

# 三维激光扫描技术在不动产测绘中的精度控制与应用研究

王岳泽

(山东同信仁和地理信息科技有限公司, 山东 济南 250100)

**摘要** 三维激光扫描技术凭借非接触、高效率、高密度点云数据获取的优势, 已经成为破解传统测绘难题的利器。本文从技术角度出发, 对三维激光扫描技术在不动产测绘中精度控制的机理及应用进行分析。通过对地面式和同步定位与地图构建 (SLAM) 移动式扫描系统原理的阐述, 结合房产测绘、地籍调查、农村不动产确权等各方面的实证分析发现, 该技术可在复杂环境中实现毫米级精度的技术途径。研究结果表明, 通过对设备进行优化选择、严格控制环境干扰、将多种算法融合在一起, 并且建立全流程的质量控制体系, 三维激光扫描技术不但可以提高外业效率达到 5 倍以上, 而且可以将中误差稳定在厘米级或者亚毫米级的范围内, 为不动产测绘高质量发展提供参考。

**关键词** 三维激光扫描; 不动产测绘; SLAM 技术; 点云数据; 数字化转型

中图分类号: TN24; P2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.11.011

## 0 引言

不动产测绘事关重大财产权益, 测绘精度是保障权益的生命线。如何在高效率的同时保证高精度? 在复杂的电磁环境以及物理遮挡之下, 如何剔除噪声? 如何才能实现多站点云的无缝拼接呢? 这些问题成为三维激光扫描技术深入应用中亟待解决的问题。本文主要对精度控制机理进行深层次的剖析, 并且对应用对策进行系统的整理, 给行业提供一套行之有效的技术范式, 促使不动产测绘朝着智能化、精细化、法治化的方向发展。

## 1 三维激光扫描技术和不动产测绘中的精度控制

三维激光扫描技术成为不动产测绘新宠的根本原因是它克服了传统光学测量的物理极限, 对空间信息进行了数字化重构<sup>[1]</sup>。要理解它的精度控制, 首先要了解它的工作原理和误差来源。

### 1.1 技术原理

三维激光扫描仪是一种高速的激光测距仪。它发射激光脉冲, 用激光在空气中传播速度来测量激光从发射到经过目标反射回接收器的时间 (飞行时间法, TOF), 或者用发射波和反射波之间的相位差来计算出目标点的三维坐标 (X, Y, Z)。

不同于传统的测量, 它属于一种“面状”的采集

技术。激光束以高速旋转的棱镜为载体, 发出大量的扫描线, 快速覆盖测量区域<sup>[2]</sup>。三维激光扫描仪不但可以记录距离、角度, 还可以同步采集 RGB 色彩信息, 并且使用惯性测量单元 (IMU) 实时记录姿态, 为之后的数据处理提供大量信息。

### 1.2 精度控制的核心挑战

尽管理论精度很高, 但是实际不动产测绘中精度受到很多因素的影响, 这些因素有:

仪器误差由激光发射器和接收器同轴度、扫描镜机械振动、内部时钟漂移、测距系统固有噪声等造成<sup>[3]</sup>。

大气折射、温度变化造成的仪器热胀冷缩、强光引起的传感器饱和、雨雾天气对激光的衰减, 都是不能忽略的变量。尤其在户外长距离测量的时候, 空气湿度的小幅波动都会造成毫米级的差别。

目标特性为被测物体材质 (高反光的玻璃幕墙、吸光的黑色橡胶)、表面粗糙度、入射角等都会影响激光的反射强度, 从而影响测距精度。透明或者半透明的材质会使得激光穿透或者折射, 造成虚假点云。

配准误差指的是在多站扫描的时候, 各个测站的点云要拼接起来 (配准)。公共点 (靶标) 识别不准或者特征匹配算法鲁棒性差, 误差就会像涟漪一样在模型里扩散。

作者简介: 王岳泽 (1998-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 工程测量、不动产测量。

### 1.3 精度控制的理论基础

现代精度控制系统是依靠严格的数学模型建立起来的。利用卡尔曼滤波等算法,在数据采集过程中可以实时地把IMU和GNSS数据融合起来,抑制随机噪声<sup>[4]</sup>。在后处理阶段,采用迭代最近点(ICP)算法以及改进版,利用高精度的靶标或者自然特征,达到多视点云亚毫米级对齐的目的。另外,使用深度学习的去噪算法可以自动找到并去除由于移动车辆、行人等动态物体造成的干扰点云,保证数据的干净。就研究结果来说,在规范操作的条件下,三维激光扫描单点精度可以达到毫米级,在不动产测绘关键尺寸检测中误差小于2厘米,有时还可以达到亚毫米级,比传统测量方法更精确。

## 2 三维激光扫描技术在不动产测绘精度控制中的具体应用

理论的价值在于实践。三维激光扫描技术由于具有很强的适应性,在不动产测绘的各个细分领域中都表现出比其他技术更高的精度优势。

### 2.1 房产测绘

房产测绘是不动产登记的关键部分,它同产权面积的计算有着直接联系。现代城市中,异形建筑、商业综合体不断涌现,传统的皮尺加全站仪方法既慢又不能很好地反映弧形墙体、悬挑结构等复杂的细节<sup>[5]</sup>。例如:某大型商业综合体项目,占地面积为2.4万平方米,总建筑面积为10.5万平方米,有22层塔楼和3层裙楼,地下结构比较复杂。用传统的方式需要2名测量人员花5天到6天的时间。而使用SLAM三维激光扫描仪后,只需要1名操作员在1.5天内就可以完成全楼层的数据采集。对70条关键边长进行比对,扫描数据和实测数据最大差为0.024米,最小为0.001米,中误差为0.017米,满足了《房产测量规范》(GB/T 17986-2000)的要求。更重要的是,点云数据生成的切片图可以清楚地看出墙体内部构造柱、圈梁的位置,避免了传统测量中由于视线被遮挡而造成漏测的情况,保证房产面积计算的公平。

### 2.2 地籍测绘

地籍测绘包含界址点的准确测定以及大比例尺地形图的绘制。山区或者丘陵地带,传统的测绘工作既辛苦又难以达到精度要求<sup>[6]</sup>。相较于传统模式,三维激光扫描技术无需人员近距离接触待测区域,大幅降低了野外作业的安全风险和体力消耗,单次扫描覆盖范围广,能同步采集地表、地物、界址点的全方位三维数据,避免人工逐点测量的重复性工作,有效压缩

外业作业周期,同时依托高密度点云数据,能完整还原复杂地形地貌,精准锁定每一个界址点的空间坐标,解决传统测绘漏测、点位偏差的难题,适配地籍测绘高精度、高完整性的核心需求。地面三维激光扫描仪依靠其远距离非接触测量的特点,在通视良好、制高点的情况下,可以快速得到数平方公里的地形点云。高分辨率可以清楚地看到田埂、沟渠等微小地形起伏,甚至可以穿透植被间隙得到地面点数据。例如:在某露天矿山测量中,长距离扫描仪不但可以快速完成边坡稳定性分析所用的断面测量,还可以通过两期点云数据的比对,得到毫米级的地表位移,给地质灾害预警提供精准的数据支持。

### 2.3 地下空间与古建筑

地下停车场、人防工程、深邃的古建筑内部缺少光照,结构复杂,属于传统测量的禁区<sup>[7]</sup>。SLAM技术的出现从根本上改变了这样的局面。依靠背包式或者手持式的SLAM扫描仪,不需要GNSS信号,在黑暗中也可以建立高精度的地图。

GeoSLAM扫描仪在某地下矿山采空区测绘时,迅速完成了复杂巷道三维建模,准确地计算出空区体积,并且给采矿设计提供真实的地质依据。在古建筑测绘中,非接触式扫描不会对文物造成损伤,数以亿计的点云数据完整记录了建筑的斗拱、雕花等细微结构,给文物保护和数字化存档创建了“数字孪生”体系。

### 2.4 农村不动产

农村不动产测绘存在点多面广、交通不便的问题。三维激光扫描技术用车载或者无人机搭载的方式完成宅基地和农房的测绘工作。特别是对于沼气池、牲畜棚等附属设施,扫描技术可以准确地得到它们的罐体形状、井口位置等几何信息,通过高密度点云精准还原房屋结构、院落边界、附属构筑物的三维形态,有效避免人工量测带来的错测、漏测与尺寸偏差,确保不动产权属信息真实、完整、唯一。再结合主体建筑数据,就形成了一个完整的不动产信息体系,很好地保护了农民的财产权益,助力乡村振兴战略的实施。

## 3 三维激光扫描技术在不动产测绘精度控制中的应用对策

要把三维激光扫描的精度潜力变成现实成果,就必须创建可以覆盖全生命周期的质量控制体系。

### 3.1 源头控制:设备选型与场址勘察

精度来自选择。根据不同的测绘对象选择相应的设备。长距离地形测绘时用脉冲式长距离扫描仪,室内精细建模时用相位式高分辨率扫描仪。设备要定期

做校准工作，内部参数（测距偏移、镜头畸变等）和外部参数（激光头与 IMU 的相对位置等）都要进行校准，一般半年到一年校准一次，长途运输后立即校准。

外业前要对现场进行详细的踏勘。合理安排扫描站点，相邻站点之间要有足够的重叠度（建议不小于 30%），在重要的位置（转角、边缘）设置高对比度的球形靶标。靶标是多站拼接的“锚点”，靶标的稳定性以及识别精度会直接影响到整个模型几何精度<sup>[8]</sup>。

### 3.2 过程控制：环境适应与数据采集优化

环境是精度最高的一种干扰源。作业时要避开强光直射、雨雾天气和强风环境。如果不能避免，就应当采用改变激光功率、曝光时间等参数的方式进行补偿。高反光表面可以喷涂显影剂来加强漫反射，黑色吸光表面要增大扫描密度。

数据采集时操作人员要遵循闭环路线原则，即扫描轨迹最后回到起点，用闭合差检验消除累积误差。对 SLAM 设备来说，在特征稀少的长走廊或者快速移动的时候扫描，会使得算法丢失定位。还要根据移动的人、车来动态避开幽灵点，防止它成为数据的污染源。

### 3.3 算法控制：多源融合与智能处理

内业处理属于精度提炼的重要部分。首先用专业软件（Cyclone、CloudWorx 等）做粗差剔除，用统计滤波法去除离群点。其次用基于靶标的配准和基于特征的配准相结合的方法，用 ICP 算法进行精配准。为了提高精度，可以采用多源数据融合技术。例如：把三维激光扫描的高精度几何数据与无人机倾斜摄影的高分辨率纹理数据融合起来，依靠扫描数据修正倾斜摄影的几何畸变，凭借影像数据赋予点云真实的色彩，达成“几何+纹理”的双重高保真。另外，使用深度学习模型（Siamese 网络）做特征匹配，在弱纹理区域（白墙）也能得到比较鲁棒的配准结果，配准误差可以控制在毫米级别。

### 3.4 制度控制：全流程质量检验

建立三级质量检查制度。一级检查为作业组互检，主要检查数据是否完整、初步配准效果如何；二级检查由项目质检员进行，从抽取的关键尺寸和实地丈量数据出发，计算误差和最大较差；三级审核由技术负责人负责，主要看模型的逻辑是否一致、法律效力如何。对于不动产登记成果，需做野外实测验证。随机选取不少于 10% 的界址点或者房角点进行全站仪复测，保证扫描成果的绝对精度符合国家标准。同时用区块链技术对测绘成果的对标定过程、关键数据进行存证，保证测绘成果的不可篡改性、可追溯性，给不动产登记司法效力赋予技术背书。

## 4 结论

三维激光扫描技术，继 GPS 之后测绘领域又发生了一次技术革命，正在以不可阻挡之势改变不动产测绘的格局。它不但是工具的更新，更是生产方式和思维方式的变革。本文通过系统研究得出以下结论：第一，三维激光扫描技术由于具有非接触、高速度、高密度数据获取的能力，解决了传统不动产测绘在复杂环境下作业的难题，将作业效率提高 5 倍以上，大大降低了劳动强度和安全风险。第二，精度控制是技术应用的核心。经过严格的误差溯源、科学的设备校准、规范的作业流程、先进的算法融合，可以将扫描精度控制在毫米级到厘米级，满足房产测绘、地籍调查、工程测量等严格的精度要求。从实测数据来看，在满足规范操作的情况下，其精度已经可以和传统的全站仪相当或者更好。第三，应用场景的广度、深度越来越大。从城市的摩天大楼到乡村的田间地头，从地下矿山巷道到空中倾斜摄影，三维激光扫描技术同 5G、AI、大数据等新技术深度融合，创建“地上下、室内外”一体化的实景三维世界。未来，随着激光器成本的降低、算法算力的提升以及多传感器集成技术的成熟，三维激光扫描设备将更加轻便、智能、低成本。它将不再仅仅是数据采集工具，而是成为不动产全生命周期管理的智能感知终端。对于测绘从业者而言，三维激光扫描技术不仅是提升效率的选择，更是适应数字化时代、守护不动产权益底线的必然要求。

## 参考文献：

- [1] 陈长浩,姚传仪,周祥杰.基于无人机倾斜摄影测量与背包式三维激光扫描的不动产确权登记研究[J].资源导刊,2025(06):46-49.
- [2] 朱善桥,恽逸琪.手持三维激光扫描技术在农村房地一体测绘中应用分析[J].城市勘测,2024(06):163-166.
- [3] 杜艳忠,黄东锋.不动产测绘中地面三维激光扫描技术的应用[J].有色金属设计,2024,51(04):70-74.
- [4] 刘明义.基于机载无人机三维激光扫描技术的不动产测绘研究[J].模具制造,2024,24(09):164-167.
- [5] 林颖达.三维激光扫描技术在不动产权籍调查中的应用[J].测绘与空间地理信息,2024,47(08):189-191.
- [6] 李云云.地面三维激光扫描技术在不动产测绘中的应用研究[J].信息记录材料,2024,25(06):26-28,31.
- [7] 彭官祥.探讨地面三维激光扫描技术在日常不动产测绘中的应用[J].居业,2024(01):64-66.
- [8] 卢欣.农村不动产测绘中地面三维激光扫描技术的应用[J].智能建筑与智慧城市,2023(12):45-47.