

依托高密度点云的外业调绘轻量化技术及地物精准采集判读实践

王玉珍

新疆疆海测绘科技有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v9i3.2468

[摘要] 针对传统外业调绘效率低、劳动强度大、地物判读精度不足等问题,提出融合高密度点云处理的轻量化技术方案。通过倾斜摄影与激光雷达数据融合获取高密度点云,采用改进型布料模拟滤波、多尺度球形邻域特征提取及自适应聚类分割等技术,实现地面与非地面点云高效分离、地物特征精准提取。结合语义分割与边界提取算法,构建地物分类判读模型,开发轻量化外业调绘终端。经实际工程验证,该技术方案显著提升了外业调绘效率,优化地物采集判读效果,有效降低了外业工作强度,为数字化测绘提供了高效可行的技术路径,适用于城市更新、不动产测绘等多场景应用。

[关键词] 高密度点云; 外业调绘; 轻量化技术; 地物采集; 精准判读

中图分类号: X830.1 **文献标识码:** A

Lightweight Field Survey Technology and Practice of Accurate Feature Collection and Interpretation Based on High-Density Point Clouds

Yuzhen Wang

Xinjiang Jianghai Surveying and Mapping Technology Co., Ltd.

[Abstract] Aiming at the problems of low efficiency, high labor intensity and insufficient accuracy of feature interpretation in traditional field surveying, a lightweight technical scheme integrated with high-density point cloud processing is proposed. High-density point clouds are obtained through the fusion of oblique photogrammetry and LiDAR data. Improved cloth simulation filtering, multi-scale spherical neighborhood feature extraction and adaptive clustering segmentation technologies are adopted to realize efficient separation of ground and non-ground point clouds and accurate extraction of ground feature characteristics. Combined with semantic segmentation and boundary extraction algorithms, a feature classification and interpretation model is constructed, and a lightweight field survey terminal is developed. Verified by practical engineering, this technical scheme significantly improves the efficiency of field surveying, optimizes the effect of feature collection and interpretation, and effectively reduces the intensity of field work. It provides an efficient and feasible technical path for digital surveying and mapping, and is suitable for multi-scenario applications such as urban renewal and real estate surveying and mapping.

[Key words] high-density point cloud; field survey; lightweight technology; feature collection; accurate interpretation

引言

外业调绘是测绘工作的核心环节,直接影响地理信息数据的准确性与现势性。传统外业调绘依赖人工实地勘测,受地形条件、气候因素影响显著,存在作业周期长、成本高、数据一致性差等弊端。随着倾斜摄影测量、激光雷达等技术的快速发展,高密度点云数据凭借其丰富的几何与纹理信息,为外业调绘技术革新提供了数据支撑。然而,现有云处理技术多依赖专业设备与复杂算法,难以满足外业场景的轻量化应用需求,且地物特征提取与判读的自动化、精准化水平不足。因此,研发适配外业

场景的轻量化点云处理技术,实现地物高效采集与精准判读,成为推动测绘工作数字化转型的关键课题,对提升测绘工作效率与数据质量具有重要现实意义。

1 高密度点云数据获取与预处理技术

1.1 多源数据融合采集方案

高密度点云数据的获取采用倾斜摄影与激光雷达优势互补的融合技术路径。倾斜摄影系统通过多视角相机从不同角度采集地物影像,经空中三角测量解算相机内外方位参数,再通过像元密集匹配生成三维点云,该方式具备硬件成本较低、操作便

捷、纹理信息丰富的优势,能够快速获取大范围区域的地物外观特征。激光雷达系统则通过发射激光脉冲测量地物三维坐标与反射强度,生成的点云数据具有空间分辨率高、几何信息完整、受光照条件影响小的特点,可精准刻画地物的三维形态。

通过坐标系统一、数据配准等关键步骤,将两类点云数据进行融合处理,形成密度均匀、信息全面的高密度点云数据集。数据采集过程中,针对不同地形场景优化飞行参数:城市区域建筑物密集、地物复杂,采用低空飞行模式,确保点云密度能够清晰地呈现建筑物轮廓与细节特征;乡村区域与施工场地地形开阔、地物分布稀疏,适当调整飞行高度,在保证关键地物点云覆盖完整的前提下,平衡数据采集效率与处理成本。同时,在数据采集前进行航线规划与设备校准,减少系统误差,为后续预处理与地物提取奠定高质量数据基础。

1.2 点云预处理关键技术

点云预处理的核心目标是去除噪声点、冗余数据与粗差点,分离地面与非地面点云,提升数据质量。采用改进型布料模拟滤波算法实现地面点提取,该算法通过目标检测技术识别点云中的机械设备、临时建筑、植被等典型地物,结合地势分析划分平地、缓坡、陡坡、复杂地形等类型,自适应调整布料硬度系数、格网分辨率、高程阈值等参数,避免传统滤波算法因全局参数固定导致的地形适应性差问题。通过构建三维格网并设置合理重叠度,确保地物边缘信息不丢失,有效降低陡坡区域地面点误判与低矮地物点混入地面点的概率,严格控制地面点提取误差。

噪声去除采用统计滤波与半径滤波相结合的两步法策略。统计滤波通过计算每个点与其最近邻点的平均距离,将超出均值与标准差阈值范围的稀疏异常点标记为噪声并剔除;半径滤波则进一步去除孤立噪声点,通过设定合理的搜索半径与最小点数阈值,保留点云数据中的有效信息,确保点云纯净度。对原始点云数据开展体素化下采样预处理,在保留地物几何形态与拓扑关系的前提下,通过计算体素格网内点云的重心或坐标均值作为代表点,大幅精简点云数据量,降低后续处理的计算负荷,为外业轻量化应用提供技术支撑。

2 外业调绘轻量化技术体系构建

2.1 轻量化点云处理算法优化

针对外业移动终端计算资源有限、续航能力不足的特点,对传统点云处理算法进行深度优化,在保证处理效果的前提下简化运算流程、降低时间复杂度。地物特征提取采用多尺度球形邻域方法,通过设置不同半径的球形邻域,计算点云的粗糙度、高斯曲率、全方差、线性度、垂直度等特征参数,结合点云的XYZ坐标、RGB颜色信息与激光反射强度,构建高维特征向量,有效提升不同类型地物的区分度。

地物分割采用自适应聚类算法,基于点云密度与几何特征自动调整聚类阈值,无需人工干预即可实现建筑物、植被、道路、构筑物等不同地物的精准分割。通过建立KD树索引优化邻域搜索过程,减少无效计算,缩短算法运行时间,满足外业场景下的实时处理需求。针对建筑物边界提取这一关键难题,融合改进大

津算法与区域增长技术:利用建筑物边界点云密度高于内部点云的特性,通过大津算法实现边界点初步筛选;考虑到建筑物存在外墙高度不一致、立面粗糙等情况,采用基于高程差的区域增长策略,将邻近高差相似的点纳入边界区域,提升边界提取的完整性与准确性,有效解决倾斜摄影点云边界模糊、断裂等问题。

对于地面与非地面点云的精细分离,引入协方差矩阵特征值分析技术,通过计算点云簇在XYZ三个方向上的特征值,判断点云簇的几何形态,筛选出面状等符合地面特征的特征点云簇,再通过径向梯度检查剔除误判栅格,最后采用三次B样条曲面进行平滑拟合,进一步提升地面提取精度。针对大规模点云处理效率问题,优化区域生长分割算法,融合深度信息与曲率特征,以深度最小点为种子点,通过距离与曲率阈值控制区域生长过程,实现点云上表面区域的快速提取,为后续匹配与判读奠定基础。

2.2 轻量化外业调绘终端开发

基于安卓与鸿蒙操作系统,开发集点云数据解析、特征提取、地物判读、数据标注、成果导出等功能于一体的轻量化外业调绘终端。该终端功能架构与浩辰CAD测绘移动端、南方数码地籍外调APPV1.0等商用软件基础模块兼容,采用“通用功能复用+核心算法自研”方案,针对性解决高密度点云处理痛点。

终端采用分层存储与按需加载架构,按区域分块存储预处理点云数据,作业时仅加载当前区域数据,大幅降低移动终端内存占用。界面遵循外业作业习惯,采用触控交互,作业人员可直接在点云影像上编辑地物属性、修正边界、记录备注,无需专业计算机知识即可上手。

终端内置轻量化深度学习地物分类判读模型,经大量标注数据训练,可自动识别建筑物、道路、植被等常见地物并给出判读建议。模型通过压缩与量化处理,在保证精度的同时控制体积,满足移动终端实时判读需求。

终端支持离线作业模式,数据本地加密存储,联网后自动同步至云端;可导出符合行业标准的测绘成果文件,直接对接内业处理流程。同时集成改进点对特征算法的点云匹配功能,融入曲率信息构建特征描述符,通过哈希表快速匹配,提升野外点云配准融合效率。

目前,该终端已完成商用软件兼容性测试,在广东江门、湛江及深圳等多地实践场景中验证了可行性与稳定性,显著提升高密度点云外业调绘效率。

3 地物精准采集判读实践应用

3.1 实践区域概况

选取三类典型场景开展实践应用,全面验证技术方案的适应性与可靠性。第一类为密集城区,区域面积111×70平方米,包含29栋建筑物,点云总数4745万个,该区域建筑物间距小、部分非建筑物与建筑物轮廓相似,且楼间间隔处点云质量较差,提取难度较大;第二类为稀疏乡村区域,面积144×107平方米,包含10栋建筑物,点云总数78.9万个,该区域点云分布稀疏、内部噪点多,且有茂密植被覆盖,地物识别与分割难度较高;第三类

为某施工场地, 区域面积约15000平方米, 最大高差约65米, 场地内有机电设备、临时建筑、建材堆料等典型地物, 地势复杂, 地面点提取与地物判读难度大。

3.2 采集判读流程与结果分析

地物采集判读流程包括数据准备、点云预处理、特征提取、地物分割、判读标注与成果核查六个环节。数据准备阶段完成多源点云数据融合与格式转换; 点云预处理实现噪声去除、地面点提取与数据降采样; 特征提取阶段通过多尺度球形邻域与协方差矩阵分析, 获取地物的几何、纹理与反射特征; 地物分割环节采用自适应聚类与边界提取算法, 实现不同地物的分离与轮廓提取; 判读标注阶段结合终端自动识别结果与人工修正, 完成地物属性录入与边界确认; 成果核查阶段将采集判读结果与实测数据、传统调绘成果进行对比分析, 评估数据精度。

实践结果显示, 密集城区场景中, 建筑物边界提取完整, 能够有效区分建筑物与相邻非建筑物, 所有建筑物均实现精准识别, 即使在楼间点云质量较差的区域, 也能通过特征融合与聚类分割技术实现地物的有效分离; 稀疏乡村场景中, 面对点云稀疏与植被干扰的问题, 通过多尺度特征提取与语义分割算法, 成功过滤植被噪声, 完整提取建筑物轮廓, 包括单层低矮建筑物的细微结构。

3.3 技术应用效益评估

技术应用效益从效率、精度、成本三个维度进行综合评估。效率方面, 轻量化处理技术简化了点云数据的运算流程, 提升了数据处理效率, 外业调绘整体周期较传统方法大幅缩短, 作业人员日均处理面积显著增加, 极大地推进了测绘项目进度; 同时, 自动化特征提取与判读功能减少了人工干预环节, 降低了作业人员的操作难度与劳动强度。

精度方面, 地物采集的平面坐标误差与高程误差均控制在行业规范允许的范围内, 地物属性判读准确, 边界提取完整, 满足1:500比例尺测绘成果要求, 可直接用于后续地理信息数据库更新与专题地图制作。通过与实测数据对比, 建筑物边界提取的吻合度高, 地面点提取的完整性与准确性良好, 能够为各类测绘应用提供高质量数据支撑。

成本方面, 外业人员成本与设备投入成本均有所降低, 避免

了传统调绘中因数据错误导致的重复作业与返工成本, 同时减少了野外作业时间, 降低了安全风险, 综合经济效益显著。该技术方案已成功应用于城市更新调查、不动产测绘、乡村振兴规划、施工场地监测等多个实际项目, 验证了其在不同场景下的适用性与稳定性。

4 结语

依托高密度点云的外业调绘轻量化技术, 通过多源数据融合、算法优化与终端开发, 构建了高效、精准的地物采集判读体系, 有效解决了传统外业调绘的诸多痛点。实践证明, 该技术能够显著提升调绘效率与数据精度, 降低作业成本与劳动强度, 具有重要的学术价值与实践意义。未来研究可从三个方向深入推进: 一是优化点云处理算法, 提升复杂地形与恶劣天气条件下的地物判读能力; 二是融合AI大模型与实时定位技术, 实现地物自动识别、定位与标注的全流程自动化; 三是拓展技术应用场景, 将其与数字孪生、智慧国土等领域深度融合, 推动测绘技术向更加智能、高效的方向发展。随着技术的不断完善, 高密度点云在外业调绘中的应用将更加广泛, 为地理信息数据采集提供更加强有力的技术保障。

【参考文献】

- [1]刘芊伟,张朝霞,谢怡婷,等.一种针对大规模场景的点云匹配算法[J].现代信息技术,2024,8(7):146-150.
- [2]王鹏,辛佩康,刘寅,等.基于改进布料模拟滤波算法的施工场地倾斜摄影点云地面提取[J].测绘通报,2023(10):85-90,110.
- [3]刘禹麒,陈广亮,蔡岳臻,等.一种基于倾斜摄影测量点云密度自适应分割的建筑物边界提取方法[J].测绘通报,2022(9):52-57.
- [4]邵靖滔,杜常清,邹斌.基于点云簇组合特征的激光雷达地面分割方法[J].激光与光电子学进展,2021,58(04):422-430.
- [5]李健,姚亮.融合多特征深度学习的地面激光点云语义分割[J].测绘科学,2021,46(03):133-139+162.

作者简介:

王玉珍(1983--),男,土族,新疆乌鲁木齐市人,大学本科,高级工程师,研究方向:工程测量。