
飞马 D20 机载激光点云及下视影像一体化系统在高山 密林区 1: 1000 地形图测量中的应用

保奇鹏 王莹 谢飞 杨彦梅 李泽邦

【中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司】

摘要:

无人机载雷达的应用已经逐渐深入到地形图测量的应用中来,在较大程度上提高了地形图测量的效率,与此同时也节省了很大的人力资源。由于无人机载激光系统需要和正射影像相结合使用才能呈现直观简洁的数据,往往在飞行作业开展过程中,需要进行无人机的二次航飞,会花费一定的时间,无法提升其飞行效率。本文主要介绍了基于飞马 D20 无人机搭载 DV-LiDAR20 激光雷达和 4200 万的正射相机,无人机仿地飞行和 PPK 差分解算的模式,同时采集激光点云数据和正射影像,完成在高山密林中 1:1000 比例尺地形图生产的需要,同时还在一定程度上提高了外业的工作效率。

关键词:

LiDAR 点云; 仿地飞行; 1: 1000 地形图; 大高差

1 引言

云南省地处云贵高原,高原波状起伏,地势起伏较大,给航飞工作的开展带来了一定程度的挑战,与传统人工测量方式相比,无人机载激光系统因其高精度、高效性、完整性和现势性等特性,在一定程度上有其卓越的优点和优势,它代表着未来测绘的一大发展方向。无人机载激光系统通过采集空间信息和实景影像,由卫星及惯性定位确定空间信息和实景影像的位置姿态等测量参数,能在高速行驶或航行状态下快速准确获取地物的表面点云和影像数据,具有灵活、周期短、精度高、分辨率高等特点,可实时高效地采集多源三维空间数据。由于激光扫描系统的多回波技术可排除植被干扰获取地表点信息,该技术在密林地区的地形测绘方面具有独特的优势。

该系统采集的影像处理时需要一定数量的像控数据,对于山地、高山密林区等人员难以进入的区域,其像控点的布设及获取则尤为困难,从而限制了无人机载激光系统的应用。

本文采用飞马 D20 移动测量系统对位于高山密林区的某工程项目进行下视影像及点云数据的同步采集,基于解算得到的高精度 POS 数据进行免像控环境下的 DOM 生产,经检验该 DOM 成果满足 1: 1000 地形图测绘要求;利用高精度的点云数据提取测区地面点,获取等高线及高程点成果,最终得到完整的测区 1: 1000 地形图成果。整个作业过程中极大的减少了外业工作难度及内外业工作量,经实地采集检查点验证,该成果满足 1: 1000 地形图成果要求。

2 无人机载激光系统简介

三维无人机载激光系统是以无人机为载体,通过激光扫描仪快速对行进路线及两旁地物的空间位置数据和属性数据进行采集,经特定软件的编辑处理,生成各种数据成果。三维无人机载激光系统一般包含 5 个子系统,由机械结构平台及其联接结构组成:

(1) 导航定位子系统: 由 POS (position orientation system) 系统与相应的数据采集软

件组成。POS 系统由 GPS、惯性导航系统、里程计 DMI 等传感器与数据处理电路，以及软件组成，可实时记录传感器的信号，为系统提供位置与方向信息。

(2) 相机子系统：由相机与相应的数据采集软件组成的像采集与处理系统。

(3) 三维激光扫描子系统：由 1-3 台激光扫描测量仪与相应的数据采集软件组成，为系统提供可靠的三维点云数据。

(4) 控制子系统：由计算机、同步控制器与电源组成。

(5) 处理与应用系统：主要由软件组成，为系统提供内、外方位参数检校，多源数据地理参考，多元数据处理和应用等服务。

本文中所采用的飞马 D20 移动测量系统结构如下所示：

(1) 激光扫描仪：快速获取目标地物的空间信息数据，高质量均匀采集数据。

(2) 正射相机：在点云数据采集的同时，采集正射影像。

(3) 惯性导航系统：低噪声，偏差稳定，结合 GNSS 技术，提供稳定、连续的三维高精度位置、速度、姿态信息。

(4) 时间同步模块：移动测量过程中，使扫描点数据与 GNSS 定位数据以及惯导系统数据、影像数据同步。

(5) GNSS 天线：提供高精度位置信息。

3 整体技术路线

本文基于飞马 D20 机载激光点云及下视影像一体化系统在高山密林区 1: 1000 地形图测量中的应用测绘作业主要包括：(1)首先通过无人机载激光系统同步采集测区的下视影像及点云数据；(2)由 GNSS 后差分处理软件及轨迹解算软件实现点云数据进行解算，获取对应的影像参数文件；(3)将影像及点云数据的 POS 转换至目标坐标系统下；(4)通过 Inpho 处理下视影像生成 DOM 成果，同时采用 Terra Solid 软件对点云数据进行分类得到测区地面点生成 DEM 成果；(5)基于 DOM 及 DEM 成果实现测区 1: 1000 地形图要素的采集；(6)对生成的 DLG 成果进行精度分析。具体流程见图 1 基于无人机载激光系统的地形图生产流程。

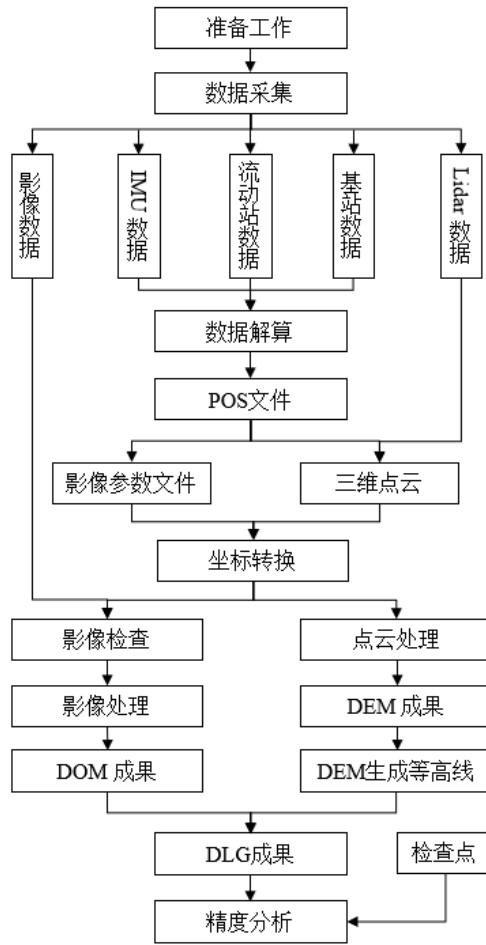


图1 基于无人机载激光系统的地形图生产流程

4 应用实例

4.1 测区概况及成图要求

基于某工程设计项目，需制作地形图，测区呈不规则多边形，覆盖面积约为 13km^2 ，测区高差约 300 米，平均海拔约 2245m。测区范围如图 2 所示。

地形图测图比例尺为 1: 1000，要求为平面精度中误差为 $\pm 0.8\text{m}$ ，等高距为 1m，高程精度中误差为 $\pm 1\text{m}$ 。

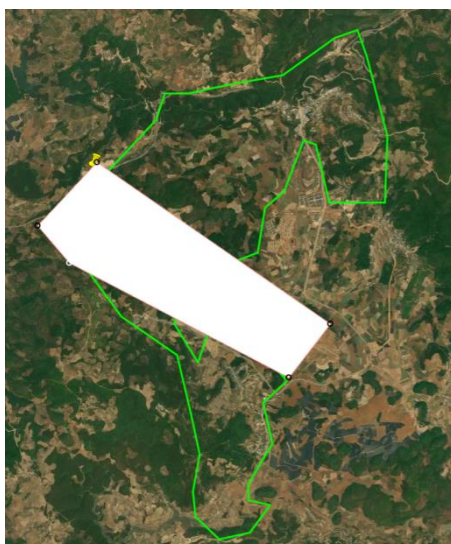


图 2 测区范围示意图

4.2 无人机航摄

4.2.1 测区划分

本次航飞根据测区实际地形情况，分为 6 个航摄分区进行数据采集，分区情况见图 4，航摄参数设置见表 1。

表 1 航摄参数统计表

航摄分区	相对航高	航向重叠度	旁向重叠度	平均点云密度
分区一	230m	80%	50%	100/m ²
分区二	225m	80%	50%	110/ m ²
分区三	235m	80%	50%	120/ m ²
分区四	230m	80%	50%	110/ m ²

4.2.2 航摄任务航线规划及数据采集

该测区由于落差相对较大，整个测区落差 600 米，面积相对较大，因此根据地形分为 4 个区块进行作业，每个区块的落差均在 300 米左右，因此本次航摄作业采用飞马 D20 搭载 DV-LiDAR20，同时采集点云数据及正射影像，设计参数如图所示 3。

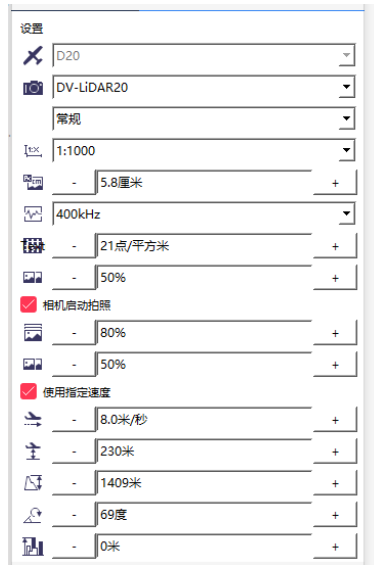


图 3 航摄参数

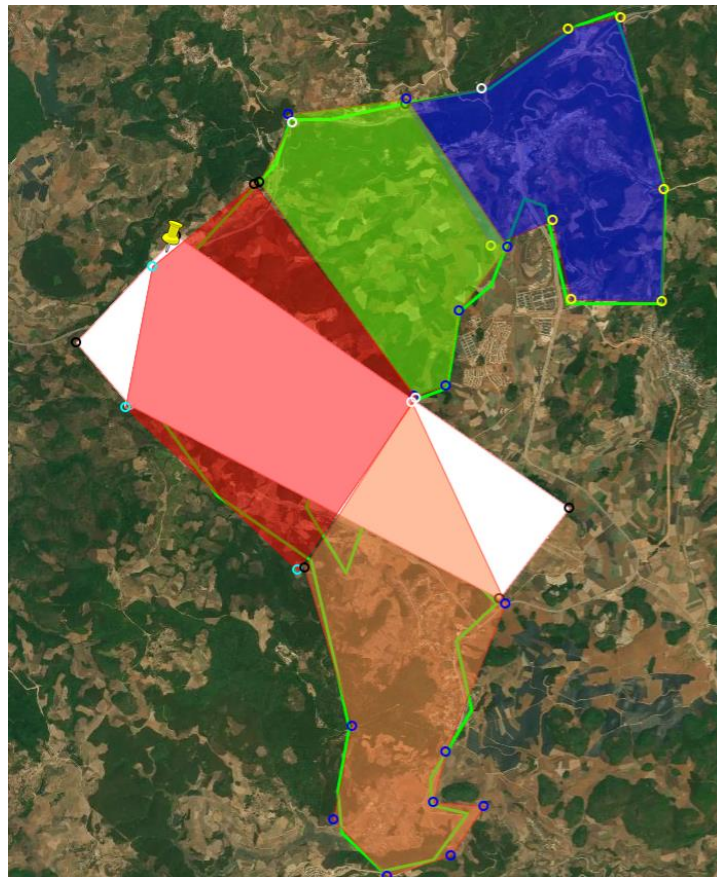


图 4 航摄分区示意图

4.2.3 现场工作照片

由于现场的天气情况，本次航飞任务采用昼夜交替的模式进行无人机的外业采集数据，缩短了任务周期，提高了工作效率。



图5 现场工作照片

4.3 DOM 生产及点云处理

4.3.1 DOM 生产

本次影像处理软件采用 Agisoft photoscan 软件，该软件支持 JPEG、TIFF、PNG、BMP 等多种图像格式，该软件具有全自动和直观的工作流程和 GPU 高性能计算能力。本文在该软件的数据处理主要流程为：（1）添加影像数据及 POS 数据，其中 POS 数据精度较高，因此将 POS 数据的精度指标设置为 0.02m；（2）评估照片，删除成像效果较差的照片；（3）对齐照片；（4）创建密集点云及分类，（5）生成 DEM；（6）生成正射、正射镶嵌；（7）输出 DOM。

本文基于高精度的 POS 数据及对应的参数设置，对齐照片后无需转刺像控点，可直接进行后续处理流程。

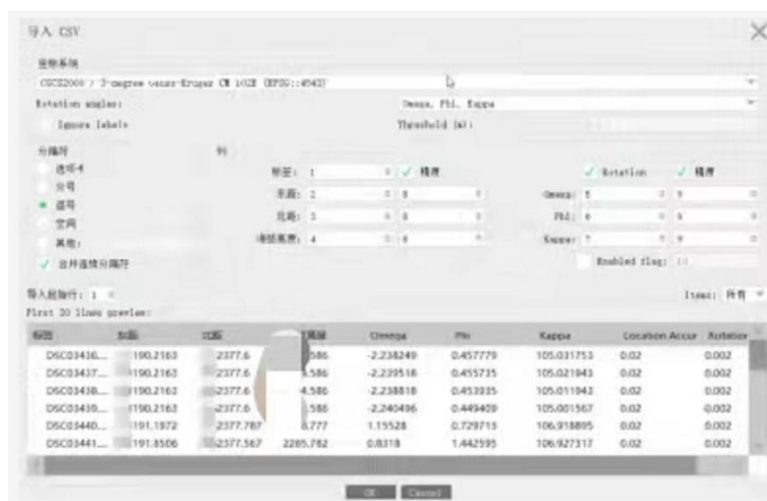


图6 photoscan 导入 POS 数据

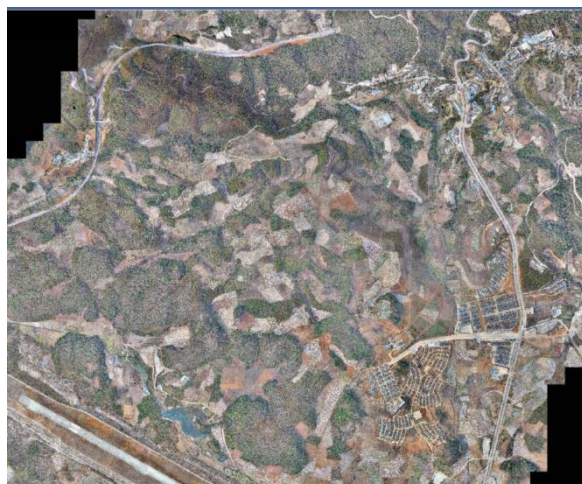


图7 photoscan 输出的 DOM 数据

将生成的DOM数据与检查点以及解算并转换坐标后的点云数据叠加,可双重检验DOM数据的精度。其中,检查点的平面位置中误差为0.052m,满足1:1000比例尺地形图测图精度要求。图8所示为测区5cm分辨率的DOM叠加点云数据的局部放大图,图中可以看出房屋边界及轮廓均与点云数据准确套合。



图8 DOM数据与点云数据叠加效果图

4.3.2 点云处理

点云数据采集完毕以后,需要先进行数据的整理,基站数据的解算,飞机轨迹解算和轨迹与点云的初步融合,如图9所示,需检查点云是否分层,满足条件后方可进行下一步的数据处理,然后再进行点云的分类。

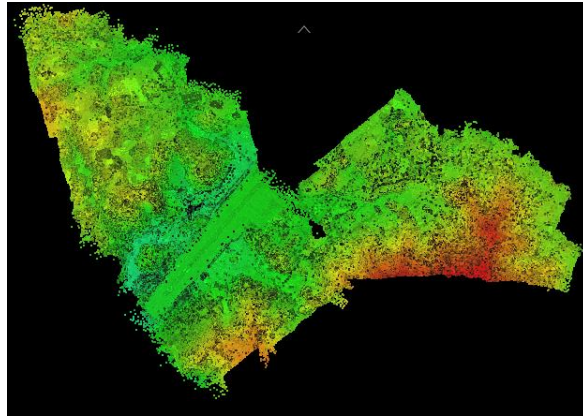


图 9 点云数据采集初步解算

本文实现点云分类所采用的软件为 Terra Solid 系列软件，主要用到了 Terra Scan、Terra Photo 两个模块，主要处理流程如图 10 所示。主要工作是将解算后的点云成果导入到 Terra Solid 中，通过设置 Block、建立工程、采用宏命令批量自动化对点云进行滤波及地面点的提取，辅以少量人工编辑获取准确的地面点及精细的 DEM 数据，最终获得地形图所需的高程点及等高线初级成果数据。

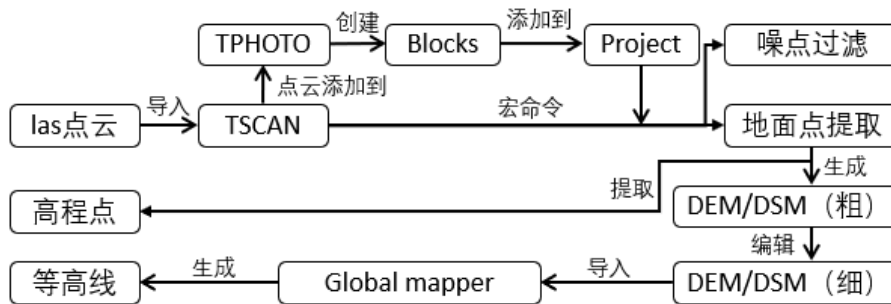


图 10 点云数据处理流程

4.4 地形图要素采集

基于 DOM 的地形要素采集选用清华山维 EPS 三维测图软件，通过 EPS 软件加载 DOM 数据进行要素采集。



图 11 EPS 采集地物示例

等高线采集：本文根据点云数据提取测区出地面点，构建高精度 DEM，在 Global Mapper

中自动生成等高线，根据目标需求设定等高距，然后进行少量的人工编辑得到等高线成果。

高程点提取：在 EPS 点云处理模块里,导入编辑后的等高线和 DOM，叠加上处理后的高精度地面点数据，并结合利用“提取高程点”功能获得最终的高程点成果。最后将采集的物、等高线、高程点汇总形成地形图成果(图 12)。



图 12 地形图成果示例

4.5 精度分析

通过实地采集特征点包括房屋角点、道路交叉点等，计算平面精度，通过实地采集高程点，计算高程精度。从整体检测结果来看，该测图成果满足 1: 1000 地形图测绘的精度要求。

表 2 地形图成果精度统计表(单位: m)

点号	实测 X	实测 Y	实测 H	图上 X	图上 Y	图上 H	Dx	Dy	Dxy	Dh
JC01	****908.368	***174.03	2254.534	****908.333	***173.988	2254.494	0.035	0.042	0.055	0.04
JC02	****560.279	***342.886	2141.046	****560.245	***342.886	2141.136	0.034	-0.054	0.064	-0.09
JC03	****083.085	***769.107	2054.337	****083.139	***769.107	2054.267	-0.054	0.065	0.085	0.07
JC04	****423.934	***739.016	2085.632	****423.898	***739.016	2085.722	0.036	0.049	0.061	-0.09
JC05	****572.422	***654.5	2289.265	****572.475	***654.5	2289.325	-0.053	0.087	0.102	-0.06
JC06	****258.407	***524.511	2267.906	****258.48	***524.511	2267.956	-0.073	0.039	0.083	-0.05
...
JC30	****137.492	***234.023	2249.647	****137.438	***234.023	2249.587	0.054	0.045	0.07	0.06
平面中误差: 0.088			高程中误差: 0.06							

5 总结

通过实践证明，飞马 D20 移动测量系统具有高分辨率、高效率、灵活简便、长航时等特点，其在高山密林的作业可以省略像控点的布设及测量，因此在大范围测区内，该系统可极大的提高工作效率，降低外业人员的工作难度及工作量，缩短整体任务周期。

不足的是，由于地区类型的复杂性以及点云数据的随机性，点云自动分类的关键技术有待进一步提升，同时，该作业方式在大范围的测区作业效果还有待进一步测试及验证。

参考文献:

- [1]李德仁,李明.无人机遥感系统的研究进展与应用前景[J].武汉大学学报(信息科学版),2014,39(05):505-513+540.
- [2]王勇,庞蕾,张学东,刘文茜,徐西桂,何曙光.基于 PhotoScan 的无人机航摄大比例尺 DOM 制作[J].矿山测量,2017,45(02):14-17+51.
- [3]代莉,牛建军,张亮,聂焱.基于机载 LiDAR 的 DEM 生产流程浅析[J].地理空间信息,2018,16(10):44-46+57+10.
- [4]孙亮. 无人机航摄系统测绘大比例尺地形图的精度分析[D].昆明理工大学,2017.
- [5]杨杰.基于 LiDAR 数据的 DSM 和 DEM 制作研究[J].科技资讯,2019,17(22):6-7.