

# 机载激光雷达在密林山区地形测绘中的应用与质量分析

谢飞<sup>1</sup> 黄旺<sup>2</sup> 李泽邦<sup>1</sup> 保奇鹏<sup>1</sup>

1. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司 云南昆明 650033

2. 云南省地图院 云南昆明 650034

**摘要:** 随着激光雷达技术的不断完善,相关技术和产品逐渐应用于各个领域。机载激光雷达配备了高精度惯导、测绘相机、云台等模块,能够形成一体化的地形测绘方案,轻松实现全天候、高效实时的三维数据采集和复杂场景下的高精度后处理与重建。本文主要探讨了传统激光雷达系统在地形图测绘中存在的问题,梳理了新型机载雷达密林山区地形图测绘的过程,并结合实验分析了机载雷达在密林山区地形图测绘中的应用优势。

**关键词:** 机载激光雷达;密林山区地形测绘;应用与质量

## Application and quality analysis of airborne Lidar in terrain mapping of dense forest and mountainous areas

Fei Xie<sup>1</sup>, Wang Huang<sup>2</sup>, Zebang Li<sup>1</sup>, Qipeng Bao<sup>1</sup>

1. Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd. of China Power Construction Group, Kunming, Yunnan, 650033

2. Yunnan Map Institute, Kunming, Yunnan, 650034

**Abstract:** With the continuous improvement of Lidar technology, related technologies and products are gradually applied in various fields. Airborne LiDAR is equipped with high-precision inertial navigation, mapping camera, head, and other modules, which can form an integrated topographic mapping scheme, easily realize all-weather, efficient and real-time three-dimensional data acquisition and high-precision post-processing and reconstruction in complex scenes. This paper mainly discusses the problems existing in the topographic map mapping of the traditional lidar system, sorts out the process of the new airborne radar topographic map mapping of dense forest and mountainous areas, and analyzes the advantages of airborne radar application in the topographic map mapping of dense forest and mountainous areas combined with experiments.

**Keywords:** airborne lidar; Topographic mapping of dense forest and mountainous areas; Application and quality

随着光电技术的发展和应用需求的推动,国内外涌现了一大批致力于高精度测绘的激光雷达厂家和产品。这些激光雷达在地形测绘应用中存在以下问题:(1)点云密度较低,会导致植被覆盖区域下的地面点数量较少,以致无法更建立一个更精确的模型,且建筑特征点如房角等位置可能缺少点云,在进行DLG绘制时,需要通过拟合得到这些特征点,导致DLG的成图精度降低;(2)激光测程较短,需要在地形落差较大的区域划分更多区块完成采集作业,从而降低了操作效率。另外,后期需要对不同块的点云结果进行拼接,拼接误差也会影响点云的精度。

### 一、机载激光雷达的关键技术

无人机激光雷达测量系统由硬件系统和软件系统两

部分组成。硬件系统主要由激光雷达、无人机和地面站组成。在整个系统中,激光雷达与无人机载系统高度集成,借助激光雷达的硬件和软件系统,快速获取高精度的激光雷达点云数据,然后通过配备的自动点云数据处理软件,快速生成高精度的数字地图数据。机载激光雷达检测是一种利用光电检测来获取目标位置的新技术,它使用激光器作为发射光源。当光源与目标相遇时,返回到激发端。距离可以通过探测发射端和接收端激光的时间或相位来得到。光学雷达采用主动探测和直接测距的工作模式,具有多回波的独特特性,因此具有以下技术特点:

(1) 高精度:动态时为厘米级,静态时测量已达到毫米级精度;

(2) 效率高: 外业内业均可快速自动处理;

(3) 自动化: 计算机自动处理, 基本无需人工干预;

(4) 全天候: 采用主动遥感模式, 基本不受外界光照条件影响, 也可以在夜间作业和应急时使用;

(5) 穿透性: 多回波技术, 可以穿透树木提取地表真实信息。

新型机载激光雷达系统的基本技术与传统机载激光雷达系统相同。两者均采用主动测量法。该系统由激光测距系统、定位定姿确定系统和同步控制系统组成。它为获取地表地形和地物的三维信息提供了一种新的途径。具有自动化程度高, 受天气因素影响小, 数据处理和生产时间短, 精度高的优点。在测距技术方面, 由于脉冲测距仪能发出强激光, 测量距离长, 测距能力强, 新型机载激光雷达也采用脉冲测距方式。其原理是激光器向目标发射光脉冲, 光到达目标后被部分反射。根据光从发射到接收机的时间, 可以计算出测距仪与目标之间的距离。

## 二、无人机载激光雷达在地形测绘中的应用

### (一) 测区概况

在密林山区地形测绘中, 整个密林山区地形复杂, 植被茂盛且以林木和灌木为主, 道路交通条件比较便利。从保证测绘质量和提高测绘效率的角度出发, 采用无人机载激光雷达进行测绘。

### (二) 像控点的布设和测量

像控点设置原则: 像控点的精度和数量直接影响航测数据后处理的精度, 因此像控点的布置和选择应尽量规范、严格、准确。像控点选择在图像明显的地物点、地物拐角点、接近正交的线状地物交点或固定的点状地物上, 局部高程变化不大, 周边相对平坦。当没有明显地物时, 采用事先准备好的测量标靶板。像控点测量: 平面坐标和高程测量方法均采用 CORS 系统直接测量像控点的坐标和高程, 使用 GNSS 设备连接千寻 CORS。手簿中加载全球超高阶地球重力场模型 EGM2008 并测测已知点, 平面坐标和高程精度达到 1: 500 地形图的根点精度。

### (三) 测绘数据的获取

此次设计航线, 考虑到扫描仪有效距离范围, 以及测区高差比较大的情况, 对测区进行区域划分, 按照不同高度两个架次进行飞行。同时, 考虑到项目的实际情况, 无人机配备了数码相机, 像素高, 可以获得相对清晰的照片。此项目外业作业时间分配: 初步勘探 3 天; 有效数据采集时间: 1 天; 激光雷达数据解算以及验证点采集 1 天。

## (四) 数据处理

无人机载三维激光雷达测绘数据处理关键工作包括数据预处理、点云数据滤波、异常点滤波、地物分类提取等四个部分。其算法有数学形态学滤波法、基于表面的方法、基于分割的方法以及逐渐加密的滤波算法等。本次采用的是渐进窗口尺寸的数学形态学滤波算法, 由小到大渐进式对点云数据进行滤波处理以良好保留建筑、农田与地形的细节。异常点滤波是基于地形图的高程数据, 建立每个区块的高程阈值和高差阈值, 对点云高程数据进行异常点筛查, 本次是基于点云处理软件 Cloud Compare 插件对点云数据区域分割后的每一区块数据设置阈值来实现的。特征分类与提取是利用渐进式三角网滤波算法将地面点与非地面点分离, 然后设计农作物、树木等植被的高程阈值进行分离, 最后基于数学形态学算法提取建筑物。

## 三、机载激光雷达在密林山区地形测绘中的质量分析

### (一) 机载雷达点云数据采集

机载雷达系统获取的数据是扫描目标高密度、精确的离散点云数据。在调查区域数据采集完成后, 通过后期的地物分类技术和消去技术剔除被覆盖的植物、建筑物等测点, 构建数字地形模型 (DOM) 和数字高程模型 (DEM)。

### (二) 机载激光雷达点云数据处理

由于地形特征、机载仪器测量精度、采集天气和操作经验等因素的影响, 机载无人激光雷达点云数据中含有大量噪声点。因此, 在后期进行室内处理之前, 必须先完成对原始点云数据的预处理。预处理过程包括坐标系统一、噪声处理、数据点抽稀等。办公数据处理流程包括: 数据带内解算、航带拼接、地面点分类、生成 DEM、DOM、等高线、最终生成 DLG。

### (三) 质量控制

#### 1. 技术准备阶段

1.1 根据项目任务要求, 收集分析现有资料, 编制合理、先进的技术设计文件方案。

1.2 根据工程规模和技术难度, 配备足够数量具有相应技术能力和技术职称的专业技术人员, 持证上岗。

1.3 配置技术先进、性能优良的仪器设备。所有仪器设备应经过检定或校准并在使用寿命内合格。

1.4 生产部门在投产前, 应组织对本工程进行技术设计文件的学习和必要的技能培训, 确保生产周期和质量符合合同和规范的要求。

## 2. 数据采集阶段

### 2.1 飞行质量控制措施

导航检查：采用GPS导航。在数据采集过程中，要实时检查GPS导航设备的工作状态，防止卫星信号微弱导致GPS导航失效。确保路线横向交叠、路线曲率、高度保持、摄影区域覆盖满足设计要求。

### 2.2 摄影质量控制措施

严格使用无人机飞行控制软件，确保飞行数据的准确性。

摄影天气控制：严格掌握摄影天气。航空摄影时，原则上能见度较好，尽量选择晴天碧空天气条件下进行。

曝光参数的选择：曝光与飞行高度、太阳光照角度和天气条件有关。根据飞行操作因素选择合适的曝光参数，确保图像质量。

2.3 航摄结束后，现场操作人员应立即导出并处理获得的调查区域坐标数据，现场对飞行质量和数据采集精度质量进行评估，发现不合格航线及时组织及时组织复测或补测。

## 3. 数据处理阶段

### 3.1 基站布设质量控制

1) 地面基站原始数据的检查与备份：汇总各地方基站记录的实测原始数据，检查是否有异常数据，并按操作标准评估实测数据是否可用；

#### 2) 地面GPS基站数据质量控制

A. 高度角大于 $10^\circ$ 的卫星数量大于95%；测距观测质量MP1、MP2小于0.5m；GPS时钟的日频率稳定性不小于10-8；

B. 飞行时段与采集时段吻合，且采集频率要满足要求。

### 3.2 飞行数据质量控制

按照作业要求，规划数据采集航线及检校航线，包括飞行高度和速度、扫描频率、航带间重叠度、覆盖范围等规划。航线规划需要考虑架设基站的数量（基站的有效距离为10到15公里）。具体的航线可以根据提供的KML区域、DEM高程进行初步规划，在进行现场勘察后，由地表情况进行飞行高度、飞行速度等的进一步调整，以保证数据采集作业的安全性及有效性。

(1) POS数据检查和备份：将POS原始数据下载，备份到计算机系统，并检查测量记录号的完整性；

(2) 点云数据的检查与备份：对机载系统存储的原集点云数据进行备份，并按时间顺序检查文件编号或文件时间记录是否完整；

(3) 影像数据检查与备份：先将镜像数据备份到本地计算机系统，并检查镜像文件是否完整；

#### (4) POS数据质量检验内容

A. 偏心构件数据计算精度是否符合设计标准；

B. GPS信号是否丢失，卫星数量和信号质量是否满足要求；

C. 时间信号是否重复或丢失；

D. IMU数据是否正常连续；

E. IMU/GPS数据处理精度是否满足要求。

#### (5) 点云数据检查内容

A. 航带重叠度是否满足要求；

B. 点云覆盖满足要求；

C. 同一架次的检验规则：不同气带的拼接是否符合规定的公差要求；

D. 不同架次检查规则：不同的航带需拼接，检查航带间拼接误差是否满足设计要求；

E. 点云数据采集密度是否满足规划设计要求；

F. 点云采集精度是否符合仪器技术规范和运行标准。

### 3.3 点云分类的质量控制

主要包括：参考分类对象和分类样本表，确保分类的正确性；每条数据都要处理到边缘；图纸名称应与合并图正确对应；根据结果存储层码；点云的数量不能改变；点云所携带的信息不会丢失；图纸数量与合并图纸要求一致；图纸边缘的分类应正确、一致；整个区域的地面平整度应一致。

#### 3.4 点云分类质量控制

覆盖满足需求，没有漏洞

格网大小：1米

池塘、水库、湖泊等地表水场边的高程值应当一致，符合设计规范；

结果中不得有无效值，相邻图张边缘格点高程值应连续正确，不允许出现无效值或跳跃；

DEM精度要求应满足下表1：

表1 DEM精度要求 单位：米

| 误差类型          | 地形分类 | 误差(m) |
|---------------|------|-------|
| 数字高程模型<br>中误差 | 平地   | 0.20  |
|               | 丘陵地  | 0.50  |
|               | 山地   | 0.70  |
|               | 高山地  | 1.50  |

### 3.5 DOM质量控制

①数学精度：可以用保密点或野外GPS点进行核对，调查区域内所有地图均应符合设计规范。

②图像检查：检查调查区域的色彩层次是否真实丰

富，整体色调是否统一，数据是否丢失，是否有变形、模糊、不完整等情况。

③边连接检查：边连接差值是否符合设计要求，片与片之间镶嵌有无错位。

④数据完整性检查：所有数据结果是否符合设计测量要求，确保无遗漏图纸。

### 3.6 DLG质量控制

数据质量问题是数据库建设中的一重要工作，也是数据有效性的前提。因此，要严格控制数据的质量。

#### 3.6.1 数据完整性

①层完整性校验：保证数据层的完整性校验。即使该层没有数据，它也应该以空层的形式存在；

②层内部文件检查：数据层文件，包括与空间数据对应的文件；

③数据范围检查；

④元素完整性检查：检查每个数据层中是否有缺失或多余的元素，如图形、属性等。

#### 3.6.2 逻辑关系

①检查各要素的空间关系；②格式一致性检查；③数据分层一致性检验；④拓扑一致性检查。

#### 3.6.3 图拓扑关系

①不合理悬挂点检查。②代码正确性检查；③多层数据的相互关系检查；④多边形闭合检查。

#### 3.6.4 图形边缘连接

主要检查边缘是否连接，边缘连接是否正确。

### 4. 检验与验收

4.1 执行三级检查制度，即各小组自检或互检的一级检查、项目技术负责人对成果审核的二级检查、单位总工程师对成果最后审定的三级检查；二、三级检查均要对检查成果作出质量等级评定，并保留检查记录备查，最终检查工作完成后提交《检查报告》。

4.2 执行二级验收制度，项目完成后，应准备检验报告和技术总结。一是生产单位组织内部验收（一级验收），出具内部验收报告。验收合格后，连同其他成果提交甲方，甲方组织或委托第三方验收（二级验收）。

### 四、结束语

激光雷达技术的不断发展和用户规模的进一步扩张，可以预测激光雷达将发挥更大的作用在地形测绘中的应用，激光雷达将在地形测绘、城市测绘、地灾监测、林业调查、电力选线/巡线、房地一体、河湖划界等应用中发挥更多更大的作用，对其质量控制的要求也会越来越完善。

### 参考文献：

[1]汪凌.机载激光地形测量：一种经济有效的地形测量新技术[J].测绘科技通讯，2019（3）：15-17.

[2]伊丕源，童鹏，张景发，赵英俊，张川，吴文欢.机载激光雷达多脉冲探测模式在大高差地形测绘中的应用分析[J].科学技术与工程，2020，15（08）：4-9.

[3]胡志权.地形测绘中机载激光雷达技术的应用探讨[J].低碳世界，2021（05）：105-106.

[4]陈科.机载激光雷达技术在地形测绘中的应用[J].珠江水运，2020（13）：18-19.