Research on Fine-Grained 3D Modeling Methods Based on UAV Oblique Photogrammetry

Yangyang Wu[1,2]

1. Shenyang Geotechnical Investigation & Surveying Research Institute Co., Ltd., Liaoning, Shenyang, 110004, China
2. Integrated Space, Sky, Earth, Natural Resources, Spatiotemporal Information Services, Industry University Research Integration Innovation Technology Committee, Liaoning, Shenyang, 110004, China

Abstract

This study focuses on the application of drone oblique photogrammetry technology in fine 3D modeling. A regular building is taken as the research object, and the DJI Elf 4RTK drone platform is used to systematically analyze the influence of factors such as flight altitude, overlap, flight mode, and route planning on the accuracy of 3D modeling. Through the design of flight plans and comparative experiments, the results show that the 3D model has the highest accuracy and most complete details when the heading overlap is 80%, the lateral overlap is 70%, the flight altitude is 100m, and the cross shaped flight path and five directional flight mode are used.

Keywords

Drone oblique photogrammetry;3D modeling;Fine 3D modeling;Accuracy analysis

无人机倾斜摄影的精细化三维建模方法研究

吴扬扬 [1,2]

1. 沈阳市勘察测绘研究院有限公司，中国 · 辽宁 沈阳 110004
2. 空天地一体化自然资源时空信息服务产学研融合创新技术委员会，中国 · 辽宁 沈阳 110004

摘　要

本研究针对无人机倾斜摄影测量技术在精细化三维建模中的应用问题，以一栋规则建筑物为研究对象，采用大疆精灵4RTK无人机平台，系统分析了飞行高度、重叠度、飞行模式和航线规划等因素对三维建模精度的影响。通过设计飞行方案和对比实验，结果表明：在航向重叠80%、旁向重叠70%，飞行高度100m，采用井字航线加五向飞行模式下，三维模型精度最高、细节最完善。

关键词

无人机倾斜摄影；三维建模；精细化建模；精度分析

1 引言

随着数字城市和智慧城市建设的快速发展，对高精度三维模型的需求日益增长。无人机倾斜摄影测量技术凭借其高效、低成本的优势，正逐渐成为获取三维模型的重要手段。在城市建模中以倾斜摄影测量为基础数据自动进行空中三角测量，构建建筑物精细化三维模型 [1]。在数据获取、空三计算、模型建立等各个环节进行优化 [2]，提高实景三维模型的质量，实现实景三维模型在空间查询、分析等深层次的应用 [3]，为“智慧城市”的精细化管理提供支持 [4]。本研究以大疆精灵 4RTK 无人机为实验平台，通过设计多组对比实验，系统分析不同飞行参数对三维建模精度的影响，为无人机倾斜摄影测量在精细化三维建模中的应用提供参考。

【基金项目】基于空天地一体化及北斗三号精密定位的沈阳市新型基础测绘体系的研究、建立与实施（A类项目无编号）。

【作者简介】吴扬扬（1989–），男，中国安徽合肥人，硕士，高级工程师，从事工程测量、无人机摄影测量、测绘项目生产管理等研究。

2 倾斜摄影测量基本原理

倾斜摄影测量是指在无人机平台上搭载不同视角的多镜头相机或者是可改变拍摄视角的单镜头相机，在合适的飞行高度上对需要获取信息的物体进行拍摄，获取该物体信息的技术，其最常用的影像采集系统是五镜头相机。倾斜摄影测量的基本原理在于利用飞机或无人机作为平台，搭载前、后、左、右、垂直方向的五个相机，对地物进行全方位的拍摄。随后进行内业处理，包括几何校正、平差和多视影像匹配等一系列操作，以获取被拍摄地物的全方位信息数据 [5]。

3 倾斜摄影测量质量影响因素

3.1 无人机航拍飞行模式

大疆精灵 4 的遥控器内置全新的 GS RTK App，该系统提供给用户多少航线规划模式，用户无需手动操作即可使用，根据不同的飞行模式对地面建筑物信息拍摄方式不同其采集的影像数据也不相同，本文针对研究区域地形特征，制定不同的飞行方案，将不同飞行方案采集到的数据经处理后进行三维建模，对比分析其模型精度，最后的得出在该测区中采用哪种飞行方式最为合适。

3.2 无人机航拍飞行高度

无人机在影像获取时飞行的航高是影像倾斜三维建模的一个重要影响因素，恰当高度才能够保证建模主体全面的精度。如果无人机在影像获取时飞的较低低，那拍摄的影像更多的是看到主体的侧面，会导致建模后的模型不完整。如果无人机在影像飞的高度适中，则拍摄影像时主体的顶部和侧面都被拍摄到，三维建模后的模型不仅完整而且精度也很高。如果无人机在影像飞的很高，则更多的是看到主体的顶部，后期建模后的模型更偏向扁平的二维模型，精度较低。故根据无人机的飞行高度不同，其拍摄相片的清晰度、所包含的信息都不相同。

3.3 无人机航拍影像重叠度

无人机在影像获取时飞行的重叠度也是影像倾斜三维建模效果的一个重要影响因素，重叠度越高，无人机航拍过程中获取的影像数量也就增加，其所包含的空间信息和纹理信息也随之增多，从而提高了后期建模的准确性和效率。但是旁向重叠度和航向重叠度过高会降低外业航飞的效率，造成不必要的资源浪费，所以基于现实作业的效率考虑，我们既要考虑要三维建模的精度，又要考虑到外业航飞效率。综上所述，就需要通过设计不同的飞行方案找出最合适的重叠度。

3.4 无人机航拍航线规划

在无人机进行数据采集时，不同的航线规划，对三维建模精度也有较大影响。之字航线可被划分为垂直和平行两种，在进行航线规划时，必须确保建筑物的长条状分布方向与长航线方向呈现完全垂直的状态。在规划航线时，必须确保建筑物的长条状分布方向与其所处的长航线方向保持完全平行。“井”字航线，是以“之”字航线为基础，通过水平和垂直两个方向的垂直叠加，形成了一个独特的“井”字路径。

3.5 天气

天气因素会影响图像质量，主要是风、雾霾，雨雪，当风速过大时，应该考虑停止飞行。首先，风大会造成飞机飞行速度和姿态变化过大，导致从空中所照的照片扭曲程度过大，最终成像模糊。同时会加速飞机动能的消耗，导致缩短飞行时间，最终有可能会在有限的时间内未能完成计划区域。

3.6 无人机的分辨率

垂直和倾斜影像的地面分辨率是倾斜航摄仪最为直观与重要的参数之一，也是直接决定后续三维建模质量的关键因素。倾斜影像自动空三时，为了保证量测点的精度，应尽量保证不同影像的分辨率一致，从而侧视影像需要裁掉远端和近端分辨率差异过大的部分，但同时为了保证影像的重叠度，航线设计时需要顾及侧视影像的分辨率。因此需对垂直与倾斜视角的影像分辨率进行组合分析。

4 实验概况

实验采用大疆精灵 4 无人机对一栋规则建筑物进行数据采集，通过采用不同的飞行模式、飞行高度、航线以及重叠度设计飞行方案，通过 Context Capture 软件对飞行方案中获取的数据进行三维建模。通过对比分析不同参数下生成的三维模型的质量，评估各因素对建模精度的影响。主要考察以下因素：飞行高度（80m、100m、120m）、航向与旁向重叠率（70%-90%）、飞行模式（井字飞行、五向飞行、立面飞行等）。

5 实验方案

5.1 方案 1：不同飞行高度

设置在井字飞行模式，航向重叠 80%、旁向重叠 70%，航线规划为井字航线下飞行高度为 80m、100m、120m 的三维建模效果。通过建模后的三维模型整体建模精度 3 个模型精度较为相似，但从窗户细节的对比可以看出，在井字飞行模式，航向重叠 80%、旁向重叠 70%，航线规划为井字航线下飞行高度为 100m 的建模后的三维模型精度较高，细节比较完善。如图 1 所示。

图 1 飞行高度 100m 三模建模细节图

5.2 方案 2：不同重叠度的影响

设置井字飞行模式，飞行高度为 100m，航线规划为井字航线下，三种不同的重叠度设计方案：1）航向重叠 80%、旁向重叠 70%；2) 航向重叠 80%、旁向重叠 80%；3)

航向重叠 70%、旁向重叠 70%。将该 3 次建模结果进行对比，其阴影、扭曲、形变可以得出在飞行模式为井字飞行、飞行高度为 100m、航线规划为井字航线下，航向重叠 80%、旁向重叠 70%，建模后的三维模型精度较高，细节比较完善。如图 2 所示。

图 2 航向重叠 80%、旁向重叠 70% 三模建模全景图

5.3 方案 3：不同飞行模式的影响

设置航向重叠 80%、旁向重叠 70%，飞行高度为 100m，航线规划为井字航线，对比井字飞行、井字飞行加五向飞行、五向飞行加立面飞行三种飞行模式下的三维建模效果。通过建模后的三维模型整体建模精度可以看出在其他条件相同的情况下井字飞行加立面飞行的建模后的效果较好，但是其他方面没有很好的效果因此精度最差。其余模型通过建模后的细节对比可以看出，在航向重叠 80%、旁向重叠 70%，飞行高度为 100m，航线规划为井字航线下飞行模式为井字飞行加五向飞行的建模后的三维模型精度较高，细节比较完善。如图 3 所示。

综合对比以上三种方案中的建模精度和细节展示效果，发现在航向重叠 80%、旁向重叠 70%、飞行高度为 100m、航线规划为井字航线下飞行模式为井字飞行加五向飞行的建模后的三维模型精度相对最高，细节较为完善，

图 3 井字飞行加五向飞行的三维建模全景图

6 结论与展望

研究成果为无人机倾斜摄影测量在精细化三维建模中的应用提供了重要参考，模型精度不仅受飞行参数影响，还与建筑物本身的复杂程度、周边环境等因素相关。对于更复杂的建筑物，可能需要调整飞行参数并结合其它的摄影辅助手段可以获得更好的建模效果，未来研究可进一步探索不同建筑类型、复杂环境下的最优飞行参数组合，辅以更优的质量评价指标进行验证。

参考文献

[1] 李德仁, 肖雄武, 郭丙轩, 等. 倾斜影像自动空三及其在城市真三维模型重建中的应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2016, 41(06):711-721.

[2] 邱春霞, 张巧玲, 董乾坤, 等. 无人机倾斜影像三维建模中的空地融合研究[J]. 测绘地理信息, 2021, 46(06):67-71.

[3] 邹剑波. 无人机倾斜摄影精细化实景三维建模及校园GIS应用[D]. 中国矿业大学, 2022.

[4] 潘伟斌. 基于无人机倾斜摄影的建筑物三维精细模型构建方法[D]. 南京师范大学, 2021.

[5] 刘建程. 倾斜摄影测量面向城市实景三维建模与质量评价[D]. 辽宁工程技术大学,2022.