能够确保影像中细节的准确呈现。采用高分辨率的相机和低畸变的镜头也能在很大程度上减少影像失真和几何畸变，提高影像质量和数据的可靠性^[5]。在数据采集过程中，尽量避免高空云层和大气干扰，以减少对影像质量的不利影响。数据处理技术的应用在提高测绘精度方面起到了决定性作用。利用先进的影像配准算法，能够有效提高多幅影像之间的匹配精度，避免因图像畸变和误匹配造成的三维重建误差。随着计算机视觉技术的发展，基于深度学习的影像匹配方法逐渐被引入无人机测绘领域。这些方法能够有效提取和匹配高维特

征，尤其是在纹理较少的区域，依然能够保证较高的匹配精度。点云处理技术的优化也能显著提高测绘精度。通过对点云进行去噪、滤波和密度调节，可以有效提高点云数据的准确性和稳定性，为后续的三维建模提供更加可靠的数据基础。

多源数据融合技术的应用同样能够显著提升测绘精度。将无人机采集的影像数据与激光雷达(LiDAR)数据结合，通过数据融合技术可以弥补单一数据源的不足，提供更加全面和精确的城市三维模型。激光雷达数据可以为地面和建筑物提供更为精确的高度信息，而无人机影像则可以提供更多的表面纹理和细节，通过融合这两者的数据，可以获得更高精度的三维重建结果。在大规模城市测绘项目中，高效的计算平台和优化的数据处理流程至关重要。采用并行计算和分布式处理系统，可以在短时间内完成大规模数据的处理，提升工作效率的同时，保证测绘结果的高精度。

6 结语

无人机倾斜摄影在城市三维测绘中的应用为提升测绘精度提供了新的解决方案。通过优化飞行高度、拍摄角度、影像质量及数据处理方法，可以显著提升三维建模的精度和可靠性。多源数据融合技术和高效计算平台的应用为大规模城市测绘提供了坚实的技术支持。随着技术不断进步，未来无人机倾斜摄影将在城市规划、建筑设计等领域发挥更大作用。

参考文献:

- [1] 郑清.无人机倾斜摄影测绘技术在城市三维建模中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2025(8):21-23.
- [2] 雷康乐.无人机倾斜摄影在城市三维模型构建中的应用研究[J].电脑知识与技术,2025,21(21):95-97.
- [3] 刘得朋,赵芳杰,朱小琼.无人机倾斜摄影和三维激光扫描在历史建筑测绘中的应用[J].测绘,2025,48(4):287-291.
- [4] 刘晓君.应用无人机倾斜摄影与深度学习实现城市三维重建[J].电脑知识与技术,2025,21(13):106-108.
- [5] 李松焕.无人机倾斜摄影测量技术在数字城市三维建模中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2025(7):148-151.