

无人机倾斜摄影在地籍调查中的应用

徐 凡

江苏森茗生态景观研究院有限公司, 江苏 南京

收稿日期: 2025年3月2日; 录用日期: 2025年3月25日; 发布日期: 2025年4月2日

摘要

无人机倾斜摄影测量作为一种测绘地理信息行业中的一项新型技术, 具有效率高、受环境因素制约小等优点。借助该方法的优势, 开展地籍调查工作, 并进行精度检验, 界址点中误差为3 cm, 粗差率为3.92%, 界址边长中误差为2.8 cm, 粗差率为3%。结果表明, 无人机倾斜摄影的方法可以较好地应用于平原地区的地籍调查中, 满足精度的基本要求。

关键词

地籍调查, 无人机, 倾斜摄影

Application of UAV Tilt Photography in Cadastral Survey

Fan Xu

Jiangsu Senming Ecological Landscape Research Institute Co., LTD, Nanjing Jiangsu

Received: Mar. 2nd, 2025; accepted: Mar. 25th, 2025; published: Apr. 2nd, 2025

Abstract

As a new technology in the surveying and mapping geographic information industry, UAV tilt photogrammetry has the advantages of high efficiency and is less restricted by environmental factors. The cadastral survey was carried out with the advantages of this method. After accuracy check, the mean square error of boundary points was 3 cm and the gross error rate was 3.92%, the mean square error of boundary length was 2.8 cm and the gross error rate was 3%. The results showed that the method of UAV tilt photography can be better applied to the cadastral survey in plain areas, and meet the basic requirements of accuracy.

Keywords

Cadastral Survey, UAV, Tilt Photography

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着科学技术的飞速发展，数据获取手段愈发先进。无人机倾斜摄影测量作为一种新型技术，近年来在测绘地理信息行业中得到了广泛应用，并取得了显著成果[1]。倾斜摄影测量通过多角度拍摄获取地物的三维信息，结合计算机视觉技术生成高精度的三维模型，具有效率高、受环境因素制约小等优势[2]。该技术不仅能够快速获取大范围的地理信息数据，还能够提供直观的三维可视化效果，为地籍调查、城市规划、灾害监测等领域提供了强有力的技术支持[3]。

地籍调查是对农村宅基地、集体建设用地及其地上建筑物、构筑物进行权籍调查的重要工作，旨在支撑和保障宅基地和集体建设用地使用权的确权登记发证工作，为全面推进农村不动产统一登记奠定基础[4]。传统的地籍测量方法虽然精度高、风险低，但也存在效率相对较低、受天气和气温影响较大、人工成本高等缺点。相比之下，无人机倾斜摄影测量能够在保证精度的前提下，实现高效、快速、低成本的测量，尤其适用于大范围、复杂地形的地籍调查项目[5]。

然而，倾斜摄影测量技术在实际应用中仍面临一些挑战。首先，光照条件、植被遮挡、建筑物复杂程度等因素会影响影像的质量和三维模型的精度[6]。例如，强光或阴影区域可能导致纹理提取不准确，而植被覆盖区域则可能遮挡地物，导致模型生成时出现空洞或模糊区域[7]。其次，相机参数(如分辨率、焦距、拍摄角度等)和飞行参数(如飞行高度、重叠率等)也会对测量精度产生显著影响[8]。因此，在实际应用中，必须综合考虑这些因素，优化飞行方案和数据处理流程，以确保测量结果的精度和可靠性。

近年来，国内外学者对无人机倾斜摄影测量技术进行了广泛研究。例如，Remondino 等人[2]综述了基于图像的 3D 建模技术，探讨了倾斜摄影测量的基本原理和应用前景；Colomina 和 Molina [3]则详细讨论了无人机在摄影测量和遥感中的应用，特别是倾斜摄影测量的技术进展。此外，Koeva 等人[5]研究了无人机在土地权属调查和地图更新中的应用，展示了该技术在地籍调查中的潜力。尽管这些研究取得了显著成果，但在实际应用中，如何进一步提高倾斜摄影测量的精度和效率，仍是一个亟待解决的问题。

本研究以江苏省常州市武进区为例，探讨无人机倾斜摄影测量在地籍调查中的应用。通过分析作业区域的地形特征、数据获取流程、模型生成方法及精度验证结果，本研究旨在验证无人机倾斜摄影测量在平原地区地籍调查中的可行性和优势，并为相关领域的研究和实践提供参考。

2. 研究区域及数据获取

2.1. 工作区域

武进区位于长江三角洲太湖平原西北部，隶属于江苏省常州市，地处江苏省南部，濒太湖，衔滆湖，东邻江阴、无锡，南接宜兴，西毗金坛、丹阳，北接常州天宁区、钟楼区、新北区。地理位置位于北纬 $31^{\circ}20' \sim 31^{\circ}48'$ 、东经 $119^{\circ}40' \sim 120^{\circ}12'$ 。武进区域总面积约 1066 平方公里，境内平原宽广，地势低平，河网稠密。

2.2. 数据获取

2.2.1. 基础数据

数据由常州市不动产登记交易中心武进分中心和常州市测绘院提供，具体如表 1：

Table 1. List of data**表 1. 资料清单**

| 序号 | 资料名称 | 用途 |
|----|---------------------------|-----------|
| 1 | 校核控制点 | 控制测量 |
| 2 | 转换参数 | 控制测量 |
| 3 | CORS 参数和账号 | 控制测量 |
| 4 | 0.3 米分辨率影像数据 | 范围确定、工作底图 |
| 5 | 1:1000 地形图、2017 建设用地调查数据库 | 工作底图、成本估算 |
| 6 | 行政区界线、203 范围 | 工作区域 |

2.2.2. 仪器设备

仪器设备包含测量和数据处理两种类型，具体如表 2：

Table 2. List of instruments and equipment**表 2. 仪器设备清单**

| 序号 | 仪器设备名称 | 用途 |
|----|----------|-----------|
| 1 | GPS 接收机 | 控制测量 |
| 2 | 全站仪 | 地籍测量、房产测量 |
| 3 | 无人机 | 倾斜摄影 |
| 4 | 测距仪 | 房屋边长测量 |
| 5 | 便携式、台式电脑 | 内业数据处理 |
| 6 | 计算机集群 | 模型生产 |

3. 研究方法

3.1. 工作准备

分析作业范围，选择航飞区域，绘制待飞区域紧致范围线，实地考察飞行区域。实地踏勘飞行区域，依据工作需求确定飞行高度和拍摄角度。根据航飞高度和拍摄角度对待飞区域展边，生成最终的航飞区域范围线。

3.2. 像控点布设及测量

像控点是摄影测量控制加密和测图的基础，像控点的位置精确程度及其布设的质量直接影响测量结果的精度。像控点要求布设于视野开阔，上空无遮挡的路面，远离大功率无线电发射源，其距离不小于 200 m，远离高压输电线和微波无线电信号传递通道，其距离不得小于 50 m。

3.3. 飞行路线规划及航空相片外业获取

对航飞区域制定重叠参数方案，执行航飞任务天气应满足以下几点，能见度大于 5 公里的较通透天气，太阳光线角度在 30 度以上，风力小于三级，阵风小于 4 级。提前选择好起机场，起机场应选择直径 5 米高 5 米的圆柱体内无障碍物，以起飞点为中心，120 度倒锥体内没有遮挡物的开阔场地。

3.4. 倾斜模型生产

倾斜摄影测量是一种通过多角度摄影获取地物三维信息的技术。与传统的垂直摄影测量不同，倾斜

摄影测量不仅从垂直方向拍摄地物，还通过倾斜角度(通常为 30°至 45°)获取地物的侧面信息，从而能够更全面地反映地物的三维结构和纹理特征[2]。其基本原理可以概括为以下几个步骤：

(1) 多角度影像采集

倾斜摄影测量通过搭载在无人机上的多镜头相机系统，同时从多个角度(通常包括一个垂直镜头和四个倾斜镜头)对地物进行拍摄。垂直镜头用于获取地物的顶部信息，而倾斜镜头则从前后、左右四个方向获取地物的侧面信息。这种多角度拍摄方式能够有效减少传统垂直摄影中因建筑物遮挡或地形起伏导致的信息缺失问题[3]。

(2) 影像匹配与特征提取

在获取多角度影像后，通过计算机视觉技术对影像进行匹配和特征提取。影像匹配是指在不同影像中识别出相同的地物特征点(如建筑物的角度、边缘等)，并建立这些特征点之间的对应关系。特征提取则是从影像中提取出地物的几何和纹理信息，为后续的三维重建提供数据基础[9]。

(3) 空中三角测量

空中三角测量是倾斜摄影测量的核心步骤之一。通过将多角度影像中的特征点进行空间交会，计算出这些特征点的三维坐标。空中三角测量不仅能够提高影像的几何精度，还能够为后续的三维建模提供精确的控制点[8]。

(4) 点云生成与三维重建

在完成空中三角测量后，通过密集匹配算法生成地物的点云数据。点云是由大量离散的三维点组成的集合，能够精确描述地物的表面形状和结构。随后，利用点云数据进行三维重建，生成地物的三维模型。三维模型不仅包括地物的几何形状，还能够通过纹理映射技术将影像中的纹理信息映射到模型表面，从而生成具有真实感的三维模型[10]。

(5) 模型优化与输出

生成的三维模型通常会经过优化处理，以消除噪声、填补空洞并提高模型的精度和可视化效果。最终，模型可以以多种格式(如 OSGB、OBJ 等)输出，用于进一步的分析和应用[11]。

3.5. 地籍图生产

三维倾斜模型可以直观全面的反应地物的位置、外形、高度等信息，通过模型采集，能够获取各要素的空间信息并矢量化，同时赋予要素属性信息。分析提取地物遮挡或者模型模糊的范围，采用外业补调补测的方式完善。

3.6. 成果质量检查

《地籍调查规程》《房产测量规范》以及技术设计书等文件规定了项目的精度指标，按照要求，采用外业实测的方式对倾斜模型生产的地籍图结果进行同精度检查，判断方法的可行度。

4. 结果与分析

4.1. 作业区域选择

航飞区域位于常州市武进区遥观镇遥观村委大岸塘，面积约为 0.56 平方公里，约 260 宗地，房屋多为 2~3 层，联排式分布，如图 1 所示。

4.2. 像控点布设与测量结果

每 100 米布设一个像控点，像控点均匀分布于航飞区域且位于平坦无遮挡位置，以埋钉喷红色漆的

方式、“L”形状表示像控点，如图 2 所示。

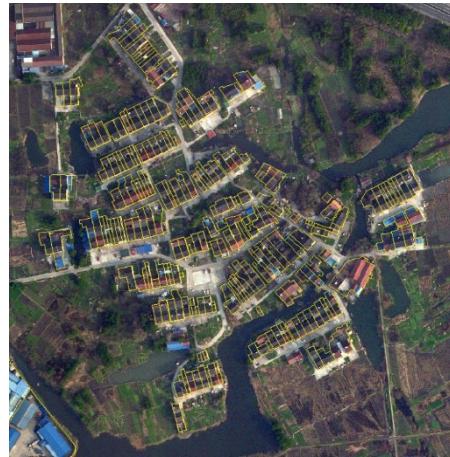


Figure 1. Overview of operation area
图 1. 研究区域概况



Figure 2. Layout of image control points
图 2. 像控点布设

坐标系转换及已知点校核后，采用 CZCORS 测定像控点，用三角架固定 GPS 接收机，观测不少于 2 个测回，测回间平面坐标较差小于 3 cm，取各测回结果的平均值作为最终结果，置信程度必须设置在 99.9%，RTK 观测前设置的平面收敛阀值不超过 2 cm，垂直收敛阀值不超过 3 cm，每次观测历元不少于 50 个，采样间隔 2 s。

4.3. 相片获取

本次航飞使用大疆无人机御 Mavic2pro 专业版无人机，单镜头系统，共计 4 台，飞四个倾斜一个正射，模拟五镜头，飞行高度为 60 米，拍摄角度为 45 度，相片重叠率为航向 88%，旁向 80%，倾斜分辨率约为 2.2 cm，正射分辨率约为 1.5 cm。航飞当日天气情况良好，光照充足，微风。

4.4. 模型生产结果

模型生产软件选择 ContextCapture Center Engine 与 ContextCapture Center Master，生产模型硬件配置

(注: 一台主机配 4 台副机)如表 3 所示:

Table 3. Production model hardware configuration
表 3. 生产模型硬件配置

| 计算机 | 处理器 | 运存 | 显卡 | 内存 |
|-----|--------------|-----|-------|------|
| 主机 | CPU i7-9700k | 64G | 2070S | 2T |
| 副机 | CPU i5-9600k | 64G | 2070S | 250G |

依次进行数据导入、自由网多视影像约束平差结算(相对定向)、像控点添加及刺点(绝对定向)、空中三角测量和模型生产五个操作步骤, 模型格式为 OSGB, 模型如图 3 所示。



Figure 3. Tilt model
图 3. 倾斜模型

4.5. 地籍图成果

借助南方数码 IDATA3D 软件对模型进行采集, 主要采集对象为居民地(房屋、房屋附属等)、主要的道路和水系。使用直线绘房的方法进行房屋要素采集, 检查房屋边线和房角的贴合程度, 对不满足要求的部分进行修正。对地形遮挡以及模型模糊的区域进行外业调绘与补测。地形按照技术设计要求分点、线、面三类要素采集, 如图 4 所示。

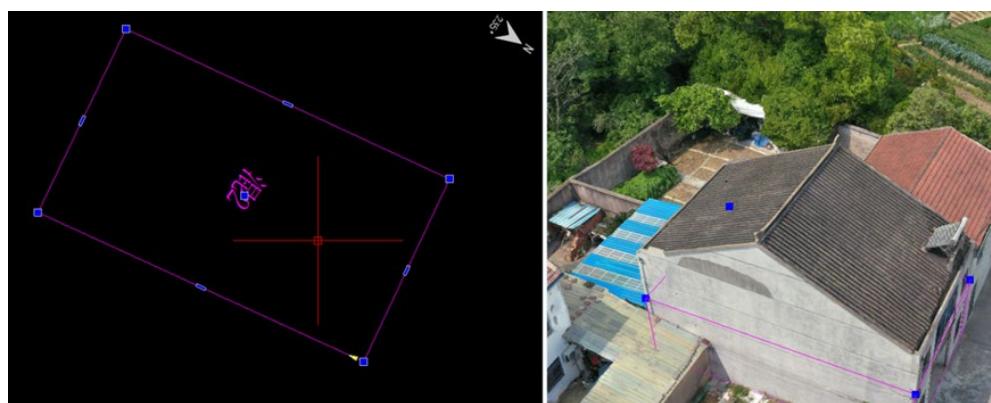


Figure 4. Cadastral map production
图 4. 地籍图生产

4.6. 质量检查成果分析

4.6.1. 精度指标

解析法获取界址点坐标和界址边长应符合表 4 的规定：

Table 4. Accuracy index

表 4. 精度指标

| 级别 | 中误差/cm | 允许误差/cm |
|----|--------|---------|
| 一级 | ±2.0 | ±4.0 |
| 二级 | ±5.0 | ±10.0 |
| 三级 | ±7.5 | ±15.0 |
| 四级 | ±10.0 | ±20.0 |

注：明显界址点选择二级精度，隐蔽界址点选择三级精度。

4.6.2. 精度验证

于实验区实地测量 153 个房角点，100 条界址边长，与倾斜模型生产的地籍图进行同精度检测，检测结果为：点位中误差 3 cm，粗差率 3.92%，边长中误差 2.8 cm，粗差率 3%，精度符合要求。实验中粗差点出现在以下几个区域：第一，树木遮挡严重区域，房角点无法直接采集，通过采集墙边线相交形成房角点，与实际测量存在一定偏差；第二，房屋密集复杂区域，导致模型生成时误差增加，模型成果中房屋边缘、角落以及底部存在拉花，直接影响模型采集；第三，联排房屋的分界点在模型中展现不清晰，无法直接采集正确。

4.6.3. 成果分析

研究区域宗地数量为 226 宗，宗地分布相对密集，房屋结构和类型多样，具备挑战性。传统的测量方法自测量至成图预估至少需 8 个工天，实际存在的沟通协调等问题，会增添更多时间成本。而无人机倾斜摄影的方法从航飞至成图，共计投入 4 个工天，分别为像控点布设及航飞 1 个工天，模型生产 1 个工天，地籍成图 2 个工天，同时模型生产的大部分时间可以在晚上运行，在集群足够的前提下可以多个模型同时生产，更加节约时间成本和人工成本。

追溯整个实验过程，无人机倾斜摄影的测量误差相较于传统测量经历了更多个步骤的累积，如天气因素、像控点布设和测量、像控点刺点和模型采集等，为了满足项目的精度，对各项步骤提出了更高的要求，尤其是人为因素影响的部分，需要加强对作业人员的培训。针对地形因素导致模型难以满足采集需求的区域，需及时补测和完善。

5. 结论

平原地区的地籍调查工作中，无人机倾斜摄影的方法与传统的测量方法相比较，具有效率高、时间及人工成本低和受天气和气温影响较小等优势，同时模型更直观，方便验证。然而，该方法不能完全满足项目的需要，需要辅以传统测量的方法进行补充测量以及质量检查。

参考文献

[1] 吴熠文, 余加勇, 陈仁朋, 等. 无人机倾斜摄影测量技术及其工程应用研究进展[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2018(S1): 167-172.

[2] Remondino, F. and El-Hakim, S. (2006) Image-Based 3D Modelling: A Review. *The Photogrammetric Record*, 21, 269-

291. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x>

[3] Colomina, I. and Molina, P. (2014) Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **92**, 79-97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>

[4] 候殿海, 曾广海, 遂宏伟. 城镇地籍调查的特点及技术方法总结[J]. 建筑工程技术与设计, 2018(3): 10.

[5] Koeva, M., Munzea, M., Gevaert, C., et al. (2018) Using UAVs for Map Creation and Updating. A Case Study in Rwanda. *Survey Review*, **50**, 312-325.

[6] James, M.R. and Robson, S. (2012) Straightforward Reconstruction of 3D Surfaces and Topography with a Camera: Accuracy and Geoscience Application. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, **117**, F03017. <https://doi.org/10.1029/2011jf002289>

[7] Harwin, S. and Lucieer, A. (2012) Assessing the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Produced via Multi-View Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. *Remote Sensing*, **4**, 1573-1599. <https://doi.org/10.3390/rs4061573>

[8] Fonstad, M.A., Dietrich, J.T., Courville, B.C., Jensen, J.L. and Carbonneau, P.E. (2013) Topographic Structure from Motion: A New Development in Photogrammetric Measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, **38**, 421-430. <https://doi.org/10.1002/esp.3366>

[9] Jiang, S., Jiang, W. and Wang, L. (2022) Unmanned Aerial Vehicle-Based Photogrammetric 3D Mapping: A Survey of Techniques, Applications, and Challenges. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, **10**, 135-171. <https://doi.org/10.1109/mgrs.2021.3122248>

[10] Vosselman, G. and Maas, H.G. (2010) Airborne and Terrestrial Laser Scanning. CRC Press.

[11] Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. and Harley, I. (2014) Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.