

机载点云数据精细化处理及大比例尺地形图测绘应用技术分析

毕加东

云南省有色地质局三一二队 云南安宁 650300

摘要: 在测绘地理信息产业向智能化、高精度化转型的背景下,机载激光雷达(LiDAR)技术获取的点云数据已成为大比例尺地形图测绘的核心数据源。本文系统梳理了机载点云数据精细化处理的全流程技术体系,深入探究了数据预处理、滤波分类、特征提取等关键环节的技术原理与优化方法,结合工程实践详细分析了其在大比例尺地形图地形要素采集、精度控制及质量检查中的应用要点。

关键词: 机载点云数据;精细化处理;大比例尺地形图;测绘技术;LiDAR应用

引言

传统大比例尺测绘方法存在作业周期长、劳动强度大、受地形地貌与气候条件限制显著等固有缺陷。在复杂区域测绘中,传统方法不仅效率低下,还易出现数据遗漏或精度不达标的问题。机载点云数据凭借其高密度、高精度以及丰富的信息量,为大比例尺地形图测绘提供了全新的数据源,极大地推动了测绘技术的现代化发展。

一、机载点云数据精细化处理技术

(一) 数据预处理

在机载点云采集阶段,飞行姿态的偏移、传感器噪声以及大气折射是干扰采集工作的关键因素,这些因素会直接导致点云数据中出现噪声点、异常值甚至局部数据空洞,降低了后续数据处理的精度与结果可信度^[1]。

噪声去除的核心是剔除噪声点并保留点云几何与拓扑特征,主流方法分三类,基于统计特性的方法,基于空间结构的方法,基于深度学习的方法。工程中常用“统计滤波初步去噪+曲率滤波精细去噪”的组合策略平衡效率与精度;数据补全针对局部数据空洞,空洞多由遮挡、扫描盲区、采样不足导致,不补全会影响后续建模与特征提取。坐标转换是点云地理定位的关键,目标是将传感器坐标系(局部)转换为规范的地理或工程坐标系。

(二) 滤波与分类

滤波与分类是机载点云数据精细化处理的核心环节,地面点提取(滤波)是滤波与分类的首要任务,利用地

面点与非地面点的空间分布差异实现分离,分为传统几何滤波算法和基于机器学习的智能滤波算法两大类。

传统几何滤波算法以地形特征为核心约束,适用于中低复杂度地形场景,典型代表包括基于地形坡度的滤波算法、基于数学形态学的滤波算法。该算法能够有效剔除低矮植被、小型构筑物等非地面点,但在山地、丘陵等复杂地形区域,易将部分陡峭地面点误判为非地面点,导致滤波精度显著下降。基于数学形态学的滤波算法通过构建特定形状的结构元素,对点云数据执行腐蚀与膨胀运算,实现地面点的提取。该算法在山地、丘陵等区域的滤波精度明显优于基于地形坡度的算法,但存在结构元素选型依赖经验、计算量较大的问题。在实际应用中,需根据测区地形特征选择合适的结构元素尺寸与形态,兼顾滤波精度与计算效率。

随着机器学习与深度学习技术的发展,有效弥补了传统几何滤波算法的局限性。此类算法通过构建标注完整的训练样本集,再利用支持向量机、随机森林等分类器完成点云数据的类别划分。通过训练过程,分类器可有针对性地掌握地面点与非地面点的特征差异,实现准确地区分^[2]。主流模型包括SVM、随机森林、CNN、Transformer等,其中随机森林因处理高维数据能力强、抗过拟合而广泛应用;基于Transformer的PE-Net网络通过注意力机制提升复杂场景分割精度,优于传统机器学习算法。

(三) 特征提取

特征提取是点云转化为地形图要素的关键,目标是提取地形要素和地物要素,提取精度与完整性直接决定地形图质量与作业效率。

地形要素提取以DEM为核心支撑,等高线提取流程为:优化DEM精度、设定等高距并通过追踪算法提取等

作者简介: 毕加东(1990—),男,彝族,云南安宁人,本科,工程师,研究方向:工程测量、遥感数据处理与分类技术。

高线、平滑连接修复断裂等高线。提取关键是选择保留地形特征的插值算法，优化复杂地形追踪算法，避免等高线交叉或断裂。此外，山脊线、山谷线作为反映地形走向的核心特征线，其提取主要通过分析DEM的高程变化规律实现，利用水文分析算法（如汇流累积量法）或地形曲率分析法，定位高程变化的极值点，连接形成连续的山脊线与山谷线。

地物要素提取需针对性识别空间轮廓与参数。建筑物轮廓提取流程：筛选建筑物点云→RANSAC算法拟合屋顶平面并剔除非主体点→定位边缘突变点→多边形拟合形成闭合轮廓并计算参数，密集城区需结合上下文优

化避免重叠遗漏。建筑物轮廓提取时，先定位屋顶平面对应的点云区域，再捕捉区域边缘突变点并拟合连接形成闭合轮廓，其判断核心在于点云的高度突变属性与局部曲率变异特征，以此保障轮廓提取的精准性与完整性^[1]。道路中心线提取则利用道路点云的线性分布规律，通过聚类分析实现路面与周边地物点云的分离，再结合骨架提取方法追踪中心线延伸方向，最终确保中心线的连续特性与位置精准度。水系要素提取结合DEM低洼区域分析与点云分类结果：定位低洼区域初步确定范围→优化水系边界→量测宽度、深度等参数，需区分自然水系与人工沟渠，提升提取精度。

表1 机载点云数据处理流程及技术要点

处理阶段	主要任务	关键技术	适用场景	技术优势
数据采集	获取高精度点云数据	机载激光扫描+GPS/IMU集成	各类地形	数据获取效率高、全天候作业、三维信息完整
数据预处理	去噪、填补数据缺失、坐标转换	统计滤波、克里金插值、七参数转换模型、无检校场检校法	原始点云数据优化	消除数据误差、统一坐标系、保障数据完整性
滤波与分类	分离地面点与非地面点，分类地物类型	数学形态学滤波、随机森林分类、PE-Net网络、多特征融合分类	复杂地形与密集地物区域	分类精度高、适应性强、自动化程度高
特征提取	提取地形与地物特征	DEM生成、等高线追踪、RANSAC平面拟合、骨架提取	地形图要素提取	特征定位精准、参数计算高效、满足大比例尺精度要求
地形图绘制	绘制高精度地形图	精度评估与调整、AutoCAD/CASS绘图软件	大比例尺地形图制作	成果规范、精度可控、适配工程应用需求

二、机载点云数据在大比例尺地形图测绘中的应用技术

精细化处理后的机载点云可转化为符合要求的结构化数据，应用体系围绕地形要素采集、精度控制、质量检查展开，实现地形图高效绘制与质量保障。

（一）地形要素采集

地形要素是大比例尺地形图的核心组成部分，其采集质量直接影响地形图对地形的表达精度。基础地形要素采集以自动提取为主、人工修正为辅；人工构造物与自然地物采集需结合分类与特征提取数据；水系结合DEM与分类结果绘制边界，标注类型等参数，单独提取水利设施并标注。同时需核查要素拓扑关系合理性，确保连接有效、轮廓闭合、属性一致，避免道路穿越建筑物等拓扑矛盾，保障采集成果符合地理逻辑。

（二）精度控制

精度是大比例尺地形图测绘的关键性指标，需定期开展设备检校与维护工作，校准激光收发单元，确保扫描数据的几何精度与反射强度均满足规范要求，通过优化飞行高度、飞行速度及扫描频率等关键参数，最大限

度降低系统误差与随机误差对数据质量的干扰。同时需要构建完善的误差传播模型，对各工序误差进行量化管控。在滤波与分类环节中，通过引入自适应参数调整机制，使滤波阈值随地形复杂度动态适配，可显著提升滤波精度。在特征提取环节，借助多尺度分析方法，将局部几何属性与全局拓扑关系纳入协同计算，能够增强特征提取的稳健性与准确度。在地形图绘制阶段，精度评估与修正直接决定成果质量^[4]。通过将待检图与已有的高精度地形图或实测成果进行叠合比对，采用统计指标分别核算平面与高程偏差。随后，依据误差传播模型实施针对性修正，使要素的几何形态与属性信息同步逼近真实值，确保成图精度完全符合对应比例尺的指标要求。

（三）质量检查

质量检查是保障大比例尺地形图成果可靠性的核心环节，对于机载点云生成的图件而言，需从数据完整性、几何精度、属性精度及逻辑一致性四个维度开展全面核查。

数据完整性检查集中在地形与地物要素的全面覆盖情况，采用自动化工具筛查与人工复核相结合的方式，

确认所有必需要素均已完整收录；几何精度检查通过将地形、地物要素的空间位置与高精度控制点、检查点或独立实测数据进行逐一比对，实现几何误差的量化评估；属性精度检查以验证地形、地物要素属性信息的准确性为目标，依托预设的属性校验规则，结合实地勘察获取的数据，对建筑物功能、道路等级、水系类别等关键属性进行逐项核验；逻辑一致性检查重点研判地形与地物要素间拓扑关系的合理性，借助专业拓扑分析工具，逐一验证要素连接有效性、边界闭合性及空间位置关联性是否符合地理客观规律。

通过构建严密的全流程质量检查体系，可快速识别并修正测绘成果中的各类错误与缺陷，确保大比例尺地形图成果全面符合现行技术标准，为后续工程规划、资源勘察等应用环节提供稳定可靠的数据支撑。

表2 大比例尺地形图测绘质量检查内容与方式

检查类型	检查内容	检查方法
数据完整性检查	地形要素与地物要素的完整性	人工与自动化检查工具相结合
几何精度检查	平面位置精度与高程精度	与控制点、检查点对比，统计分析偏差
属性精度检查	地物属性信息的准确性	属性校验规则，实地调查数据核对
逻辑一致性检查	地形要素与地物要素的拓扑关系	拓扑分析工具，检查连接性与空间关系

三、工程应用案例分析

为验证机载点云数据精细化处理及大比例尺地形图测绘应用的有效性，以某城市新区1:500比例尺地形图测绘工程为案例，开展技术应用与效果评估。该测区面积约5km²，测区地形复杂，本次工程采用机载LiDAR技术获取点云数据，结合本文所述的精细化处理与应用技术开展地形图测绘。

工程实施流程如下：一是数据采集，采用大疆M300RTK搭载激光扫描系统，飞行高度120m，飞行速度12m/s，航向重叠度70%，旁向重叠度60%，扫描频率240kHz，点云密度约70点/m²；同步获取测区光学影像数据，分辨率0.05m。二是数据预处理，采用“统计滤波+曲率滤波”组合方法去除噪声，利用克里金插值补全数据空洞，通过七参数转换模型将点云数据转换至2000国家大地坐标系，经检校后，点云数据平面位置中误差0.08m，高程中误差0.04m。三是滤波与分类，采用数学形态学滤波提取地面点（提取正确率96.2%），基于随机森林算法结合光学影像光谱特征，实现非地面点的分类（总体精度92.5%）。四是特征提取，生成0.1m×0.1m高精度DEM，提取等高线（等高距0.5m）、山脊线、山谷

线等地形要素；提取建筑物轮廓1200余个、道路中心线35km、水系边界8km。五是地形图绘制与质量检查，基于提取的特征要素绘制1:500比例尺地形图，通过全流程质量检查与精度验证，最终成果符合规范要求。

工程效果评估显示，与传统测绘方法相比，基于机载点云数据的测绘技术具有显著优势：一是作业效率大幅提升，本次工程实际作业周期仅15天，较传统测绘方法（预计45天）缩短66.7%；二是测绘精度满足要求，地形图平面位置中误差0.09m，高程中误差0.04m，均优于1:500比例尺地形图规范要求；三是复杂区域数据完整性提升，在密集城区、小型山地等传统测绘方法难以覆盖的区域，点云数据能够完整采集，地形与地物要素无遗漏。该案例充分证明，机载点云数据精细化处理及应用技术能够有效提升大比例尺地形图测绘的效率与精度，适用于多种复杂地形场景的测绘工程。

结语

机载点云精细化处理及应用技术是测绘产业智能化发展重要方向，核心价值是突破传统局限，实现大比例尺地形图高效高精度测绘。本文系统分析处理与应用技术体系，结合成果与案例论证其有效性。当前技术仍有提升空间：算法层面，复杂地形滤波分类精度待提升，深度学习算法工程化成本需降低；应用层面，多源数据融合深度不足，智能成图技术待完善。未来，随着AI等技术发展，算法将更高效智能，多源融合更深入，智能成图技术成熟，推动测绘行业转型升级。

综上，该技术具有广阔的应用前景，能够为城市规划、工程建设、资源勘察、应急响应等领域提供高质量的地理信息服务，为测绘行业的高质量发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 席嘉龙, 李洋, 胡鑫康等. 机载点云数据精细化处理与大比例尺地形图测绘应用研究[J]. 市政技术, 2024, 42(7): 212-219.
- [2] 夏波, 陈慧, 朱运权等. “空地水”一体化新型测绘技术在复杂山区公路勘察中的应用[J]. 测绘通报, 2025(S1): 69-72.
- [3] 袁瀑淋, 刘林杰. 三维激光扫描技术在金属矿山大比例尺地形图测绘中的应用研究[J]. 世界有色金属, 2024(18): 160-162.
- [4] 宇金华, 袁丽萍, 黎佳梅等. 大比例尺地形图机载激光雷达点云数据获取及精度检查[J]. 城市勘测, 2024(4): 97-100.