

# 机载激光雷达技术在复杂地形测绘中的应用研究

吴杰 王钦裕 洪基坤 刘雅英 赖权 颜以财

【合浦县自然资源信息中心】

## 摘要:

本文以北海市合浦县白沙镇龙江村某丘陵测区为例,探讨机载激光雷达技术在复杂地形测绘中的应用,开展点云数据的采集处理工作,获得数字高程模型(DEM)、数字地表模型(DSM)和数字线划图(DLG)三种类型的测绘成果。通过野外采集检测点对点云数据进行精度分析,验证了机载LiDAR技术能够满足1:2000比例尺下地形图测绘的生产要求,在复杂地形测绘中具有良好的适用性。

## 关键词:

机载激光雷达; 点云数据处理; 地形图; 精度分析

## Research on application of airborne radar technology in complex terrain mapping

### Abstract:

In this paper, the application of Airborne Lidar Technology in surveying and Mapping of complex terrain is discussed, and the collection and processing of point cloud data is carried out, the surveying results of Digital Elevation Model (Dem), digital land surface model (DSM) and digital line drawing (DLG) are obtained. By analyzing the precision of point cloud data from field collection points, it is verified that the airborne LiDAR technology can meet the requirement of 1:2000 scale topographic map surveying and mapping and has good applicability in complex topographic surveying and mapping.

### Key words:

Airborne Lidar; point cloud data processing; Topographic Map; accuracy analysis

## 1 引言

近年来,在无人机上搭载激光雷达成为了对地观测领域的一个发展方向。相比于传统的航空摄影测量,它可以穿过植被遮挡而直接获取地表信息,不易受天气等自然因素影响。而相比于RTK测量,它能够从人工单点数据的获取变为自动连续获取数据,节省了大量的人力和物力,对大范围地理空间对象能够实时获取三维坐标数据<sup>[1]</sup>。因此,在复杂的山区测量中,机载雷达技术占据着一定的优势。

为了验证无人机机载雷达在获取地形数据中的实际精度,选取了植被较为茂密的丘陵地区开展了相关的研究。

## 2 获取点云数据

### 2.1 研究区概况

研究区域位于北海市合浦县白沙镇龙江村,是一片由私人承包的植被覆盖茂密的丘陵,占地 2.532 公顷,地势从东北至西南中间低两边高,西北面就是玉铁高速路,西面多村落,具体位置如图 1。

现在需要获取研究区域的 1:2000 地形图,一方面测区的面积大,地势相较于平原要陡峭,另一方面植被覆盖茂密,无法用传统测量的手段高效完成任务,基于对环境和测绘成本因素的考量,选择机载雷达技术对该区域进行地形数据的获取。

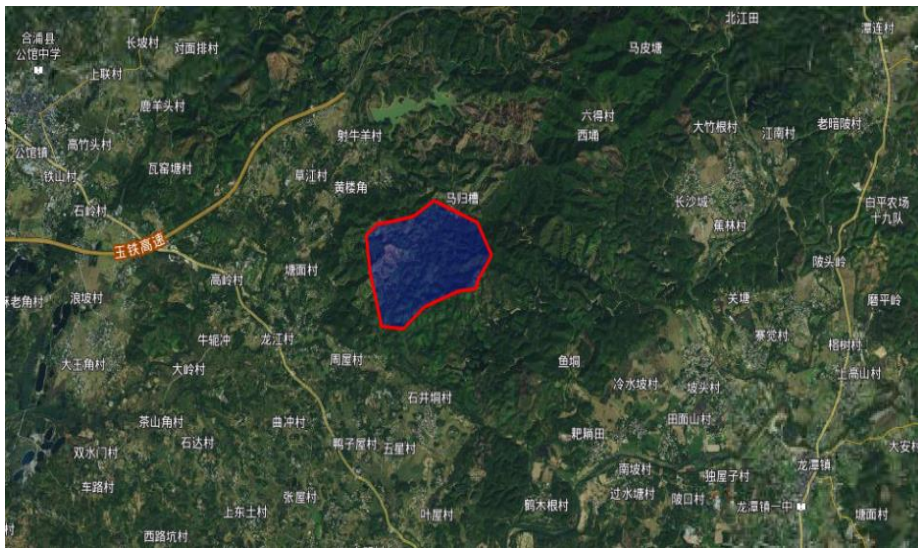


图 1 研究区具体位置

### 2.2 航摄准备

航摄任务开展前,定制严密的飞行计划,提前向所属空域管辖部门进行空域申请报备。同时,要收集好测区的气象资料和已有的测量成果<sup>[2]</sup>,对测区进行实地勘测,了解飞行范围,制定技术方案。

本次实验采用的是飞马 D2000 旋翼机,抗风能力 5 级,搭载索尼-6000 型号的相机。激光雷达为飞马的 LiDAR2000,同时利用飞马无人机管家系统对无人机飞行进行监控。设置航

高为 112m, 航向重叠度为 60%, 旁向重叠度为 30%, 飞行速度为 14m/s, 航线间距为 63m。飞马 D2000 旋翼机通过千寻账号连接当地的 CORS 系统, 可以省掉地面 RTK 基准站的布设。

### 3 点云数据的处理

点云数据的处理包括预处理、过滤、分类这三个关键步骤, 最后利用分类后的地面点云生成数字高程模型。预处理得到的点云格式, 包含地物的大量坐标信息<sup>[3]</sup>。过滤是去噪的过程, 去除一些不需要的点云。分类的目的是为了提取地面点, 方便后续生成精细化数字化产品。在本次研究中, 主要在 LiDAR360 软件平台上对数据进行处理。

#### 3.1 点云去噪

激光雷达搭载在无人机上, 发出激光束打在目标物体上, 激光束经过多次反射, 才被激光扫描仪接受到物体的信息, 这些信息中包含着部分噪点信息。造成噪点的原因可分为两类: 当机载 LiDAR 系统工作时, 激光会打在空中漂浮物质上, 如鸟类、云等, 这些物体信息会同样被系统所接收; 再者, 由于激光测距仪的误差或者激光束反射的多路径误差导致产生的极低点, 这也属于噪声形成的原因<sup>[4]</sup>。这些点明显高于或低于周围点云的平均高程, 影响着点云数据的质量。因此得到点云数据后, 不能即可对数据进行分类操作, 必须对点云数据进行去噪处理, 去噪结果如图 2 所示。

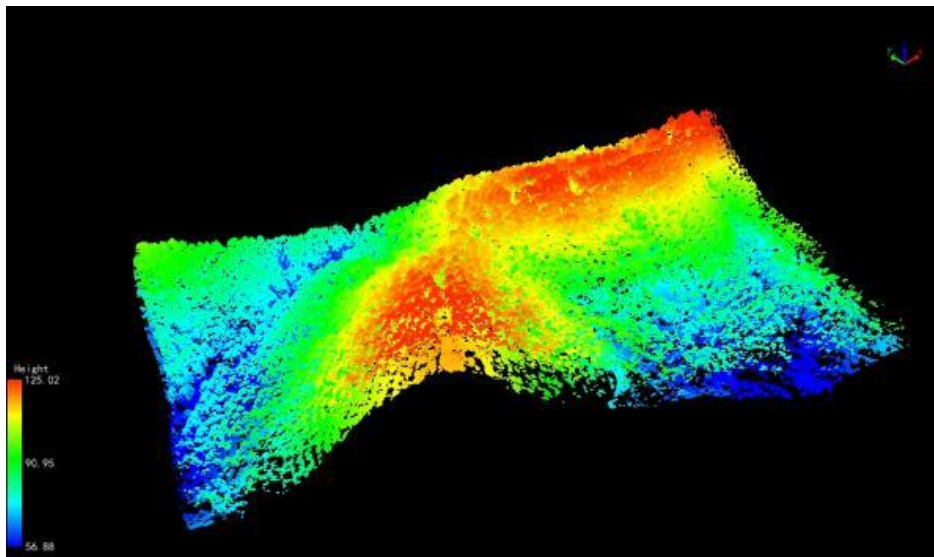


图 2 去噪结果

#### 3.2 点云自动分类

点云的自动分类，是依据不同地表物体的反射强度、回波次数、形状特征等不一样而设置的算法，将不同类别的地物点一一自动划分归类<sup>[5]</sup>。对于裸露的地表而言，没有任何物体遮盖，激光扫描仪投束下来的激光仅仅只有一次回波，呈波的回射，地表距离最远，因此运动时间最长的电磁波的反射点才为地面点<sup>[6]</sup>。按照回波特征，点云的自动滤波会依照相应的地面坡度阈值进行迭代计算，直至分离出合理的地面点为止。地面点分类结果如图 3 所示。

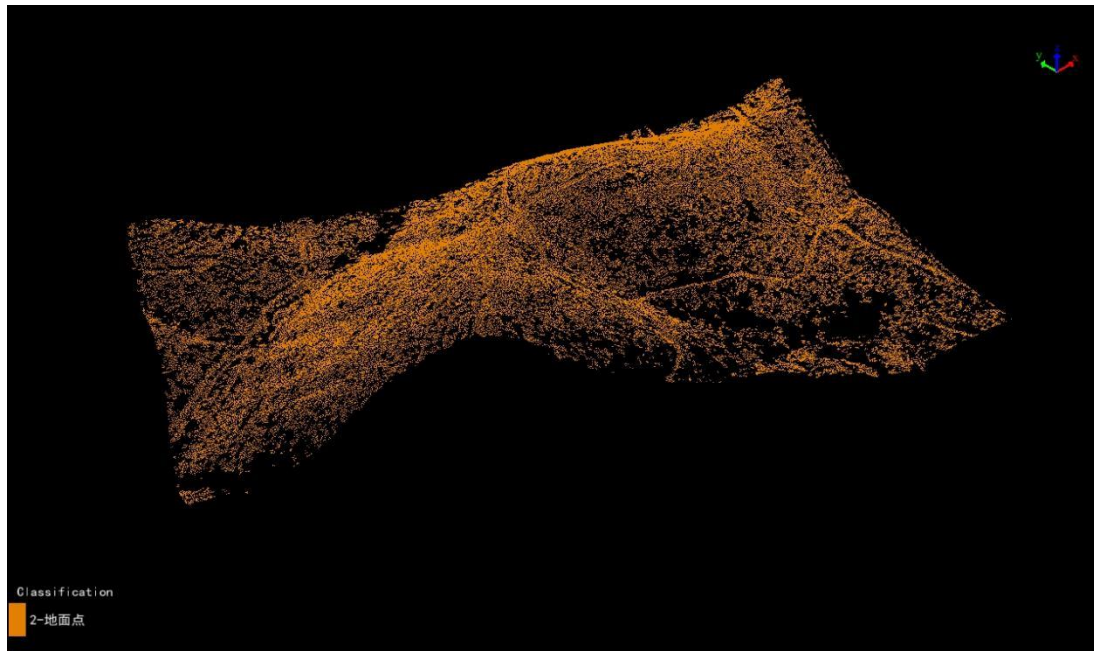


图 3 地面点分类成果

### 3.3 手工分类编辑

基于 LiDAR360 软件可进行快捷方便的分类，可以分离出大部分的地面点云和非地面点云，但是还是存在着有少部分点云分类错误的现象。在分类地面低点和地面点的时候，错把是植被的点云归类为地面低点，如图 4 所示。对于此类离散的点云数据，可以使用剖面工具，将归类错误的点云重新分类正确，如图 5 所示。最后对比正射影像，检查点云的分类，进行生产数字化产品。

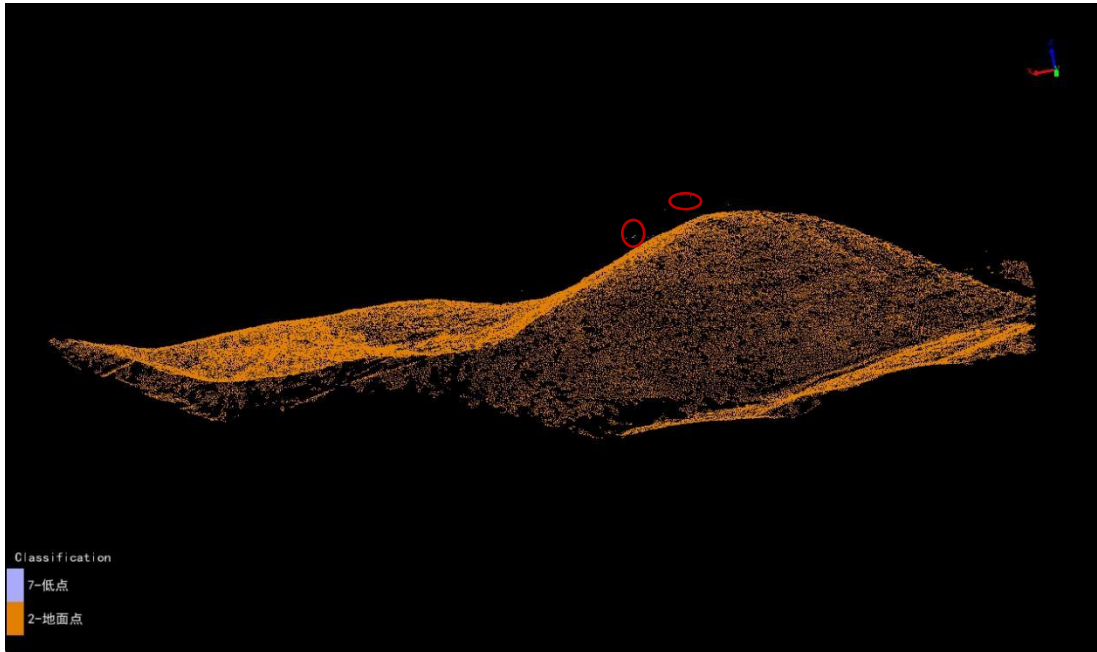


图 4 分离地面点和地面低点

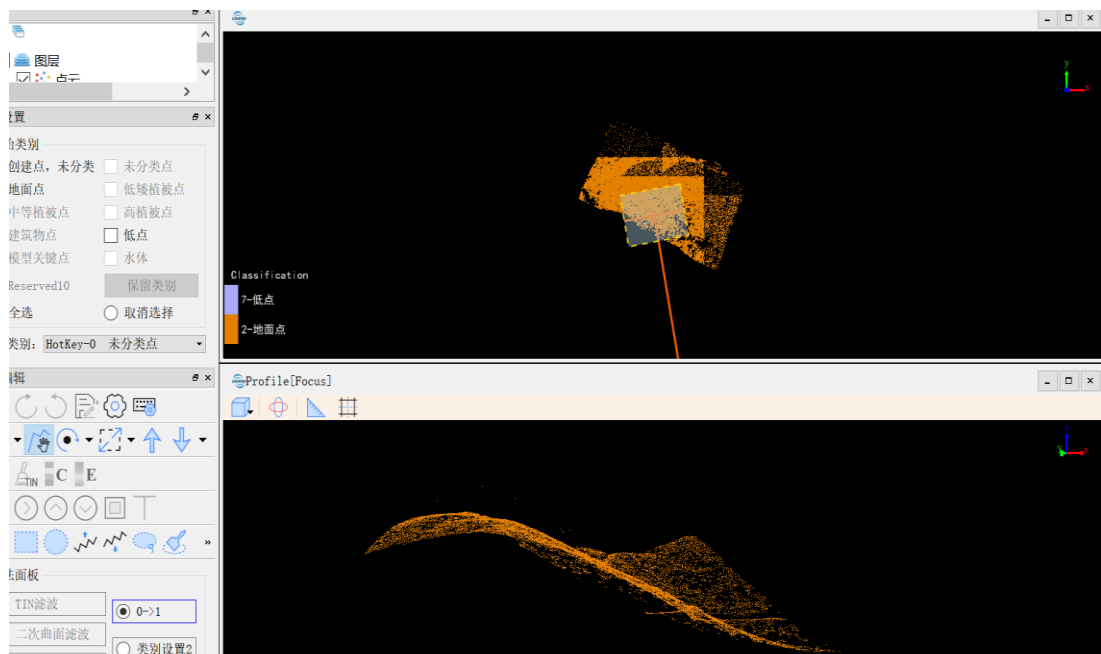


图 5 人工分类

## 4 成果输出

### 4.1 数字高程模型和数字表面模型

数字高程模型 (Digital Elevation Model) 是对地面地形的数字化表达，基于丰富的地面高程数据便可建立起来，因此数字高程模型需要用到分类后的地面点。在 LiDAR360 中将 2 米设置为合适的采样间隔，使用反距离权重插值的方法制作 DEM。分类后的地面点有缺

漏，在使用软件提供的补洞选项时，生成的 DEM 有所区别，如图 6、图 7 结果所示。

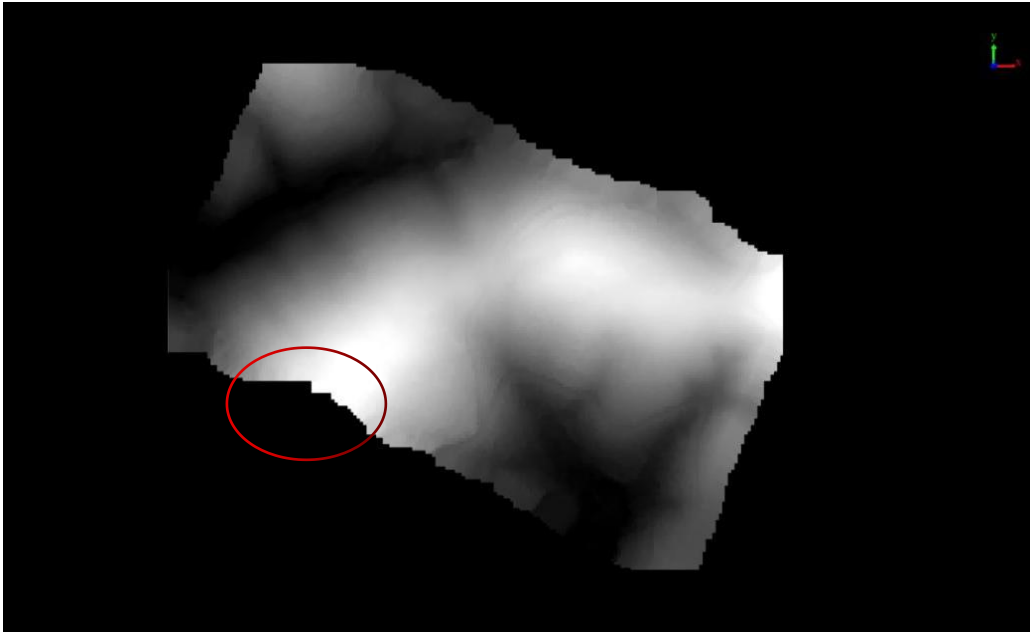


图 6 直接生产的 DEM

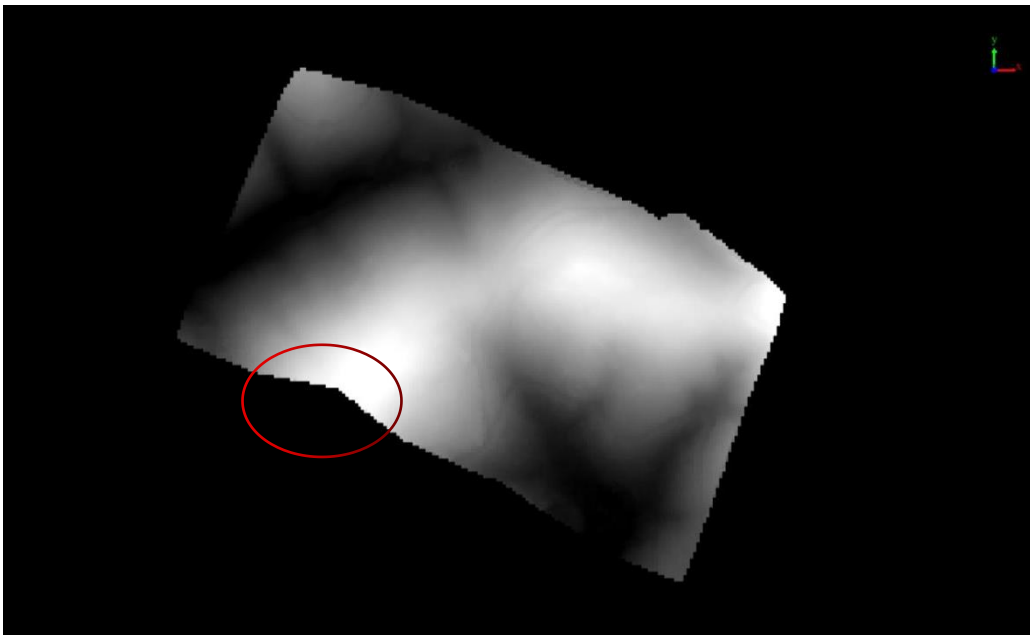


图 7 补洞生产的 DEM

数字地表模型 (Digital Surface Model) 是地表情况的反应，在完成点云的去噪处理后，与 DEM 选择同样的反距离权重插值的方法生成 DSM，如图 8 所示。

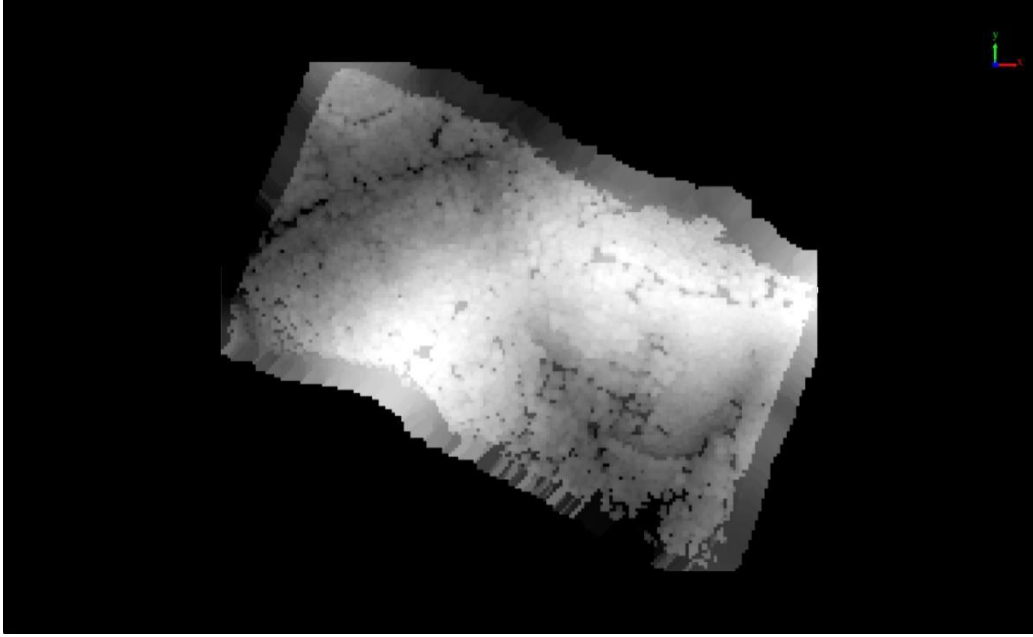


图 8 数字表面模型 (DSM)

## 4.2 数字线划图

根据《1:2000 地形图图式规范》在南方 CASS10.0 中导入点云数据进行处理, 绘制地物, 得到 1:2000 比例尺下的地形图, 如图 9。

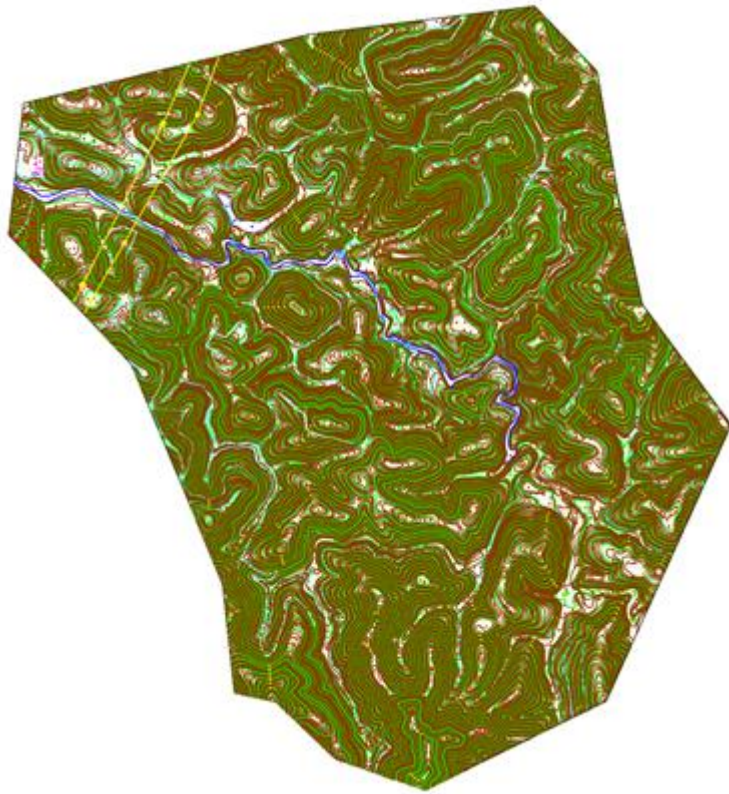


图9 1:2000 地形图

## 5 成果精度比对

在实测区内用 RTK 实测了 41 个点，用来对比机载激光雷达获取的点云平面精度和高程精度。经过检验，这些点的高程中误差为 0.0476m，平面中误差为 0.44m，其中部分检查点如表 1 所示。根据《1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量外业规范》，符合山区测图的标准。

表 1 检查点坐标分析表

ID (点号)	H (激光) (m)	Z (RTK) (m)	DZ (误差) (m)
1	54.902	54.905	-0.003
2	56.782	56.742	-0.04
3	63.43	63.333	-0.097
4	70.612	70.553	-0.059
5	76.981	76.95	-0.031
6	61.949	61.92	-0.029
...	...	...	...
36	48.451	48.423	-0.028
37	49.592	49.63	0.038
38	50.424	50.426	0.002



39	48.832	48.841	0.009
40	49.851	49.899	0.048
41	51.553	51.546	-0.007

$$\text{高程中误差 } d = \pm \sqrt{\frac{\Delta^2}{n}} = \pm 0.0476\text{m}$$

ID (点号)	实测 x(m)	量测 x(m)	Dx(m)	实测 y(m)	量测 y(m)	Dy(m)
1	***111.851	***111.75	0.101	***298.757	***298.27	0.487
2	***134.247	***134.139	0.108	***294.231	***294.333	-0.102
3	***166.481	***166.719	-0.238	***292.303	***292.427	-0.124
4	***204.512	***204.396	0.116	***296.83	***297.135	-0.305
5	***244.55	***245.176	-0.626	***310.827	***311.461	-0.634
6	***144.42	***143.98	0.44	***299.631	***299.513	0.118
...	...	...	...	...	...	...
36	***657.615	***656.87	0.745	***737.684	***737.108	0.576
37	***666.478	***666.407	0.071	***714.819	***714.952	-0.133
38	***691.036	***691.264	-0.228	***683.006	***683.587	-0.581
39	***679.29	***678.788	0.502	***658.791	***659.548	-0.757
40	***657.387	***656.993	0.394	***519.825	***519.717	0.108
41	***660.417	***660.528	-0.111	***470.727	***470.974	-0.247

$$\text{平面中误差 } m = \pm \sqrt{\frac{\Delta^2}{n}} = \pm 0.44\text{m}$$

## 6 结论

机载 LiDAR 技术是继 GPS 以来在测绘遥感领域的又一场技术革命,是当今世界上最先进的对地观测系统。本文以北海市合浦县白沙镇龙江村的一片丘陵测区为例,探索机载雷达技术在测量复杂地形上应用。通过实践发现:相比于传统的测量方式,机载 LiDAR 技术在开展复杂地形的测量时,能够节省大量人力物力,缩短时间成本,能够穿透植被获得地形数据,同时它数字化程度高,能够自动采集数据,工作效率高,在复杂地形测绘上具有良好的适用性。

## 参考文献:

[1] 景钦刚,陈敬军. 基于激光雷达技术的架空线路勘测设计一体化方案[J]. 测绘技术装备, 2010, 12(04): 42-43.

[2] 彭祥国,杨智翔,王学剑,易志朝. 无人机 LiDAR 技术在水利水电工程中的应用[J]. 测绘标准

化, 2020, 36(4):38-42.

[3] 丁华, 张辉. 无人机机载激光雷达在输电线路巡线中的应用[J]. 机电信息, 2021(3):10-11+14.

[4] 赵夫群, 周明全. 层次化点云去噪算法. 光学精密工程, 2020, 28(7):1618-1625.

[5] 王隽. 基于机载 LiDAR 数据的 DEM 生产流程[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(10):204-207

[6] DEWHURSTWT. NADCON: the application of minimum-curvature-derived surfaces in the transformation of position data from the North American datum of 1927 to the North American datum of 1983[R]. Rockville: NOAA Technical Memorandum, 1999.