引文格式：史晟恺. 无人机激光点云测量在农村不动产登记中的应用[J]. 地理空间信息, 2026, 24(5): 111-115. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.05.022

无人机激光点云测量在农村不动产登记中的应用

史晟恺
（上海市测绘院，上海 200063）

摘　要：随着科技的发展，无人机激光点云测量技术在不动产登记中的应用日益广泛。介绍了无人机激光点云测量技术的基本原理、应用优势及其在农村不动产登记中的具体应用，并总结了无人机激光点云测量技术在农村不动产登记中的应用前景及其面临的挑战。将通过合理航测方案获取的点云数据与全站仪数据进行对比，结果表明平面点中误差为±3.39 cm，边长中误差为±2.13 cm，满足相关精度要求。不动产登记测量所需的必要要素除内部结构外均无遗漏，验证了该技术在提高测量精度、效率和可靠性方面的显著优势。

关键词：无人机；激光点云；宅基地；不动产登记
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）05-0111-05

Application of UAV Laser Point Cloud Measurement in the Rural Real Estate Registration

SHI Shengkai
(Shanghai Surveying and Mapping Institute, Shanghai 200063, China)

Abstract: With the advancement of technology, the application of UAV laser point cloud measurement technology in the real estate registration has become increasingly prevalent. We elucidated the fundamental principles and advantages of UAV laser point cloud measurement technology, along with its specific applications in rural real estate registration, and summarized the application prospects and challenges of UAV laser point cloud measurement technology in rural real estate registration. Through practical experiments, comparison between acquired point cloud data under reasonable aerial survey plans and total station measurements revealed a mean planar point error of ±3.39 cm and mean side length error of ±2.13 cm, meeting relevant accuracy requirements. All necessary elements for real estate registration measurement, except for internal structures, were included without omission, which validated the significant advantages of this technology in improving measurement accuracy, efficiency, and reliability.

Key words: UAV, laser point cloud, homestead, real estate registration

对宅基地及地上房屋进行不动产确权登记是确保农民土地和房屋权益的重要手段，也是我国促进农村集体经济发展的关键方式之一。传统人工测量通常依赖测量员手持全站仪或GPS设备进行现场操作，虽然可获得较高的精度，但操作过程繁琐、耗时费力，尤其在村落地形复杂的区域工作效率较低[1]；且易受人为误差干扰，影响数据的准确性和可靠性，后续复测或检查的条件约束大[2]。无人机激光点云测量技术因其高效、精确和便捷的特点，逐渐成为不动产登记的首选方法之一。无人机摄影测量能在很大程度上简化地形测绘，其中航带法飞行的作业方式能捕捉给定区域内物体的三维信息，成为目前较主流的飞行方式。通过飞机上的RTK链接当地的基准站或在照片上进行控制点标记，即可匹配到当地坐标系并有效控制平面精度。利用飞机搭载的激光雷达（LiDAR）设备进行高空作业，可摆脱地形对测量人员的干扰，快速采集大范围点云数据。此外，成熟的软件可以规划适当的测量范围、飞行高度、重叠度和扫描间隔，最大限度地获取表面特征。该方式每次飞行的高度都是均匀的，在建筑物密集或森林茂密的地区，需采用交叉航带飞行或手动的方式进行补充采集[3-4]。

1　研究背景与理论

无人机激光点云测量技术通过LiDAR设备发射激光脉冲并接收反射信号，生成高密度的点云数据。该技术具有高精度、高效率、高适应的特点，高精度体现在激光点云数据可达厘米级精度，适用于不动产登记中对建筑物轮廓和宅基地范围测量的相关要求[5-6]；高效率得益于其先进的作业方式，可快速覆盖大面积区域，大幅缩短测量时间；高适应性体现在能够在房屋交错搭建的农房和道路不通畅区域进行高效测量，不受传统测量方式的限制，在农村地区施测的优势尤其明显。

作者简介：史晟恺（1992—），硕士研究生，高级工程师，主要从事工程测量、摄影测量和软件开发工作，E-mail：346340968@qq.com。

单航带法飞行是无人机航空测量中最常用的作业方式之一，若搭载的是相机则会相应变为五向飞行法[7]。单航带法飞行根据航高和重叠度预先设计好区域内的航线，无人机沿航线飞行作业，完成连续拍摄或数据采集。该方式具有操作简便、覆盖区域明确、数据处理较简单等优点，适用于需要高精度和采集细节的测绘任务，如三维建模、地形测量、建筑物测量、农业监测和城市规划等[8]。在实际应用中，通过设置合理的参数，该方式获得的点云数据精度，水平方向可达±5 cm，竖直方向可达±10 cm，已经能满足大多数测绘需求。

交叉航带法飞行是在单航带法飞行的基础上，在相同大小区域内按照与原航带方向相交的交叉网格状飞行方式进行再次飞行[9]。由于宅基地内的房屋结构不规则，楼间距比常规商品房小区小很多，因此单航带法飞行获取的点云数据有时会因点密度过于稀疏或被遮挡导致信息缺损而不利于分辨地物轮廓。无人机通过交叉航带法飞行，能够覆盖更大面积的区域，提高数据覆盖率和完整性。该方式适用于大面积测绘和农业监测，虽在飞行时间和数据处理上会增加一定的成本，但在需要高精度和高覆盖率的任务中得到了广泛应用和认可[10-11]。

宅基地确权登记工作复杂且历史遗留问题多，涉及农民的根本利益，对于维护农村社会秩序稳定、完善土地不动产登记制度具有重要意义。这项工作要求统一发放房地一体的不动产权证，因此测绘人员需要精确测定宅基地的合法使用边界和地上房屋的面积，从而保障村民享受应有的合法权益[12]。宅基地确权登记分为总调查和总登记两个阶段，涉及自然资发[2020]84号《自然资源部关于加快宅基地和集体建设用地使用权确权登记工作的通知》《不动产登记暂行条例实施细则》《上海市不动产登记技术规定》和《上海市宅基地及其上房屋调查技术规范》等多项技术要求。

搭载LiDAR设备的无人机激光点云测量技术在农村宅基地确权登记中的优势主要体现在缩短外业时间、节省人力成本、提高数据精度、完善要素完整性和确保数据实效性等方面。点云数据可重复利用，便于后续质量检查和更新，确保了数据的时效性和长期有效性[13-15]。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

本文选取位于上海市郊区的一座大型村落作为研究对象。该村属于典型的江南农村，周围田间水道交错；共有20多个村大队，面积约为4 km^2，在册人口总数接近4 000人。经过踏勘发现，在集体建设的住宅区，房屋结构较规整，楼间距较大且无遮挡，采用单航带法飞行方式获取的点云数据能满足研究需求；而在农民自建房区域，房屋结构不规则，楼间距较小且遮挡较多。

2.2 研究方法

通过比较无人机获得的激光点云数据和全站仪实测的地形数据来验证点云数据的可靠性。分析必要要素的完整性，研究搭载LiDAR设备的无人机是否能提升测量效率。为比较绝对坐标精度，且保证坐标系的统一，本文采用上海2000平面坐标系和吴淞高程系（2021年）。通过控制变量，对同一区域进行单航带法飞行和交叉航带法飞行，比较二者在必要要素获取和测量精度方面的区别，以判断本文作业方式的可行性。

为探究无人机激光点云测量技术应用于农村不动产登记的可行性，本文在独栋建筑、连排房屋、集体建房和不规则旧房等多种类型的区域进行测绘。前期通过RTK在研究区内布设一定数量的控制点以便纠正和校验；同时机载RTK需链接上海基站，无人机作业存储的位置数据直接采用上海2000坐标系。作业前需在相应软件中设置飞行高度、重叠度、飞行速度等参数。所有测区的重叠度均为80%，飞行速度为10 m/s。农村地区无高楼影响航线，信号干扰也较小，已有研究表明无人机在距离被测物40~80 m的区域可得到较好的拼接效果。航高越高，不同采集位置之间公共点会越多使得拼接更科学，但单站点云精度和密集度会降低，不利于后续的要素提取；航高过低，单个测量位置的点云密度和精度可以得到保障，但相同重叠度下其测量站数会成幂函数级增长，即不利于拼接和降低外业效率。本文在相应软件上完成点云拼接处理，主要流程包括坐标系设置、飞行轨迹与点云数据同步解算。为提高数据质量与可用性，预处理阶段采用平面距离滤波算法剔除离散噪声点，采用无人机航带配准消除重叠区域偏差，还需根据地面基站和相关转换参数将点云转换至上海2000坐标，尽可能剔除飞行噪声与系统误差。矢量要素通过EPS软件导入相应点云成果，启用“点云捕捉”模式进行人工提取。对于显著的地物角点，采用多边形命令进行勾勒。对于角点不明显的建筑，需通过折线工具沿点云面上的特征点逐点追踪，通过两个面上的线延伸相交形成闭合的矢

量要素。

3　研究结果与分析

3.1　必要要素的完整性

登记需要的必要要素包括宅基地合法用地范围、房屋占地、房屋分层面积等，绝对高程和房高不是登记所需要素，点云成果虽能包含该内容但本文不作讨论。合法用地范围和房屋占地可以清楚地从点云数据中勾勒出来。分层面积图涉及房屋轮廓和内部结构。相较于全站仪和架站式三维激光扫描仪，无人机可获取更全面的三维数据，尤其是需要根据层高来计算面积的屋顶部分，使得内业处理更方便。由于无人机只能获取建筑物的表面数据，建筑物内部结构还需入户测量。全站仪等设备在不进入房屋内部情况下同样无法获取该部分数据，因此这部分数据空缺不算劣势。部分地类的彩色点云见图1。

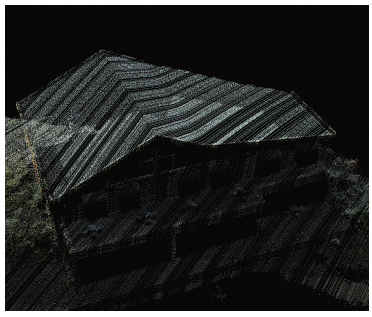


图1　点云成果

3.2　两种飞行方式比较

为分析两种飞行方式的优劣，本文在有交叉航带飞行的区域进行两次拼接，一次是仅采用其中一个航带的点云数据整体拼接，另一次采用交叉航带的点云数据和整体拼接；再比较二者的区域覆盖率、点云密度、精度和一致性。

1）区域覆盖率。在单航带法飞行模式下，点云数据的覆盖范围相对有限，飞行高度较高时，两条航带间即使有80%的重叠度，仍会出现盲区或覆盖不足的情况。交叉航带法飞行则显著提高了点云的完整性，降低了盲区出现的概率，局部对比见图2。

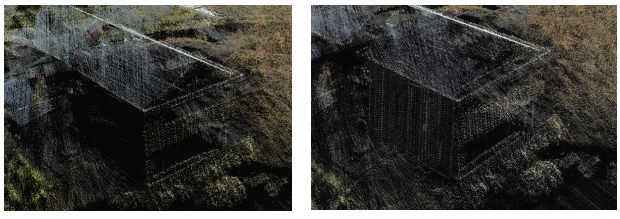


图2　局部点云对比

2）点云密度。单航带法飞行模式下，点云数据密度较均匀，但在航带边缘区域存在密度下降的现象。目前无人机镜头采集的点云密度还远不及地面扫描仪镜头，通常无人机采集的点云密度为150~250点/m^2，而地面三维激光扫描仪的点云密度可达11 000点/m^2。交叉航带法飞行得到的点云密度较高且分布更均匀，实际点云密度约为1 000点/m^2，特别是在复杂地形或建筑物周边，密集的点云数据能更好地反映实际情况。两种飞行方式采集的点云密度见表1，其中普通飞行的航高为80~100 m，旁向、航向重叠度均为80%，交叉飞行是在保证安全的前提下设置低于普通飞行10~20 m的加密交叉飞行，可以看出，点云密度均有一定的提升。

表1　点云密度对比表/(点/m^2)

地物类型	普通飞行	交叉飞行
自建房区	208	710
集体建房区	223	817
场地区域	175	582
辅房棚舍区	152	597
乡村小道	187	620

3）精度和一致性。为验证不同飞行模式下点云成果的系统精度一致性，本文针对同一测区分别获取单航带与交叉航带无人机点云数据，并选取两组成果数据中共同存在且清晰的特征地物点作为比对样本，结果见表2，可以看出，在同一区域内的相同位置，二者的区别在2.5 cm以内。根据DG/TJ08-86-2022《1∶500 1∶1 000 1∶2 000数字地形测绘标准》对于1∶500地形图的精度要求以及同精度检验标准，两类点云成果精度一致。值得注意的是，在缺少足够像控点的前提下，单航带法飞行的数据精度有出现系统误差或数据失准的可能；而交叉航带法飞行能有效降低系统误差，提高数据的整体一致性和精度，不过该误差可通过加密布设像控点的方式进行有效规避。

表2　坐标对比表/cm

序号	ΔX	ΔY	ΔS
1	−1.12	2.07	2.35
2	−1.00	2.15	2.37
3	0.56	0.19	0.59
4	−2.00	−0.41	2.04
5	−0.85	2.34	2.49
…	…	…	…
77	−1.80	0.88	2.00
78	−2.21	−0.37	2.24
79	−1.60	−0.93	1.85
80	−2.32	0.44	2.36

3.3　精度比较

在确立局部尽量采用交叉航带法飞行作业的基础

上，本文需对点云数据与全站仪数据进行进一步精度分析。由于最终的成果要求采用上海2000坐标系，且为防止与数据库内其他图层上的信息产生矛盾，图形的位置应准确。为比较绝对位置精度，利用全站仪测绘建筑物和地形时，选择工程场地内明显的特征点作为校验对象，如房屋的墙角点或围墙拐角点。将测得的点云数据与现场全站仪测得的数据进行对比，结果见表3。为保证数据安全和展示方便，坐标对比时采用临时独立坐标系，计算得到平面点位中误差为±3.39 cm。

表3 地物点点位精度表

序号	实测坐标 x	实测坐标 y	图上坐标 x	图上坐标 y	Δs /cm
1	206.542	303.962	206.521	303.977	2.6
2	313.840	452.767	313.855	452.731	3.9
3	627.237	901.839	627.242	901.845	0.8
4	838.266	1 232.049	838.279	1 232.038	1.7
…	…	…	…	…	…
177	−3 356.884	796.635	−3 356.767	797.517	0.9
178	−3 288.654	741.295	−3 285.706	742.225	3.1
179	−2 752.550	763.922	−2 754.292	762.606	2.2
180	−3 265.751	665.108	−3 264.342	666.712	2.1

关系到村民切身利益的地上房屋面积则通过矢量图形在中望CAD上进行计算。矢量图形轮廓可通过点云勾勒，而房屋内部结构需外业人员进入实地通过传统方式测绘补充。内部结构和外部轮廓相结合，得出最终的分层平面图成果（图3）。

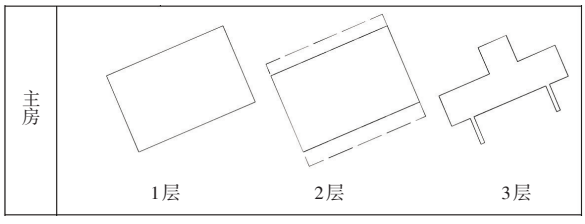


图3 分层平面图成果

为比较平面精度，本文随机选取均匀分布在地形图上的建筑部分边长，现场采用全站仪自由设站进行边长校验，得到相关分层平面图的尺寸精度见表4。采用均方根法计算误差，共检测了60条边，中误差为±2.13 cm。

3.4 经济性分析

相较于传统外业测量依靠人工逐点采集与记录，无人机技术可大幅压缩外业周期，降低用人成本。在内业处理环节，无人机虽因拼接和内业采点需额外投入至少半日算力（与测区面积和房屋复杂度正相关），但其余数据处理流程（面积指标计算、成果图输出等）耗时与传统测绘方法基本一致，整体效率仍具备显著优势。本文中多个村地块的用时情况见表5。

表4 平面尺寸精度表

序号	点云尺寸/m	检测尺寸/m	Δs /cm
1	12.621	12.635	1.4
2	10.385	10.363	−2.2
3	13.210	13.228	1.8
4	8.812	8.816	0.4
5	33.445	33.467	2.2
…	…	…	…
56	28.381	28.411	3.0
57	31.337	31.358	2.1
58	13.533	13.549	1.6
59	17.454	17.474	2.0
60	17.531	17.554	2.3

尽管无人机测绘硬件采购的初期投入（飞机及配套约15~20万元，无人机镜头8~10万）显著高于全站仪和水准仪等（低于10万）常规测绘设备，但随着任务量的累积，单位项目成本可因降低工作时间而实现成本摊薄。

表5 时间对比表

序号	传统方式/人日			无人机方式/人日			
	外业时间	成图时间	总时	外业时间	成图时间	总时	差值
地块1	5.5	3.0	8.5	2.0	3.5	5.5	−3.0
地块2	6.0	3.5	9.5	1.5	4.5	6.0	−3.5
地块3	4.0	3.0	7.0	1.0	4.5	5.5	−1.5
地块4	3.0	3.5	6.5	1.5	5.0	6.5	0
地块5	4.5	3.0	7.5	2.0	4.0	6.0	−1.5
地块6	6.5	3.0	9.5	2.5	4.5	7.0	−2.5

4 结 论

本文以上海某个典型村落为例，探讨了无人机激光点云测量技术在农村宅基地确权登记中的应用。针对农村局部地形复杂区域，采用交叉航带法进行作业优化，以提高点云数据的完整性和精度。结果表明，无人机搭载LiDAR等传感器采集的点云数据，在农村宅基地确权登记过程中具有较强的应用可行性。该技术的显著优势在于，通过无人机和激光雷达等设备能迅速获取高精度的宅基地数据，准确勾画宅基地的使用范围和精细化呈现地上房屋的建筑轮廓。作业人员还能通过点云数据界定农村不动产登记中的边界线，极大地提升了宅基地调查和测绘效率。与传统方法相比，采用无人机点云数据采集不仅能显著减少人工测量的工作量，还能避免因地形或天气因素而导致的现场作业受限。在经济效益方面，通过长期项目的累积，可有效降低单位项目成本。此外，点云数据可重复利用，在后续的质量检查、数据更新和确权验收等环节中仍能发挥重要作用。

参考文献

[1] 仝玉文. 实景三维模型在不动产登记中的应用[J]. 经纬天地,2024(3):33-37

[2] 张枝枝,赵延岭,吕宝雄,等. 利用三维激光扫描技术的变电站精细化模型构建方法[J]. 地理空间信息,2025,23(2):94-97

[3] 沈如稳. 无人机倾斜摄影测量技术在地籍测绘中的应用分析:以蚌埠市辖区宅基地确权登记为例[J]. 安徽建筑,2021,28(2):178

[4] 姚巍,王谱佐. 实景三维技术发展态势:XXIV ISPRS Congress报告[J]. 时空信息学报,2023,30(2):167-176

[5] 许赟. 利用倾斜摄影测量公路工程土石方数字化校核[J]. 地理空间信息,2024,22(12):83-86

[6] 白杨,李永强,王英,等. 时空一体化实景三维建模在自然资源确权登记中的应用研究:以山东长岛国家级自然保护区为例[J]. 山东国土资源,2023,39(10):67-74

[7] 朱鸣,史晟恺. 无人机倾斜模型应用于竣工验收的研究[J]. 测绘通报,2024(增刊2):110-114

[8] 刘俊伟,张周平,郭大海,等. 城市建筑三维实体自动化建模技术集成与实践[J]. 测绘通报,2024(9):1-7

[9] 徐江明. 立体测绘型双翼无人机航空影像阴影角度校正方法[J]. 时空信息学报,2023,30(2):275-280

[10] 方靖. 面向“放管服”的省级宅基地建房管理平台建设与应用:以湖南省宅基地信息化建设为例[J]. 时空信息学报,2023,30(4):650-659

[11] 张巧玲,赵燕伶,冯京辉,等. 无人机倾斜影像的精细化三维实景重建[J]. 山西建筑,2024,50(20):188-191

[12] 史晟恺,刘哲,申建华. 基于无人机倾斜模型和激光点云的湿地公园高精度模型建立[J]. 测绘通报,2024(增刊2):217-220

[13] 曹伟,陈动,史玉峰,等. 激光雷达点云树木建模研究进展与展望[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2021,46(2):203-220

[14] 梁桂明,张玉姣. 新常态下开展无人机倾斜实景三维生产的关键技术研究[J]. 测绘通报,2024(增刊2):175-177

[15] 陈富强. 基于倾斜摄影与BIM技术的土方量算方法[J]. 地理空间信息,2024,22(1):56-59

（上接第110页）

国家测绘产品质量检验测试中心的质检，满足国家与省级相关技术要求。该方法有效提升了新型基础测绘产品的有效供给，具有较好的示范作用与推广价值。

参考文献

[1] 燕琴,翟亮,刘坡. 实景三维中国建设关键技术研究综述[J]. 测绘科学,2023,48(7):1-9

[2] 新型基础测绘与实景三维中国建设技术文件(8-12)[Z]. 北京:中国测绘科学研究院,2023

[3] 张育育,冉花,张剑华. 基于北京三号卫星影像的城市三维模型(LOD1.3级)快速构建方法[J]. 测绘标准化,2025,41(1):76-80

[4] 王腾,田伟召. 基于卫星立体影像的城市三维模型快速构建试验[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(增刊1):186-188

[5] 陈洋,王刚,勾昆,等. 基于不同数据源类型构建LOD1.3级城市三维模型相关技术研究[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(增刊1):60-62

[6] 梁文彪,鲍秀武,宁玉科. 一种基于多源数据的建筑物LOD1.3级三维模型快速构建方法[J]. 城市勘测,2024(4):43-48

[7] Mao B, Lars H. Methodology for the Efficient Progressive Distribution and Visualization of 3D Building Objects[J]. ISPRS International Journal of Geo-information, 2016, 5(10): 185

[8] Zheng T, Zhang G Q, Han L, et al. Building Fusion: Semantic-aware Structural Building-scale 3D Reconstruction[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2020, 5(44):2328-2345

[9] 实景三维浙江建设技术方案[Z]. 杭州:浙江省自然资源厅,2023

[10] 实景三维浙江建设实施方案(2023—2025年)[Z]. 杭州:浙江省自然资源厅,2023

[11] 基础地理信息要素分类与图形表达代码:DB33/T 817-2010[S].

[12] 张海,张飞,任光耀,等. 基于DSM和DEM的建筑物高度自动提取方法研究[J]. 测绘与空间地理信息,2025,48(1):53-56

[13] 陈宇. 基于倾斜影像密集匹配点云的建筑物单体化提取技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2017

[14] 鲁一慧,魏国忠,宋禄楷,等. 多源点云优化的城市三维模型构建[J]. 测绘通报,2024(增刊1):23-28

[15] 余华芬,李杰,苏立钱,等. 一种建筑白模自动提取方法、系统及介质:中国ZL202410796178.5 [P]. 2024-11-19

[16] 郭伟,王杰栋,李杰,等. 一种建筑物三维模型的纹理映射方法、系统及介质:中国ZL202410451971.1 [P]. 2024-08-27