

覆盖 1000 公里带状密林高山区的飞马机载激光雷达点云数据及正射影像

王晨旭, 代赫男, 张 涛

(辽宁众云图测绘科技有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 本文在飞马D20无人机上搭载DV-LiDAR10激光雷达, 并将其用于探测大高差、带状密林的高山区域。所探测的数据经激光点云技术处理, 即可获得高精度正射影像, 并绘制相应区域1:2000比例的地形图。

关键词: 飞马D20+LiDAR10; 仿地飞行; 大高差; 原始森林

Feima airborne LiDAR with point cloud and digital orthophoto map covering 1000 km banded dense forest high mountains

WANG Chenxu, DAI Henan, ZHANG Tao

(Liaoning Zhongyun Tu Surveying and Mapping Technology Co., Ltd, Shenyang 110000, China)

Abstract: The Feima D20 UAV (unmanned aerial vehicle) is equipped with D20-LIDAR10 light detection and ranging (LiDAR), which is applied to detect the banded dense forest high mountains. The detected data is processed by the LiDAR point cloud, and the high precision digital orthophoto map (DOM) could be obtained, which could be used to map the corresponding area topographic with 1:2000 scale.

Key words: Feima D20+LIDAR10; Fly in imitation; Big height difference; Pristine forest

1 项目背景

1.1 概述

传统的森林测绘通常采用野外实地测量, 并通过采点、抽样等方法来估算森林结构等相关数据。因而, 传统方法存在覆盖面积小、作业时间长、人力物力消耗大、精度与效率低等缺点^[1-3]。随着相关技术的发展, 机载激光雷达 (Airbone LiDAR, light detection and ranging) 技术已经能够快速、准确、高效地探测大范围的森林区域, 获得高精度的森林结构等数据, 并具有较强良好的抗干扰能力^[4,5]。该技术在调查森林资源等领域逐渐地得到广泛的应用。与正射影像技术相结合, 则能够进一步提高探测精度^[6,7]。因此, 本文在飞马

D20无人机上搭载DV-LiDAR10型激光雷达, 并将其用于探测大高差、带状密林的高山区域。通过激光点云技术处理相关探测数据, 获得高精度正射影像 (DOM, digital orthophoto map), 并绘制相应区域1:2000比例的地形图。

本文所探测的一部分区域位于集安市, 属于中低山区, 地处吉林省东南部, 位于东经125°34'33"~126°32'48", 北纬40°52'7"~41°35'18"之间。境内山峦重叠、沟谷纵横、山多地少, 属北温带大陆性气候, 其岭南具有明显的半大陆海洋性季风气候。

本文所探测出的另一部分区域位于图们市, 地处吉林省东部, 图们江下游, 位于北纬42°47'~43°13'、东经129°32'~130°12'之间。图们市的市区位于图们江、嘎呀河和布尔哈通河冲击

所形成的盆地，其四周为群山环抱。市区的地貌类型分为低山区、丘陵区、河谷平原区：其中，低山区分布于东北部，丘陵区分布于西南部。

本文所探测的路线如图1所示。路线起于集安市浑江口村，沿中朝界鸭绿江、图们江而行，环绕长白山天池，经集安市、苇沙河镇、临江市、干沟子乡、长白县、漫江镇、二道白河镇、崇善镇、南坪镇、三合镇等地，终于图们市。该段路线中，公路主线长972.27公里，比较线长175.8公里，工程采用一级公路技术标准。

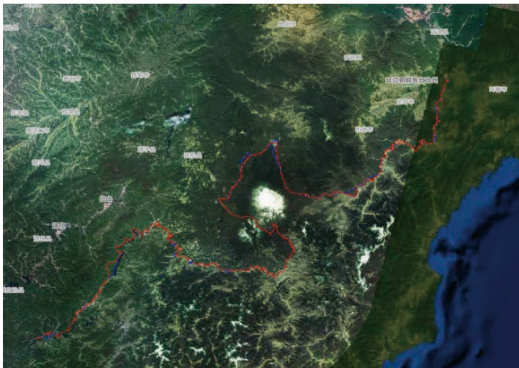


图1 路线走向图

2 成果主要技术指标

2.1 坐标系统要求

本文所采用的坐标系统如下：

- (1) 平面系统：2000国家大地坐标系。
- (2) 高程系统：1985国家高程基准。
- (3) 投影：3°带高斯投影，中央子午线126°、129°。

2.2 成图比例尺要求

本文所绘制成图的比例尺为1:2000。

2.3 成果要求

2.3.1 线划图成果要求

- (1) 提交数据格式为*.DWG格式。
- (2) 提交分幅图成果，采用带状分幅，分幅长度为1公里。
- (3) 正射影像分辨率0.2米。

2.3.2 正射影像图成果要求

- (1) 提交数据格式为*.TIFF。
- (2) 提交分幅图成果，按标准分幅进行分幅。

2.3.3 数字化地形图成果要求

- (1) 提交数据格式为*.TIFF。
- (2) 提交分幅图成果，按标准分幅进行分幅。
- (3) DTM高程插值中误差不大于0.2m。
- (4) DTM分辨率0.2米。

3 技术路线

本项目的成果包括数字化地形图（DLG）、数字正射影像图（DOM）及数字地形模型（DTM, Digital Terrain Model），并通过对测区范围内的地物、地貌采用内、外业结合的方法进行摄影测量及成图。本文首先根据测图区域的航空影像资料进行像控测量，再利用数字航片，在数字摄影测量系统的基础上，采用光束法区域网空三加密对像控成果进行加密，建立测区模型，最终生成项目区范围内的数字正射影像图及数字地形模型。

激光雷达数据测量作业的生产环节，主要包括航摄设计、航摄数据采集、数据预处理、激光数据分类、数字正射影像图、及数字地形模型等步骤。各步骤的具体作业内容如下：

数据采集：外业数据采集选择飞马D20+LiDAR10进行作业，采集激光点云数据的同时获得影像数据，无人机的航高300米，航向重叠60%，旁向重叠80%。

数据处理：LiDAR数据轨迹解算采用IE（Inertial Explorer 8.70）点云数据的解算基于无人机管家智激光进行，从而得到高精度点云数据，再利用无人机管家智点云模块进行点云数据的分类，提取出高精度地面点，生成高精度DEM。

DOM数据生产采用无人机管家智拼图模块，因为测区纹理较弱、高差较大，所以管家处理更为容易一次通过空三。

DLG生产采用集成化较高的易绘eFeature空间数据生产加工平台进行采集和编辑作业。

4 工作流程

本文所采用的作业流程大致如下：数据准备；航线规划；像控布设；外业航飞；数据整理；内业处理；成果精度检查与保存。

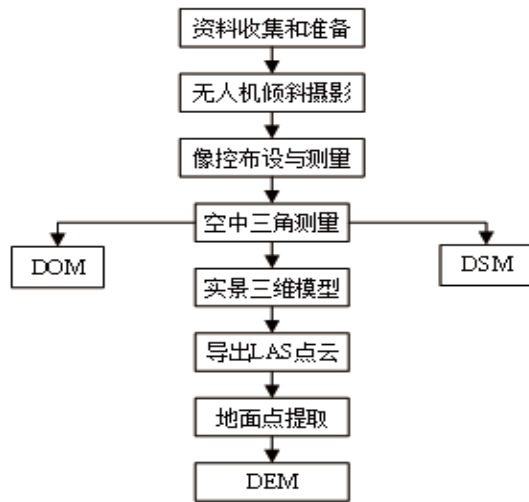


图2 技术流程图

4.1 外业数据采集

4.1.1 准备工作

在正式作业前，需要进行资料收集和准备工作。大致工作如下：收集测区相关资料，制定无人机倾斜航拍技术方案，明确测区范围、地面分辨率、影像重叠度、飞行航高飞行架次等信息，进而实行飞行作业。

4.1.2 硬件设备

本文所采用的无人机和LiDAR设备如下：

(1) 无人机设备

飞马D20型号无人机拥有如下优势：①纯电动平台、电池共用，降低使用成本；②共载荷设计，适应多场景应用；③高集成、高性能、高可靠性无人机平台；④高精度成图；⑤一站式软件解决方案，基于飞马云的主动式服务；⑥支持网络RTK及PPK解算。

该型号无人机的具体参数如表1所示。



图3 飞马D20型号无人机

表1 无人机系统参数

材质	碳纤维+镁铝合金
对称电机轴距	1.65m
机体高度	0.6m
驱动方式	电动
电机数量	6pcs
起飞重量	21kg
最大荷载重量	6kg
巡航速递	18m/s
续航时间	80min@1kg荷载， 50min@6kg荷载
起降方式	无遥控器垂直起降
定位精度	±1cm+1ppm（水平）， ±2cm+2ppm（垂直）
最大爬升速度	5m/s
最大下降速度	5m/s
实用海拔升限	6500m
抗风能力	6级
控制距离	50km
工作温度	-20°C-50°C
包装运输箱	铝合金设备箱EVA内衬
任务响应时间	展开≤10min，撤收 ≤10min
载荷模块	航测模块\倾斜模块\遥感模块 \激光雷达模块\视频模块 \合成孔径雷达模块

(2) LiDAR设备

LiDAR10型号拥有下列优势：

①高精度、高精细度

该型号生成的点云数据的精度如图4所示。从中可以看到，该型号LiDAR的精度和精细度均达到较高的水准。

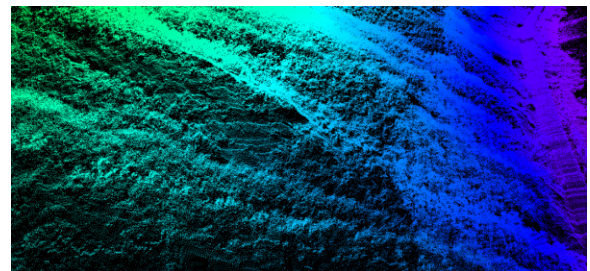


图 4 点云精细程度

②穿透力强

该型号LiDAR的穿透情况如图5所示。从中可以看到，该型号LiDAR的穿透能力均达到较高的水准。

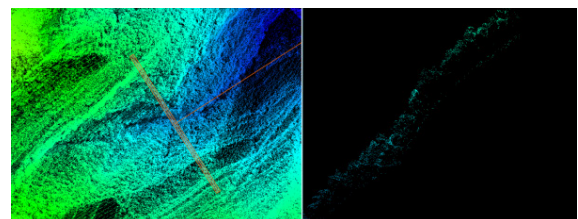


图5 点云穿透情况

- ③ 高点频
- ④ 长测距1500m
- ⑤ 点云与正射影像一次性采集完成



DV-LiDAR10激光雷达模块

图6 DV-LiDAR10激光雷达模块

该型号LiDAR的概貌如图6所示，具体参数如表2所示。本文作业的具体参数如表3所示。包括航高、激光脉冲、最大测距、最大点密度、作业面积、一天飞行和航程等信息。

表2 载荷参数

激光	测距模式	TOF
	激光等级	Class1
	波长	1550nm
	点频	1000kHz
	回波数	7
	测距	1500m ($\rho > 80\%$)
	测距精度	$\pm 5\text{mm}@100\text{m}$
	水平视场角	75-90°
	回波强度	8bits
	工作温度	-20-55°C
POS	水平定位精度	0.01m
	高差定位精度	0.02m
	横滚\俯仰精度	0.005°
	航向角精度	0.017°
	GNSS数据更新频率	20Hz
	惯导数据更新率	600Hz
相机	有效像素	4200w
	传感器尺寸	35.9mm×24mm
	焦距	18mm
	视场角度	90°

表3 作业效率表

平台	航高	激光脉冲	最大测距	最大点密度	作业面积	一天飞行	航程
	m	kHz	m	Pts/m ³	km ²	km ²	km
D20	100	1000	150	655	5.78	34.70	50
	150	500	300	227	8.34	50.05	
	250	300	500	87	13.07	78.41	
	350	250	600	54	17.40	104.40	
	450	200	750	35	21.42	128.54	

4.1.3 像控点布设

像控点布置对测绘结果的质量至关重要。本文所布置测控点的信息如下：

(1) 控制点布设

控制点间按照平均1km的距离布设，对测区内情况进行分析，预选像控布置位置，结合实地情况，制作L型标志。

(2) 控制点选点时，点位应满足下列要求：

- ① 便于安置接收设备、视野开阔、现场内障碍物的高度角不宜大于15°；
- ② 远离大功率无线电发射源（如电视台、微波站等），其距离不小于200m；远离高压输电线和微波无线电信号传送通道，其距离不得小于50m；
- ③ 附近不应有强烈反射卫星信号的物体（如大型建筑物）；
- ④ 点位基础稳固、有利于长期保护、减少保护成本、便于管理；
- ⑤ 观测条件较差的点位，要砍掉树枝等方式创造更好的观测条件。



图7 像控布置局部图



图8 像控布设

4.1.4 航线规划

航线的规划对作业的效率 and 精度同样有着不可忽视的影响。根据地形特点，本文充分利用D20无人机仿地飞行模式，对于高差较大的地方进行变高飞行规划。

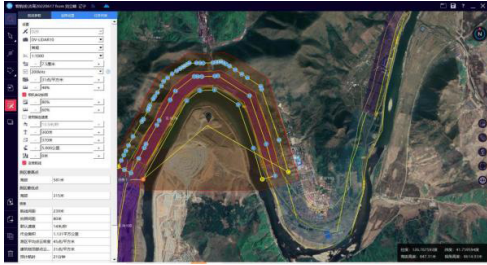


图9 航线规划界面



图12 POS解算界面

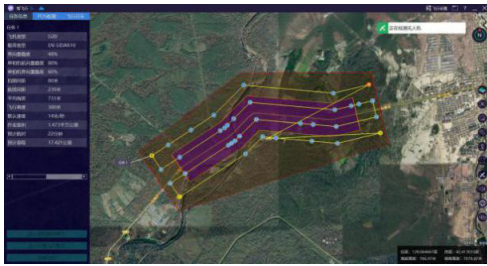


图10 飞机飞行界面

4.2 数据解算

4.2.1 POS解算

考虑到该区域网络环境差，本文采用融合解算方式以保证测绘的精度。该解算方式有后差分 and 实时差分两种模式。在解算数据时，本文优先使用后差分，如果后差分不固定的时候会有实时差分补进去，以保障精度。

本文采用无人机管家智理图模块中进行高精度POS数据转换，具体细节如下：

- (1) GPS格式转换。
- (2) 导入POS信息。
- (3) 坐标转换。

相关的参数设置如图11和12所示。



图11 导入数据界面

4.2.2 点云数据解算

本文采用管家智激光解算点云数据。主要步骤包括：点云解算；特征提取；航带平差。解算过程如图13所示。

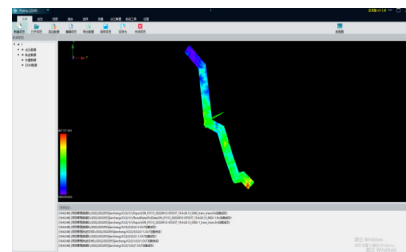


图13 点云解算界面

4.3 数据处理

4.3.1 DOM数据处理

本文采用管家智拼图模块对LIDAR20采集的影像信息进行处理生成DOM，具体步骤如下：

- ①添加影像及POS数据；
- ②自由网空三：特征提取及匹配、空三计算、PPK；
- ③刺控制点；
- ④平差优化；
- ⑤TDOM\DSM生成。

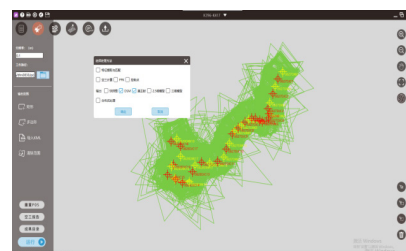


图14 生成DOM界面

本文所生成的空三精度报告平面10公分以内，高程20公分以内，满足项目要求。

深圳飞马机器人科技有限公司

空三报告

FEIMA
ROBOTICS
v3.8.7.7

控制点残差

ID	TYPE	DX	DY	DZ
Y0815a01	XYZ	-0.016	-0.003	0.116
Y0815a02	XYZ	-0.009	-0.020	0.108
Y0815a03	XYZ	0.018	0.017	-0.001
Y0815a04	XYZ	0.002	-0.020	-0.006
Y0815a05	XYZ	0.003	-0.007	-0.009
Y0815a06	XYZ	0.029	0.002	-0.007
Y0815a07p02	XYZ	-0.005	0.019	0.110
Y0815a08	XYZ	-0.008	-0.030	0.032
Y0815a10	XYZ	-0.010	-0.006	0.012
Y0815a12	XYZ	-0.002	-0.026	-0.000
Y0815a14	XYZ	0.016	0.008	-0.016

控制点中误差

ID	DX	DY	DKY	DZ
Control_Point	0.021	0.024	0.002	0.071

图15 空三报告界面

4.3.2 点云数据处理

本文采用智激光进行点云坐标转换，转换效果如图16所示。

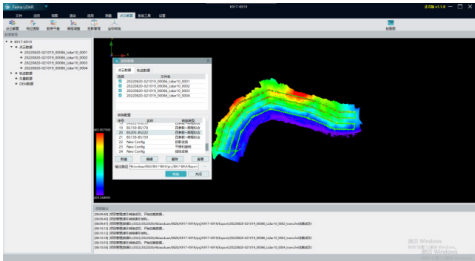


图16 点云坐标转换界面

点云数据的精度如图17所示。基本满足要求。

<input checked="" type="checkbox"/>	0818D:	26265.01	4. ...	357.87	-0.051
<input checked="" type="checkbox"/>	0818D:	26492.75	3. ...	361.59	-0.100
<input type="checkbox"/>	0818I:	26380.16	8. ...	364.79	--
<input checked="" type="checkbox"/>	0818D:	25933.64	4. ...	362.92	-0.099
<input checked="" type="checkbox"/>	0818	25414.25	4. ...	364.09	-0.065
<input checked="" type="checkbox"/>	0818D:	25118.66	8. ...	364.97	-0.113
<input checked="" type="checkbox"/>	0818	24991.16	7. ...	365.79	-0.103

图17 点云精度检查界面

4.3.3 DEM生产

本文采用智点云进行点云地面点分类提取直接自动分类地面点，分类有漏洞或者过滤不好的地方调整参数进一步过滤。分类地面点界面如图18所示。

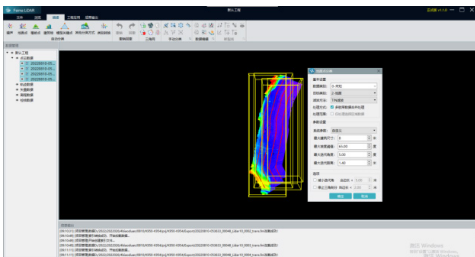


图18 分类地面点界面

关于地面点分类有问题之处，本文手动分类编辑。手动分类主要是分类出去不能自动分类的结果，或者自动分类错的点，参照DEM进行检查与修改。手动编辑过程如图19所示。

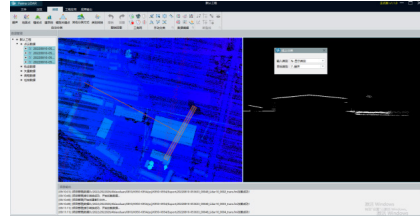


图19 手动编辑界面

本文挑取分类好的地面点导出生成DEM，如图20所示。

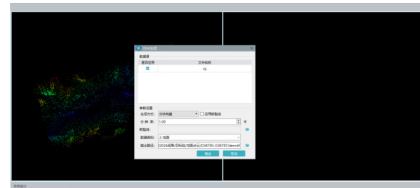


图20 DEM生成界面

DEM精度检查

DEM文件: EML.tif

检查点文件格式: ID X Y Z

ID	X	Y	Z	DZ
21 J08	3072.907	80205.304	113.755	
22 J3	8843.480	80408.013	115.029	-0.112
23 J4	300.900	80308.005	111.102	
24 Y0379	9888.019	81337.471	115.002	-0.076
25 J9	507.891	81337.626	115.081	-0.151
26 J5	27681.980	82447.147	119.117	-0.109
27 J10	416.097	115.559	118.090	-0.084
28 J6	88.711	7887.602	116.254	-0.060
29 J11	19.652	16.301	116.519	-0.065
30 J7	31.897	1178.895	116.784	-0.106
31 Y0376	56.191	817.691	117.850	-0.098
32 J12	23.014	8774.823	119.373	-0.045
33 J8	915.970	80262.562	120.156	
34 J9	387.333	80306.990	117.773	
35 J13	942.749	805721.724	120.103	

图21 DEM精度检查界面

DEM精度如图21所示，满足高程20公分以下。

4.3.4 DLG数据生产

关于项目矢量数据采集，本文使用易绘eFeature空间数据生产加工平台进行采集和编辑作业。具体过程如图22和23所示。

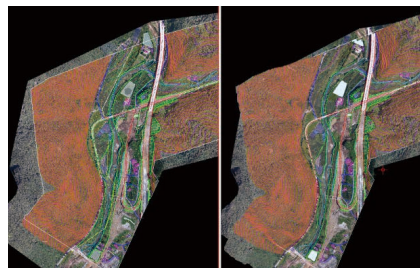


图22 DLG采集界面1

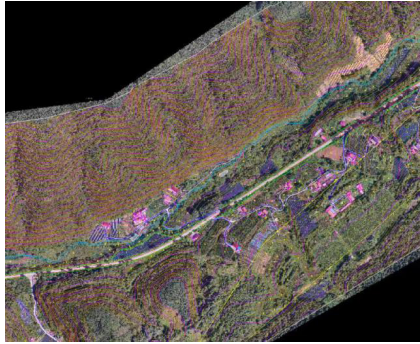


图23 DLG采集界面2

5 结论

本文的测绘在一个月内顺利完成，利用飞马D20无人机搭载LiDAR10系统在工程测绘应用中达到预期目标。

(1) 在人力资源不足、测区植被多、高差大、工期紧张和测量精度要求高等多方面要求的情况下，本文提供了相应的解决方案。其中，无人机管家全流程的操作模块大幅度地减少数据用不同软件处理来回转换精度的损失，同时能够获取影像雷达数据，节约了外业的成本和降低了劳动强度，显著地提高外业的工作效率，顺利的按时完成项目的测量任务。

(2) 飞马无人机管家系统充分的实现了内外业一体化，全流程的覆盖，为工程建设提供了准确、快速、高效获取高精度测量数据。具备较高的实用性和推广价值。

(3) 无人机载雷达海量高精度点云数据，快

速获取地表三维模型数字产品。为相关领域作业提供了全新的思路和方法。随着科技技术的不断发展，飞马D20系列将具有良好的发展前景。

参考文献：

- [1] 朱超. 耦合机载激光雷达与正射影像图的深度学习单木分割方法研究 [D]; 长春工程学院, 2021.
- [2] Hamraz H, Contreras M A, Zhang J. A robust approach for tree segmentation in deciduous forests using small-footprint airborne LiDAR data [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016, 52: 532-41.
- [3] Koch B. Status and future of laser scanning, synthetic aperture radar and hyperspectral remote sensing data for forest biomass assessment [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010, 65(6): 581-90.
- [4] 朱璟. 多期机载激光雷达森林点云匹配与单木变化检测方法研究 [D]; 武汉大学, 2021.
- [5] 庞勇, 李增元, 陈尔学, et al. 激光雷达技术及其在林业上的应用 [J]. 林业科学, 2005, (03): 129-36.
- [6] 张华敏. 数字正射影像图的应用及实践 [J]. 江西测绘, 2015, 3: 53-4.
- [7] 徐璐. 数字正射影像图的应用及实践 [J]. 中国科技期刊数据库 工业B, 2015: 387-8.