

Application and error analysis of UAV point cloud technology in urban 3D modeling Qiu Kui

Kui Qiu

Nanjing Surveying and Mapping Research Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210005, China

Abstract

With the development of drone technology, drone point cloud technology has been widely applied in urban 3D modeling. By equipping drones with LiDAR or camera devices, this technology can quickly and efficiently acquire three-dimensional data of cities, offering a new approach to urban modeling. Using the point cloud data obtained from drones, it is possible to accurately reconstruct geographic information such as buildings, roads, and green spaces, which is widely used in urban planning, architectural design, environmental monitoring, and other fields. However, despite the many advantages of drone point cloud technology, there are certain error issues during its application, including positioning errors, sensor errors, and errors in data processing. This paper discusses the application of drone point cloud technology in urban 3D modeling, analyzes the factors affecting these errors, and proposes corresponding error correction methods.

Keywords

UAV; point cloud technology; urban 3d modeling; error analysis; application

无人机点云技术在城市三维建模中的应用与误差分析

邱奎

南京市测绘勘察研究院股份有限公司, 中国·江苏 南京 210005

摘要

随着无人机技术的发展, 无人机点云技术在城市三维建模中得到了广泛的应用。无人机点云技术通过搭载激光雷达或摄影设备, 快速高效地获取城市的三维数据, 提供了一种新的城市建模方式。利用无人机获取的点云数据, 能够精确地重建城市建筑物、道路、绿地等地理信息, 广泛应用于城市规划、建筑设计、环境监测等领域。然而, 尽管无人机点云技术具有许多优势, 其在应用过程中也存在一定的误差问题, 包括定位误差、传感器误差以及数据处理过程中的误差。本文探讨了无人机点云技术在城市三维建模中的应用, 分析了影响误差的因素, 并提出了相应的误差修正方法。

关键词

无人机; 点云技术; 城市三维建模; 误差分析; 应用

1 引言

随着城市化进程的加速, 城市规划、建设以及管理对三维地理信息的需求日益增多。传统的城市三维建模技术, 如人工测量、地面激光扫描等, 通常面临着高成本、低效率以及数据处理复杂等问题。而无人机点云技术凭借其高效性、灵活性和成本效益, 已成为近年来城市三维建模领域的重要技术之一。无人机搭载激光雷达 (LiDAR) 或多光谱摄影设备, 能够快速获取大范围、高精度的三维点云数据。通过对这些点云数据的处理与分析, 可以实现对城市建筑物、基础设施等进行精确建模, 进而为城市规划、建筑设计、环境监测等提供重要的三维数据支持。然而, 尽管无人机点云技术具有广泛的应用前景, 实际应用中仍然存在一定的误差

问题, 尤其是数据获取过程中由于多种因素导致的误差, 这些误差影响了建模精度。因此, 如何在应用中控制和修正这些误差, 是当前无人机点云技术在城市三维建模中的一个关键问题。

2 无人机点云技术概述与城市三维建模应用

随着城市化进程的加快, 城市空间的结构日益复杂, 传统的地形测绘和城市建模技术在精度、效率和覆盖范围等方面已难以满足现代城市规划和管理的需求。在此背景下, 无人机 (UAV, Unmanned Aerial Vehicle) 点云技术作为一种集高效性与高精度于一体的新型测绘手段, 逐渐成为城市三维建模的重要工具。该技术利用无人机搭载激光雷达 (LiDAR) 或多光谱摄影系统, 进行三维空间数据采集, 并通过后期处理生成高密度、高精度的三维点云模型, 为城市建设、规划和管理提供强有力的数据支持。

【作者简介】邱奎 (1984-), 男, 中国江苏徐州人, 本科, 高级工程师, 从事测绘工程研究。

2.1 无人机点云技术概述

无人机点云技术是指利用无人机平台,搭载激光雷达、立体相机或多光谱成像仪等传感器,沿既定飞行路径对目标区域进行航拍或激光扫描,从而获取地面和建筑物的三维空间信息。这些信息被记录为大量的三维坐标点,即点云数据,经过数据清洗、配准、滤波和建模处理后,可生成高精度的三维模型或数字地形模型(DTM)、数字表面模型(DSM)。

与传统的地面测绘方法相比,无人机点云技术具有显著优势。首先,它大大提高了数据采集的效率。无人机具备快速部署、自动飞行的能力,能够在短时间内覆盖大面积区域,尤其适用于高楼密集、交通复杂、地形复杂等传统手段难以作业的场所。其次,无人机飞行灵活,能够根据任务需求自定义航线和飞行参数,进行针对性的多角度数据获取。此外,现代激光雷达系统可在树木遮挡、夜间环境下仍具备良好的穿透力和精度,获取的三维点云数据密度高、精度高,可达厘米甚至亚厘米级,极大提升了建模的细节还原能力和空间数据的利用价值。

2.2 无人机点云技术在城市三维建模中的应用

在城市三维建模领域,无人机点云技术被广泛应用于城市空间可视化、基础设施监控、规划辅助决策等多个方面,其具体应用场景主要包括以下几个方面:

城市规划与空间设计:在城市总体规划、地块开发及城市更新项目中,准确的地形和建筑数据是基础。通过无人机获取的三维点云模型,可以完整还原城市的地形地貌、建筑轮廓与高度信息,为规划师提供精准的空间数据支持。尤其是在进行高密度城市区块的空间布局设计时,三维模型能够辅助识别视线通廊、通风走廊、光照条件、空间容积率等关键参数,提高规划决策的科学性与可视化程度。

基础设施建模与维护:城市道路、桥梁、隧道等基础设施在建设运营过程中需要持续监控和维护。传统方式难以全面掌握设施状态,而无人机点云技术能够快速生成精细的三维模型,通过点云分析识别路面沉降、桥梁裂缝、隧道变形等问题。尤其在灾后应急评估、隐患排查等场景中,点云模型可用于比对历史数据,准确评估结构变化和风险等级,提高城市基础设施的安全管理水平。

城市生态与环境监测:城市绿化覆盖率、植被高度分布、城市热岛效应分析等生态指标,均可通过点云数据进行监测与评估。无人机可以按时定期飞行采集植被点云数据,通过三维模型自动识别绿地范围、树木冠幅、高度变化等指标,为城市园林绿化监管、生态修复项目提供技术支持。此外,点云数据与多光谱图像结合后,还可以用于城市水体监测、建筑能耗分析等方面。

文化遗产保护与数字化重建:历史遗迹和文化建筑多具有复杂的结构与独特的艺术价值,需要高精度记录其几何形态。无人机点云技术能够对古建筑、古村落进行高精度三维扫描,生成详细的数字模型用于研究、修复及虚拟展示。

这对于文化遗产的长期保护、数字档案建立和公众传播具有重要意义。

城市应急与灾后评估:在地震、火灾、滑坡等自然灾害发生后,无人机可以迅速进入灾区获取实时点云数据,对受损区域进行快速建模,分析地形变形、建筑倒塌程度,辅助决策者制定应急响应方案,提高救援效率。

2.3 无人机点云技术的优势与局限

尽管无人机点云技术为城市三维建模带来了革命性的变化,但其应用过程中也面临一定挑战。

优势方面:

高效性:相比传统地面测量,无人机作业时间短、覆盖面广,特别适合应急任务和大面积区域的数据获取。

高精度与高密度:搭载激光雷达系统时,获取的数据精度可达厘米级,数据点密度高,便于后期生成高质量三维模型。

作业灵活性强:无人机可根据目标区域的特性灵活规划飞行路径,适应复杂地形和障碍物分布,提升数据采集全面性。

广泛适用性:可用于城市、山地、森林、水域等多种场景,适应性广,尤其适用于人力难以触及的地区。

局限方面:

数据处理复杂:点云数据量巨大,涉及数据清洗、配准、滤波、建模等多个复杂步骤,对处理软件、算法和操作人员技术要求较高。

计算资源需求高:处理点云所需的计算资源庞大,需要高性能计算机与专业软件支持,增加数据后期处理成本。

受天气和环境影响较大:强风、降雨、雾霾等天气状况会影响飞行安全和数据采集精度,特别是光学传感器对光照条件敏感。

飞行与监管限制:在城市中心等敏感区域,无人机飞行需满足严格的法律法规和空域管制,操作需取得相关资质和许可。

误差来源多样:由于飞行轨迹不稳、传感器偏差或姿态角误差等因素,点云数据在某些边缘区域可能出现重叠不足、精度下降等问题。

3 无人机点云技术误差来源及其分析

在无人机点云数据采集与城市三维建模过程中,尽管无人机技术为高效、精确的数据获取提供了便利,但仍然面临多个误差来源的挑战,这些误差可能在不同阶段影响最终模型的精度与可靠性。主要误差来源可归纳为以下三个方面:

3.1 定位误差

无人机的空间定位主要依赖GPS(全球定位系统)与INS(惯性导航系统)的协同作用。然而,在实际飞行中,由于城市环境的复杂性,无人机定位存在一定误差风险。城

市建筑密集区容易产生“多路径效应”，即GPS信号在到达接收器前被周围高楼反射，造成信号偏差，影响定位精度。此外，高楼遮挡可能导致GPS信号临时中断，造成定位漂移甚至失效。

此外，INS系统通过陀螺仪和加速度计对无人机位置进行动态补偿，但该系统易受累积误差影响，时间越长误差越大，尤其在GPS信号不稳定时更为明显。飞行高度变化、风速干扰、飞行姿态变化等因素，也可能对导航系统的计算稳定性造成干扰，进而影响点云数据中每一个点的空间坐标准确性。定位误差不仅影响数据获取的位置精度，也对后期的点云拼接和三维建模带来负面影响。

3.2 传感器误差

无人机点云采集的核心设备是激光雷达(LiDAR)和高精度相机等传感器，这些设备的性能直接决定了点云数据的质量。激光雷达的测距精度可能受到激光束散射效应、地物材质反射率差异的影响。例如，玻璃幕墙、金属表面或深色材料反射能力弱，可能导致激光信号回波不足或误回波。此外，外部环境中的温度、湿度变化也会对激光传播速度和方向产生影响，从而导致测距误差。

而对于相机影像获取，其误差则更多来自光学系统本身，如镜头畸变、焦距误差、拍摄角度不当等问题。在光线不足或阳光直射等极端光照条件下，图像对比度和清晰度下降，也会影响立体影像重建的质量。在城市复杂场景中，建筑物遮挡、狭窄空间以及不规则地形更容易造成数据缺失或“盲区”，使得点云密度不均、精度下降。

3.3 数据处理误差

点云数据的采集只是整个建模流程的第一步，后续的数据处理过程同样是影响结果精度的关键环节。首先，在点云拼接与配准过程中，多个飞行任务获取的数据需要进行空间对齐，如果初始对齐精度不高，或关键点识别与匹配算法误差较大，会导致接缝错位、重叠扭曲等问题。

其次，滤波与降噪处理过程中，如果滤波参数设置不合理，可能导致有效点云信息被误删，或噪声点未被清除，影响后续建模效果。尤其在地形起伏较大或建筑结构复杂的区域，滤波算法的选择尤为重要。再者，三维重建算法(如表面重建、体素化处理)本身的适应性和鲁棒性差异也会引入几何误差，影响模型的边缘轮廓和表面细节还原。

4 无人机点云技术误差修正方法及其优化

4.1 多源数据融合与精度提升

为了减小定位误差和传感器误差，可以采用多源数据

融合的方法，提高点云数据的精度。例如，结合无人机获取的激光雷达点云数据与地面控制点、航空摄影数据进行融合，通过精确的地面控制点和高精度的图像数据，优化点云的配准与修正，提高模型的精度。

4.2 优化飞行路径与传感器设置

飞行路径的优化是减少误差的有效手段之一。通过合理规划飞行路径，可以减少城市环境中建筑物的遮挡，保证无人机获取尽可能完整的点云数据。此外，优化传感器的设置，选择合适的传感器精度与测量范围，也是减少误差的关键。在城市环境中，考虑到建筑物的高度和分布，传感器的安装位置和角度应根据实际情况进行调整，以提高数据采集的准确性。

4.3 改进数据处理与滤波算法

在数据处理阶段，可以采用先进的点云处理和滤波算法，减少噪声和不必要的点云信息，增强数据的精确性。例如，利用机器学习和人工智能算法对点云数据进行智能识别与修正，能够自动识别并剔除错误数据，提高点云的质量。此外，改进的重建算法可以对不同层次的点云数据进行多级融合和优化，从而降低数据处理过程中的误差。

5 结语

无人机点云技术作为城市三维建模中的一种重要技术，具有高效、精确的优点，广泛应用于城市规划、建筑设计、环境监测等领域。然而，在实际应用中，点云数据的误差问题不可忽视，如何有效控制并修正误差，是提高城市三维建模精度的关键。通过多源数据融合、优化飞行路径、改进数据处理算法等方法，可以有效减小误差，提高点云数据的精度和可靠性。未来，随着技术的不断发展和优化，无人机点云技术将在城市三维建模中发挥越来越重要的作用。

参考文献

- [1] 李鹏.利用无人机和激光测绘技术提高矿山勘查精度的研究[J].世界有色金属,2024,(24):141-143.
- [2] 兰俊忠.无人机倾斜摄影测量技术应用于城市竣工测量中的研究[J].中国高科技,2024,(24):130-132.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2024.24.45.
- [3] 曹凯,李波,马玉慧,等.基于三维建模技术的交流变电站无人机飞行安全策略[J].机械与电子,2024,42(12):55-60.
- [4] 桂维振,刘阳,徐强.无人机摄影测量在北京“23·7”暴雨地质灾害调查中的应用[J].城市地质,2024,19(04):448-453.
- [5] 孙伟昌,罗志浩,石建迈,等.无人机覆盖路径规划方法综述[J/OL].控制理论与应用,1-21[2025-05-20].