

手持 SLAM 激光雷达在房产测绘中的应用

文 / 刘永超 深圳市勘察研究院有限公司

摘要：手持 SLAM 激光雷达作为新型测绘技术正变革传统房产测量范式。本文深入剖析了手持 SLAM 激光雷达的工作原理、系统构成及在房产测绘中的应用策略，包括外业数据采集、内业数据处理以及与传统测绘方法的协同机制。通过激光测距、视觉系统与惯性测量单元的融合，该技术实现了复杂建筑环境中的高效数据采集与处理，突破了传统测量的局限性，为房产测绘提供了兼具精度与效率的技术路径，推动了测绘行业向数字化、智能化方向发展，满足现代房产测量对高精度、高效率的双重需求。

关键词：手持 SLAM 激光雷达；房产测绘；多源融合；精度控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.119

引言

随着城市建设的迅猛发展和房地产市场的精细化管理，传统房产测绘技术已难以满足高效、精准、全面的测量需求。手持 SLAM 激光雷达技术融合了激光测距、视觉定位与惯性导航系统，实现了“边走边采集”的测量模式，为房产测绘领域带来了技术革新。该技术不仅能在复杂环境中持续获取高精度三维空间数据，还能有效降低作业成本，提升测量效率。

一、手持 SLAM 激光雷达工作原理

手持 SLAM 激光雷达是融合激光测距、视觉系统与惯性测量单元（IMU）的综合性测量设备，通过同步定位与绘图技术实现环境感知和自我定位，其原理如图 1 所示。该技术无需 GNSS 信号，在室内或地下空间等卫星信号缺失区域能持续获取绝对坐标，同时对复杂环境有极强适应性。设备工作时，激光扫描仪以每秒高达 32 万或 64 万点的速度采集空间数据，同时视觉模块捕获环境特征，惯导系统实时记录设备位置姿态变化。

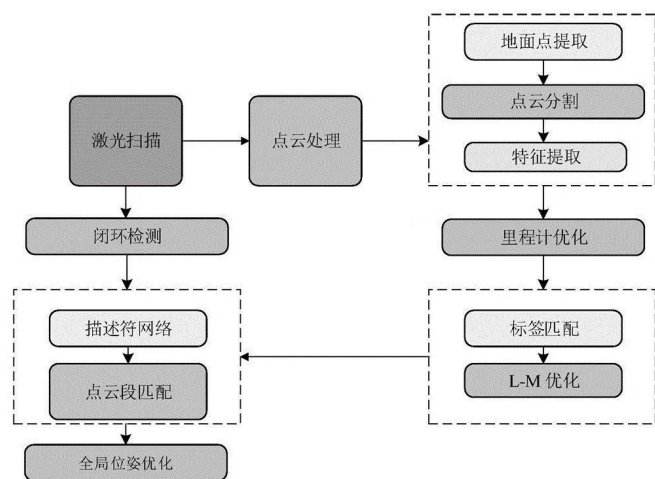


图 1 一种手持 SLAM 激光雷达工作系统原理

二、手持 SLAM 激光雷达系统组成

（一）激光雷达传感器

手持 SLAM 激光雷达的核心感知部件是高精度激光测距系统，如灵光 Lixel L2Pro 配备的激光扫描器可实现

300 米有效测程，满足大多数测绘场景需求。该传感器采用超宽视场角设计，每秒可采集高达 32 万至 64 万个空间点，形成高密度点云数据。扫描器同时配备 4800 万像素双内置镜头，能够为点云赋予真实色彩，实现照片级彩色点云效果。激光测距系统通过发射激光脉冲并接收反射信号计算距离，同时记录反射强度信息，可区分不同材质表面特性。

（二）定位与姿态测量单元

定位与姿态测量单元是手持 SLAM 设备的导航核心，主要由惯性测量单元（IMU）和视觉定位系统组成。IMU 通过加速度计和陀螺仪持续监测设备的加速度、角速度变化，实时计算位置姿态信息。视觉系统则通过图像特征识别辅助定位，形成“激光+视觉”的 Multi-SLAM 融合定位方式。这种组合显著提升了系统在弱特征环境下的适应性，即使在地铁、隧道等卫星信号缺失区域也能保持稳定建图。

（三）数据处理与存储模块

数据处理与存储模块负责原始测量数据的实时处理、临时存储和导出功能。该模块采用高效算法对激光、视觉和 IMU 数据进行融合计算，实现点云的即时生成与显示，操作者可通过设备屏幕或连接的移动应用实时预览采集效果。系统支持直出具有绝对坐标的点云数据，无需后期拼接处理即可使用，大幅简化工作流程。存储系统采用高速闪存，可记录完整的原始观测数据和处理后的点云成果。

三、手持 SLAM 激光雷达在房产测绘中的应用策略

（一）外业数据采集策略

1. 测区规划与路径设计

测区规划首先需依据建筑竣工图结合现场实际情况进行合理分区，对于大型建筑应按楼层、功能分区进行划分，每个区域面积控制在 0.2 平方公里以内，以控制单次扫描时长不超过 30 分钟，防止惯导误差累积。路径设计需确保扫描轨迹形成闭环结构，即起始点与终止点尽量选在同一位置或相近位置，这样可大幅提高后期点

云拼接精度，图2为某项目激光雷达数据采集路径规划示意图。在多隔间环境中，应先完成主走廊扫描再进入各房间，形成“主干一支线”的扫描网络。对于异形建筑物，要特别设计绕行路径以确保所有凹凸部位都能被完整覆盖。在楼梯间、电梯间等垂直连接部位，应设计重叠段以保证上下层数据的连贯性^[1]。



图2 激光雷达数据采集路径规划示意图

2. 采集参数设置

采集参数设置直接影响数据质量与后期处理效率。首先设置设备分辨率，在复杂区域如异形墙体、精细装饰部位应选择高分辨率模式，每秒采集点数达到64万点；在开阔区域可降低分辨率至32万点/秒，以减小数据量。色彩采集模式应根据光线条件调整，室内光线良好时开启HDR模式提升点云色彩质量；光线不足区域需调整相机曝光参数避免过暗或过曝。测量精度模式在房产测绘中应选择“高精度模式”，虽然会降低行走速度但能确保相对精度达到1厘米内。数据保存格式应选择包含原始观测值的完整模式，而非简化模式，这样便于后期进行精度修正。实时预览功能应开启，便于操作者监控点云质量，及时发现盲区。

3. 环境干扰应对

环境干扰应对是保证数据质量的关键环节。首先针对移动物体干扰问题，应选择人流量少的时段作业，同时在扫描前先清场，减少区域内的移动人员，若无法避免则记录下受干扰区域位置，后期可针对性进行补测或数据修复。其次应对场景突变问题，如门口、开放空间到狭窄空间的过渡区域，需采用“螃蟹步”缓慢侧身通过，行进速度控制在0.5米/秒以下，保持激光头能同时识别两侧特征物再缓慢前进，避免定位丢失。对于玻璃、镜面等强反射材质区域，需调整入射角度，避免垂直照

射，可采取倾斜45度角扫描策略减轻信号干扰。在低纹理环境如白墙区域，应降低行走速度至0.3米/秒以下，增加扫描重合度，必要时可放置临时特征物辅助定位^[2]。

(二) 内业数据处理策略

1. 点云数据预处理

点云数据预处理需按照系统化流程进行操作。首先进行数据导入与初步检查，将采集的原始数据通过USB传输线导入计算机，并转换为通用LAS格式，检查点云完整性与轨迹连续性，识别可能的数据断裂或畸变区域。随后进行噪点过滤，应用统计离群值检测算法剔除明显偏离主体的散点，设置阈值参数为邻域点云标准差的2.5倍，可有效去除移动物体产生的拖影和悬浮点。点云降噪时，对于墙面等平面区域采用平面拟合算法，设置平面拟合阈值为2毫米，可保留结构特征同时平滑噪声；对于转角等特征部位，应用边缘保持滤波算法，保留几何特征的同时减少厚度。点云均匀化处理应设置网格大小为5毫米，在保证几何结构不变形的前提下实现点云精简，减少后续处理负担^[3]。

2. 点云配准与融合

点云配准与融合需采用多级处理策略。首先进行单文件内部优化，利用设备内置的SLAM轨迹数据作为初始参考，对每个项目文件应用Bundle Adjustment算法进行内部一致性优化，迭代次数设为50次，收敛阈值为0.5毫米。随后执行多文件粗配准，对于分区采集的数据，使用特征点匹配算法进行初步对齐，选取点云中显著几何特征如墙角、门框等作为匹配点，每两个相邻数据至少需要8对匹配点。接着进行精细配准，采用迭代最近点(ICP)算法，设置最大迭代次数为100次，收敛条件为均方差小于1毫米，对齐精度可达到毫米级。全局优化阶段引入非刚性配准技术，考虑扫描过程中可能存在的变形，通过建立空间变换函数修正局部扭曲，特别适用于长走廊或大空间环境。对于多层建筑，应建立垂直约束条件，确保楼层之间的几何关系正确，垂直误差控制在5毫米内。配准完成后执行点云融合，对重叠区域应用加权平均策略，权重与点云质量成正比，消除接缝痕迹。

3. 建筑面积与结构信息提取

建筑面积与结构信息提取是将点云数据转化为房产测绘成果的核心环节。首先进行点云分层切片处理，在CAD环境中设置水平切片厚度为0.5米，切片高度一般选择离地面1.2米处，能够有效捕捉墙体轮廓同时避开大部分家具干扰。轮廓提取阶段应用边缘检测算法，设置梯度阈值为点云强度变化率的15%，自动识别墙体边界线，对于检测不明确区域应辅以垂直剖面分析，提高边界确定的准确性。建筑结构要素识别中，基于点云密度和反射强度的聚类分析可区分墙体、门窗、柱等不同构件，设置聚类距离阈值为2厘米，最小点数阈值为

100点。面积计算采用正投影法,根据《房产测量规范》的要求,建筑物外墙外围水平投影面积作为建筑面积,套内使用面积计算以内墙内侧为准,墙体厚度通过双测点云拟合计算得出,精度可达到5毫米。复杂结构如弧形墙、异形柱需应用曲面拟合算法,采用NURBS曲面模型进行参数化描述,拟合精度控制在2毫米以内。最后进行三维模型与二维平面图转换,应用语义分割技术为不同构件赋予属性信息,生成符合房产测绘规范的CAD图纸,包括墙线、门窗线、尺寸标注等元素,保证图纸与实测数据的一致性^[4]。

(三) 与传统测绘方法协同策略

1. 控制点测量

控制点测量是确保SLAM数据精度的基础保障。首先建立独立控制网,在测区周围布设4~6个高精度控制点,点位应选择稳固、视野开阔、分布均匀的位置,采用GNSS-RTK技术或全站仪导线测量方法确定其三维坐标,控制点间相对精度应优于1/10000,高程闭合差不超过 $12\text{mm}\sqrt{K}$ (K为千米数)。其次在测区内部布设检核点网,点位选择在建筑物墙角、拐点等特征明显且不易变动的位置,点间距控制在50~80米,形成均匀分布的网格结构,每个闭合区域内至少包含3个检核点。采用全站仪自由设站法测量内部检核点坐标,观测2~3个控制点定向,测站数控制在3个以内减少累积误差。控制点标识需使用专用反光贴纸或涂刷醒目标记,大小控制在5~10厘米,确保在点云数据中能清晰识别。测量完成后进行网平差处理,采用最小二乘法调整观测成果,平差后点位中误差不应超过 ± 2 厘米,并将平差后的坐标作为SLAM数据校正的基准,通过三维坐标七参数或多项式变换模型执行整体配准^[5]。

2. 关键部位复核

关键部位复核是确保房产测绘成果可靠性的重要环节。首先制定科学的复核点位选择策略,应优先选择房屋结构关键部位如承重墙交接处、异形墙体转角、特殊构件连接点等,每100平方米建筑面积至少设置3~5个复核点。复核测量应采用高精度手持激光测距仪或全站仪进行,同一尺寸需测量3次取平均值,相邻两次测量值差异不超过5毫米方可采用。针对墙体厚度的复核,应在同一墙体上间隔5米选取测点,每面墙至少3个测点,综合评估墙体的整体厚度。对于异形区域如弧形墙、斜面墙体,应采用多点拟合法,沿轮廓均匀测取至少5个点位确定其几何形状。高度方向的复核需选取层高代表点,使用水准仪或全站仪测量楼层净高,与SLAM数据提取的高度进行比对,差值不应超过 ± 1 厘米。误差分析阶段应计算SLAM点云提取尺寸与实测尺寸的系统误差和随机误差,系统误差可通过比例尺修正参数校正,随机误差应控制在《房产测量规范》允许范围内,即长度相对误差不超过1/1000。

3. 数据互补与验证

数据互补与验证是提升房产测绘成果完整性与可靠性的保障机制。首先建立基于权重的多源数据融合框架,为不同来源数据分配可靠性权重,SLAM点云数据权重设为0.7,传统测量数据权重设为0.9,在出现矛盾时优先采用权重高的数据源。针对SLAM技术弱点区域如高反射材质表面、玻璃幕墙、大型金属构件等,应专门安排传统测量方法补充采集,使用全站仪直接测量这些区域的关键尺寸和空间位置。对于高精度要求部位如产权界线、建筑轴线等,应同时采用两种方法测定并取加权平均值,确保关键数据的准确性。建立逐层递进的质量评估体系,首先检查原始点云与控制点的拟合精度,误差不超过 ± 3 厘米;其次评估矢量化成果与点云的符合程度,平面位置偏差不超过 ± 2 厘米;最后核验面积计算准确性,相邻两次独立计算的面积差异不应超过0.5%。在成果整合阶段,应用同一坐标框架下的叠加分析技术,将SLAM提取的建筑轮廓与传统测量成果进行叠合,检测异常偏差点,并通过空间插值技术修正局部偏差,形成一致性更高的综合成果^[6]。

结语

手持SLAM激光雷达技术为房产测绘领域注入了新活力,其高效率、高精度的数据采集能力和强大的环境适应性,使之成为解决复杂建筑空间测量难题的有力工具。然而,技术应用仍需注意环境干扰因素,并与传统测绘方法形成互补,建立严谨的质量控制体系。未来,随着多传感器融合技术的发展和算法优化,手持SLAM激光雷达将进一步提升测量精度与数据处理能力,与人工智能、边缘计算等技术深度结合,实现测量数据的实时解析与成果自动生成,为智慧城市建设和房产数字化管理提供更加完善的技术支撑。

参考文献

- [1] 柳琛. 激光雷达测绘技术在工程测绘中的应用探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2025, (06): 66-68.
 - [2] 杨学林. 手持激光雷达扫描仪飞马在地形测绘中的运用[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(10): 26-29.
 - [3] 宁振伟, 谢刚生, 钟晓兰. 手持激光雷达扫描系统在农村房地一体测量中的应用[J]. 测绘通报, 2021, (02): 103-107.
 - [4] 李宝航, 孙久翕, 富靖松, 等. 基于SLAM的激光雷达三维测绘仪前景分析[J]. 科技视界, 2020, (19): 191-192.
 - [5] 杨旭. 基于FPGA的激光雷达SLAM测绘设计与实现[J]. 科技创新与应用, 2020, (08): 15-16+18.
 - [6] 黄鹤, 佟国峰, 夏亮, 等. SLAM技术及其在测绘领域中的应用[J]. 测绘通报, 2018, (03): 18-24.
- 作者简介: 刘永超(1986-), 男, 汉族, 河南驻马店人, 本科学历, 助理工程师, 研究方向: 测绘、测量。