

移动 SLAM 三维激光扫描仪行业推广与实操应用研究

王庆海

辽宁千星北斗测绘科技有限公司 辽宁 沈阳 100110

【摘要】：移动 SLAM（即时定位与地图构建）三维激光扫描技术是现代空间信息采集领域的一项重大突破，以高效灵活的工作模式和良好的环境适应性推动着传统测绘、三维建模工作方式的变革。本文对这项技术的运行机理、相比传统方法的明显优势、在建筑、工业、文化遗产等各个领域的应用情况进行了系统的整理和说明。论文对设备选型的核心要素、现场作业的标准化流程、点云数据处理的关键技术进行了详细的阐述，对实践过程中遇到的复杂场景和典型问题提出了可行的解决办法。研究表明，科学规范地使用该技术可以实质性提高三维数据获取的精度和效率，它在工程验收、设施管理、数字化存档、空间规划等方面有广阔的应用前景和可观的推广价值。

【关键词】：SLAM 技术；三维激光扫描；点云处理；行业应用

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.052

随着建筑、工业、文保和智慧城市等领域对于高精度的三维空间数据需求的不断增大，社会对于高效、准确并且完整的三维空间数据获取技术的需求也越来越大。移动 SLAM 三维激光扫描技术，利用激光雷达、惯性导航、先进的算法等，成功实现了复杂、动态或者没有卫星信号环境下移动状态的自主定位和实时三维建模，成为大范围空间信息采集的高效工具。但是目前该技术的市场认知还不充分，标准化的操作体系还没有形成，其在不同行业的价值实现途径还需要明确。因此，研究它技术原理、建立标准的应用框架、探索针对性的推广策略，对充分发掘其潜力、促使其成为成熟生产力有着重大的理论指导意义和实践推动价值。

1 移动 SLAM 三维激光扫描技术原理与核心优势

1.1 同步定位与地图构建的技术机理

移动 SLAM 三维激光扫描系统实现其功能的关键，就是对环境感知和自身定位的同步求解。系统所装载的多线激光雷达发射激光束，然后接收激光束从物体表面反射回来的信号，精确测量出传感器和周围环境的距离关系，生成离散的三维点云，同时内置的惯性测量单元也不断提供设备的加速度和角速度变化信息^[1]。经过复杂的传感器融合算法之后，系统就可以对扫描仪自身空间位置和姿态的变化做出实时的推算。在此基础上，先进的点云配准算法对连续获取的扫描帧数据进行匹配、对齐，逐步构建出全局一致的三维环境模型。部分增强型系统把视觉传感器的信息加入进来，丰富场景的纹理细节，提升某些情况下鲁棒性、场景理解能力。

1.2 相较于传统技术的综合性优势

移动 SLAM 系统具有与固定式扫描设备、航空摄影测量等传统方法不同的明显优势。作业效率上彻底改变了固定站式扫描需要多次设站、后期拼接的繁琐流程，实现了边走边扫的连续采集模式，大大缩短了外业数据获取时间。主动式激光扫描不会受环境光照条件影响，可以直接获取高精度三维几何信息，避免了基于影像的三维重建中因为特征匹配带来的误差累积问题。其内置的智能算法具有自动闭环检测、轨迹优化等功能，可以在扫描过程中发现重复区域，有效修正由于长时间运行造成的累计漂移，保证最后生成的大范围场景模型的整体一致性、精度，因此适合对大型室内空间、复杂工业环境、地下设施进行快速数字化。

2 行业市场分析与应用前景评估

2.1 高适配性目标行业特征分析

适合移动 SLAM 技术大规模应用的行业要结合场景特点、精度需求和投资回报率等几个方面进行判断。建筑行业特别是建筑信息模型全生命周期管理对建筑物现状快速、完整三维数字化存在刚性需求，移动扫描可以高效获取包括复杂内部空间在内的全部数据。在工业领域，如工厂、电站的管线巡检、设备改造中，传统测量手段很难在密集设施之间展开，移动系统的灵活性和高效率是不可替代的优势。文化遗产的数字化存档与保护，需要对脆弱、复杂的古迹或者藏品做非接触、高保真的三维记录，移动 SLAM 技术正好提供了完美的解决办法。市政设施管理、应急救援现场快速勘察、商业空间规划等领域也存在巨大的应用潜力。

作者简介：王庆海，出生年月：1988 年 05 月，性别：男，民族：汉族，籍贯：甘肃省白银市，学历：辽宁工程技术大学/测绘工程，职称（现目前的职称）：工程师，研究方向：测绘前沿装备推广，移动 SLAM 三维激光扫描仪的行业应用和推广。

2.2 技术推广的核心价值主张

成功推广移动 SLAM 技术的关键在于把移动 SLAM 技术不可替代的核心价值，即向潜在用户清晰地传递出去。对项目周期短的工程总包、施工方来说，重点阐述该技术怎样通过数倍乃至数十倍地提高外业效率，从而直接缩短项目工期、降低人工成本^[2]。对于设计、咨询机构来说，需要突出扫描得到的高精度点云数据与主流 BIM、CAD 设计软件无缝对接的工作流，为设计复核、工程量算、冲突检测等业务提供准确的数据基础。对把精度当作生命线的工业检测、质检部门来说，必须要有经过严格验证的、客观的精度测试报告和对比案例来证明其在复杂工业环境中的可靠性、准确性。创建起具备深度剖析能力的标杆应用案例库，搭配上系统的操作技能培训，这是削减用户技术采纳门槛，塑造市场信任的有效办法。

3 现场数据采集标准化作业流程

3.1 作业前的周密规划与准备

高质量数据采集要从充分的准备开始。在进入现场之前，应该根据项目的目标和精度要求来了解场景概况，规划合理的扫描行进路径，理想的路径应形成闭环以利于系统自动进行误差校正^[3]。需要检查设备电量和存储空间，保证单次作业时长满足要求。对于存在大量玻璃、镜面或强反光表面的特殊环境，应准备好标记点或者哑光喷剂来减少干扰。在缺少 GPS 信号的多层或者地下空间，可预先布设已知坐标的控制点或者使用 UWB 等辅助定位手段来为数据提供绝对坐标基准。

3.2 采集过程中的规范化操作

数据采集过程中规范的操作可以保证点云的质量。操作人员应该保持设备平稳、匀速移动，不能做急剧的加减速或者旋转，以减小惯性导航单元误差累积。扫描仪和被扫描物体的距离应该保持在设备标定的最佳工作范围内，保证点云密度和精度。根据不同的反射特性，即深色吸光材料或者明亮反光体，适时对扫描仪的强度进行调整以获得更好的回波信号。在大型场景或者复杂结构中，应该在特征明显的地方（转角、楼梯口等）稍微停留或者做多角度的补充扫描，保证特征的完整性，方便之后的数据无缝衔接、精准配准。

4 点云数据处理关键技术链条

4.1 数据的预处理与精化

原始点云数据中存在噪声、离群点、移动物体拖影等。首先要做数据预处理，用统计滤波、半径滤波等方法去除明显的噪声点。随后可以使用体素化网格下采样来保持场景的基本几何特征，大幅度降低海量点云的数据量，提高后续处理的速度。对由于设备轻微抖动或者运动模糊造成的点云弥散现象，可以采用合适的平滑算法来改善点云数据，使点云数据更清楚地表现物体边界。

4.2 多站数据配准与全局优化

大型场景需要分段扫描的时候，得到的多站或者多时段的点云数据要进行精确配准，才能得到完整的统一模型。自动化配准常使用迭代最近点算法或者它的变种，为了提高配准的成功率和精度，可先进行基于特征（平面、轮廓）的粗配准或手动选择几个明确的对应点对。完成两两配准之后需要做全局优化，用平差原理来消除闭合路径中的配准误差，保证整个模型无缝对接并且几何一致。此环节属于决定最终成果精度的重要环节^[4]。

4.3 点云语义分割与结构化建模

为了得到更高价值的应用信息，需要对点云进行语义分割和分类。采用以深度学习为模型的三维点云分割网络，可以自动识别并分类场景中墙壁、地板、天花板、门、窗、管路、设备等物体。在此基础上可以将分类后的点云转化为向量化的 BIM 模型或者三维网格模型，完成由“点云”到“模型”的升华，给深度应用（空间分析、体积计算、仿真模拟等）提供可以直接使用的数字化资产。这一过程随着人工智能技术的发展而变得越来越自动化、智能化。

5 典型应用场景与疑难问题对策

5.1 建筑竣工验收与改造设计

在建筑竣工验收中，使用移动 SLAM 扫描可以快速得到建筑实体的“竣工点云”，同设计的 BIM 模型做比对分析，有效核实施工偏差。对于旧建筑改造或者历史建筑保护来说，可以非接触式获取准确的现状几何和纹理信息，尤其是那些人无法到达或者测量工具不能放置的复杂构造部位，为精准设计打下了坚实的基础。

5.2 复杂工业环境数字化

化工厂、电站、大型船舶等工业设施内部存在空间狭小、布局复杂、管线繁多的状况。移动扫描系统具有很高的灵活性，在其中可以自由移动，快速地完成对整个设施内部实景的三维数据采集。高精度点云数据可以用来创建设备资产管理、智能化巡检路线规划、应急预案仿真推演、设施改造方案设计等，大大提高了工业运维过程中安全性、效率、智能化管理水平^[5]。

5.3 应对特殊挑战的解决方案

实践中会遇到各种困难，要具体问题具体分析。对由于玻璃、透光材料造成的扫描缺失，可以采用多视角交叉扫描或者辅助近距离静态精细扫描进行补全。在长廊、地下通道等没有明显的视觉特征的弱纹理环境中容易导致 SLAM 算法发生漂移，必须用辅助定位手段或者人工设置控制点来约束轨迹。场景中动态物体（行人、车辆等）会通过扫描记录下来形成干扰，可以利用时序分析或者多帧对比的方法进行滤除。对设备传感器进行定期专业标定校准，是保证传感器长期测量的精度必要

的保证。

6 推广策略与产业发展展望

6.1 构建多层次市场教育体系

为了使技术得到有效的推广，必须要创建起系统的市场认知和教育体系。面向管理决策者，沟通重点应该是技术应用所引发的总体效率变革以及投资回报分析。一线技术人员的培训要以原理培训、实际操作演练为主。对于终端用户来说，应该通过可视化的成果展示、流畅的工作流程演示来直观地表现技术的价值。综合运用行业论坛、利用专业出版物、在线课程和典型案例深度剖析等方式，全方位、多角度地传播技术核心优势和应用效益^[6]。

6.2 深化垂直行业定制解决方案

通用化的技术推介不能满足专业领域的精确要求。推广方需要充分理解目标行业的业务流程、专业标准、实际痛点，把移动 SLAM 扫描技术转化为适合的行业解决方案。工程测绘领域设计出符合行业规范的精度验证和数据处理流程，司法取证场景制定出符合证据法律效力的全流程操作规范，文物保护修复工作开发出兼顾几何精度和色彩真实的专项技术方法，使技术与业务深度融合。

6.3 促进产业链协同与生态构建

技术规模化应用需要有健全的产业生态支撑。需要设备制造、软件开发、系统集成、应用服务、最终用户等产业链各个环节的紧密配合。努力推进数据格式的标准化以及系统接口的开放化，使扫描数据可以和下游各种专业软件平台高效对接。

鼓励以开放技术架构为载体的二次开发，催生出更多细分应用场景的创新解决方案不断涌现出来，形成一个共生共荣的产业生态系统。

7 结论与展望

7.1 结论

本研究证明，移动 SLAM 三维激光扫描技术的推广使用，是牵涉到技术认识、操作标准、行业匹配的系统工程。通过对多传感器融合定位、实时建模技术原理的深入剖析，明确其在效率、灵活性、精度上具有的综合优势，并且为建筑、工业、文保等典型应用场景创建出一个包含设备选型、数据采集、处理流程和问题对策的标准化作业体系。该技术改变了空间数据的采集方式，用科学的推广策略和规范的实操应用，给相关行业提供高效、精细的三维数字化可靠途径，有明显应用价值和广阔市场前景。

7.2 展望

未来移动 SLAM 三维激光扫描技术将向智能化、集成化、普及化方向发展。从技术角度来说，嵌入式 AI 将会加强在复杂场景下实时语义理解以及自主决策的能力，硬件的小型化、低成本化会使得它的应用门槛降低。该技术同数字孪生、工业互联网、元宇宙等前沿技术相融合，产生更多的创新应用场景。产业生态的完善，包括标准制定、人才培养、跨平台数据融合等，是技术规模化应用的重要前提。持续推动技术创新和行业需求的双向驱动，给社会各个领域数字化、智能化的转型提供更强大的空间信息基础设施。

参考文献：

- [1] 曾玉庭.手持式移动三维激光扫描仪在大比例尺地形图测绘中的应用探讨[J].大众科技,2024,26(06):5-7+12.
- [2] 李通,刘广彬,密兴刚,等.移动三维激光扫描仪在建筑工程不动产测绘中的应用[J].北京测绘,2022,36(07):892-896.
- [3] 余龙,代龙昌,施志玲.手持三维激光扫描仪和移动背包扫描系统在房地一体测量中的应用[J].地矿测绘,2021,37(04):42-46.
- [4] 吴飞,胡静云.基于 SLAM 的连通叠层复杂空区三维精准建模[J].采矿技术,2021,21(06):165-168.
- [5] 王博.徕卡 ScanStation P30 三维激光扫描仪原理及工程应用[M].中国水利水电出版社:201909:125.
- [6] 陈洁,聂志洋,于坤.SLAM 支持下的地面移动激光扫描系统[J].地质装备,2019,20(04):21-24.