

机载激光雷达技术在大比例尺地形图测绘中的应用

李敏 李琳叶

中交公路规划设计院有限公司 北京 100010

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13205

[摘 要] 针对城市建筑密集区传统无人机摄影测量难以获取真实地面高程的技术难题,本研究采用无人机雷达系统进行地形测绘,通过激光雷达的多回波特性穿透建筑物间隙获取地面点云数据,结合滤波算法实现了建筑物与地面的精确分离,成果精度达到平面 10cm,高程 5cm,为高密度建筑区大比例尺地形图测绘提供了切实可行的技术方案。

[关键词] 激光雷达;大比例尺地形图测量;无人机航测;建筑物

1 引言

大比例尺地形图精度直接影响工程建设质量。相较于传统测绘方法,无人机遥感技术虽具有灵活性强、成本低等优势,但其摄影测量技术在城市场景中存在明显局限,例如建筑密集区影像匹配失败率超过 35%,立面信息缺失导致三维模型几何变形等问题^[1-3]。激光雷达技术为此提供了突破性解决方案,通过主动发射激光脉冲可精确获取建筑立面及间隙区域的三维点云数据,其多角度扫描特性可有效捕捉建筑遮挡区的地面信息^[4]。经处理后的点云数据平面精度可达 0.1m,完全满足 1:500 比例尺地形图的精度要求^[5]。本文结合工程实践,系统阐述了机载雷达技术在大比例尺地形图测绘中的应用及其优势。

2 项目概况和技术流程

研究区面积 5.34km²,以平地为主,地物以房屋(80%)、

道路、水系、耕地和桥梁等为主,区域概况如图 1 所示。



图 1 项目区域概况

项目采用华测 BB4 多旋翼无人机搭载瑞士 AA1300 雷达的集成系统,运用低空摄影测量方式,飞行 2 天,共 6 个架次。三维模型和正射影像由 Contextcapture 软件生成。整体技术流程如图 2 所示。

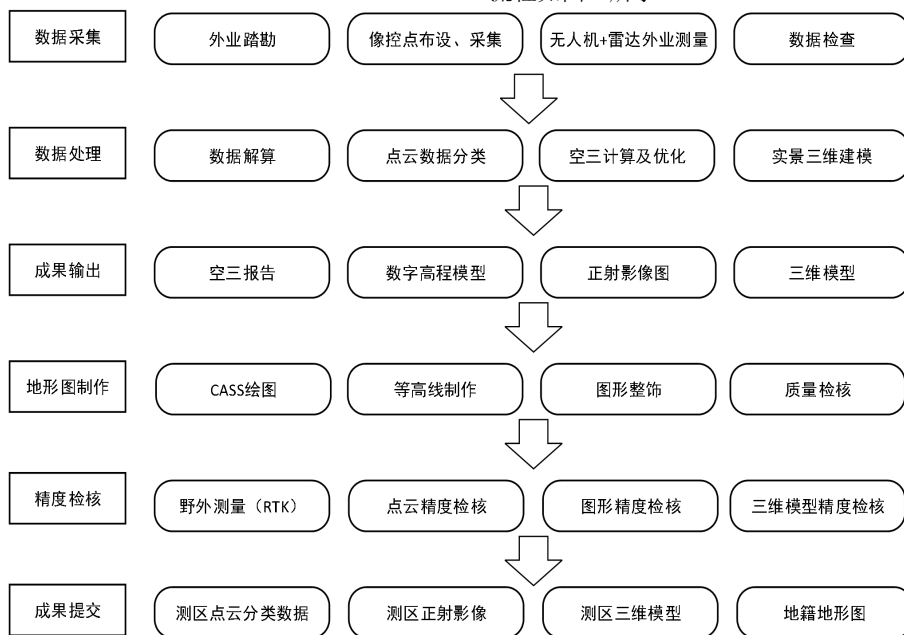


图 2 研究技术流程图

3 关键技术

3.1 机载激光雷达测量

3.1.1 像控点布设

像控点是整个航测过程的主要组成部分,也是下个程序的初始数据,连接着大地坐标系和测绘坐标系,决定着测绘的精度。针对该工程区域具体情况,采用区域网法共布设 12 个像控点,其中有 8 个像控点参与实景三维的空三加密,另外 4 个点用于精度检测^[6]。

3.1.2 相机检校

无人机的轻量化设计使其通常搭载非量测相机,这类相机受镜头制造和调试误差影响,会产生径向畸变、切向畸变及像主点偏移等几何偏差,严重影响地形图精度。为确保大比例尺测绘的高精度,必须对相机进行严格校验^[7]。本项目基于高精度要求,采用直接线性变换法,该方法能有效实现二维像控点向三维坐标的转换,最大限度降低系统误差,是提升数据精度的关键步骤。

3.1.3 外业数据采集

本项目实施飞行高度 100m,激光扫描角度 120°~240°,

频率 800KHZ，航线间距 50m。此设计满足地面影像分辨率达到 2cm，相机航向重叠率、旁向重叠率分别达到 80%、60%；激光旁向重叠 50%，激光点云密度大于 200 点/m²。

3.2 内业数据处理

3.2.1 数据解算

本研究采用华测 CoPre2 软件进行数据处理，通过一键导入功能自动识别设备参数，运用自研 POS 融合算法解算轨迹并优化误差。系统自动解析激光点云与影像数据，剔除无效信息后转换至本地坐标系。内置坐标管理系统把数据解算至本地坐标系。多环节质量检查实时监测精度，若有偏差，利用 POS 修复、平差与纠正功能优化，保证成果准确。

3.2.2 点云数据分类

在点云数据处理中，TerraSolid 软件通过渐进三角网加密算法自动提取地面点，该算法基于初始稀疏三角网逐步加密，结合角度阈值（5°）和距离阈值（1.0m）的迭代调整，优化地形建模精度。首先，软件通过低密度三角网初步识别地面点，随后逐步增加点云密度，利用角度阈值过滤陡变区域（如建筑物边缘），同时通过距离阈值控制地面点的最大偏移范围，确保地形平滑性。

然而，在复杂地形（如密集植被区、陡坡或人工构筑物混合区域），自动分类可能仍存在误差，因此需结合人机交互检查，手动修正误分类点，确保地面点提取的准确性。

3.2.3 实景三维建模

利用 ContextCapture 软件进行三维建模。首先对原始影像进行畸变校正和辐射校正预处理，确保影像几何精度与色彩一致性。随后进行自动空三解算，通过特征点匹配建立影像相对方位，并引入地面控制点进行光束法平差，空三报告显示水平与垂直误差 RMS 均小于 0.1m，满足精度要求。在此基础上，软件依据影像数据和外方位元素构建三维表面模型，通过纹理分析和映射将影像信息贴合至模型表面，生成具有真实外观的三维模型。最后，对生成的三维模型进行质量检查，调整参数以优化模型效果，同时输出 0.1m 分辨率的数字正射影像。

3.2.4 地形图绘制

在地形图绘制过程中，首先基于 CASS 软件对正射影像和 OSGB 三维模型进行坐标配准，确保数据空间基准统一。利用 CASS 的“三维测图”功能，直接在 OSGB 模型上采集建筑物轮廓、道路边线等矢量要素，同时结合正射影像补充植被、水系等细节地物。等高线绘制采用 Global Mapper 处理雷达点云数据，生成 1m 间隔的等高线并导出为 DXF 格式。在 CASS 中导入后，通过“图层转换”归入 DGX 层，并利用“高程检查”功能验证等高线闭合性与高程连续性。针对建筑物周边因雷达数据产生的畸变，结合 OSGB 模型进行人工修正，使用“等高线修剪”工具剔除异常部分。最后添加高程注记，并对地形图成果进行整式，确保所有地形要素符合《1: 500 地形图图式》规范。



图3 DLG 成果示意图

4 精度检核

4.1 点云精度检核

利用控制点对点云数据进行精度检核，结果如下表 1 所示。点云数据的高程误差均控制在 5cm 以内，最大较差为 4.8cm。与三维模型相比，点云数据在精度上具有明显优势。

表1 控制点高程与点云高程对比结果

点号	控制点高程/m	点云高程/m	较差/m
XK01	20.087	20.119	0.032
XK02	19.495	19.461	-0.034
XK03	27.627	27.579	-0.048
XK04	22.993	22.972	-0.021
XK05	27.375	27.380	0.005
XK06	27.285	27.302	0.017
XK07	19.850	19.831	-0.019
XK08	21.533	21.556	0.023

4.2 图形精度检核

采用 GNSS-RTK 技术布设 197 个检查点（平面 93 点，高程 104 点）进行精度验证。平面位置与高程测量误差分析结果如表 2 所示，测量成果整体精度良好，平面和高程误差分别有 73%和 82%控制在 3cm 以内。

表2 平面位置及高程误差统计结果

项目	误差区间/cm	点数/个	占比/%
平面误差	0-1	23	25
	1-3	45	48
	3-5	13	14
	5-10	12	13
高程误差	0-1	23	22
	1-3	64	62
	3-5	17	16

5 结论

本研究创新性地将无人机雷达技术应用于建筑物密集区域，有效克服了传统航测方法中因建筑遮挡导致的地面点缺失问题。实验证明，该技术方案显著提升了大比例尺地形测绘的精度和作业效率。通过深度融合无人机航测与雷达点云数据，为高密度城区地形测绘提供了可靠解决方案。未来研究将重点优化点云自动分类算法，进一步提升数据处理自动化程度，以推动智慧城市三维测绘的智能化发展。

[参考文献]

[1]晏军, 杨银波, 何元甲, 等. 无人机摄影测量三维建模与地形测量精度分析[J]. 测绘通报, 2023 (S1): 54-58.

[2]刘柱. 基于无人机摄影测量的大比例尺测图技术研究[J]. 科技讯, 2023, 21 (15): 40-43.

[3]韩新哲. 无人机大比例尺测图技术应用研究[J]. 科技创新与生产力 2023, 44 (12): 138-141.

[4]卢伟. 低空无人机大比例尺测图精度分析[J]. 测绘技术装备, 2022, 24 (01): 1-6.

[5]石恩强. 无人机航测技术在测绘工程测量中的应用[J]. 工程技术研究, 2024, 9 (16): 223-225.

[6]匡再谊. 无人机倾斜摄影测量技术在大比例尺测图中的应用及关键技术研究[J]. 华北自然资源, 2024, (06): 106-109.

[7]张义林. 无人机仿地飞行在复杂山区大比例尺测图中的应用[J]. 黑龙江科学, 2023, 14 (10): 114-116.