

# 无人机 LiDAR 技术在黄河河道测验中的应用分析

田 慧 宋中华

(黄河水利委员会山东水文水资源局 山东济南 250100)

**摘要:**为了获取黄河河道沿岸的地形图,减少外业勘测的工作量,结合工程实例,选用适合的无人机平台和轻小型 LiDAR 系统,对河道沿线进行无人机 LiDAR 航摄,以验证无人机 LiDAR 系统的可靠性和植被穿透性,并对出现的技术问题提出解决方法。研究表明:(1)对获取的 LiDAR 点云进行坐标转换、高程改正、点云分类并生成 DEM,同时基于高精度 POS 数据制作正射影像。(2)根据 DEM 和 DOM 制作的河道横断面图,通过外业勘测核实,相较于传统立体航测,中误差从 0.423 m 到 0.265 m,数据利用率提高了 45.5%,极大减少了外业勘测工作量。项目应用效果表明,无人机 LiDAR 摄影制图具有数据获取灵活、外业工作量少、成果精度高等优势,可以为今后的工程应用提供参考。

**关键词:**无人机;轻小型 LiDAR;黄河河道测量;航摄

根据习近平总书记在“黄河流域生态保护和高质量发展”座谈会上的讲话精神,如何快速、准确地获取黄河河道沿岸的勘测数据已经成为河道测量者必须面临的技术难题<sup>[1]</sup>。近年来兴起的无人机航摄具有飞行成本低、起降场地限制少、人员培训简单、飞行操作灵活等优点<sup>[2]</sup>。但无人机航摄系统也有成像范围小、地面控制点多、立体测图工作量大、茂密植被区地形采集不准确等固有缺点。而机载激光雷达技术(LiDAR)具有精度高、效率高、无需布设像控点、对植被的穿透性较强等特点,可大幅减少测量工序及人工观测制图的工作量<sup>[3]</sup>。

受航空管制、飞行条件等限制,使用大飞机搭载 LiDAR 设备进行测绘作业,在时间和成本方面不够经济<sup>[4]</sup>。随着技术进步,LiDAR 正在向轻量化方向发展,性能不断提升,重量及体积不断缩小,使得采用无人机搭载 LiDAR 进行航摄成为可能<sup>[5]</sup>。以下介绍无人机搭载轻小型 LiDAR 设备进行黄河河道沿岸地形图制图的相关技术流程,并评测无人机 LiDAR 技术在黄河河道测验中的应用效果。

## 1 技术设计

### 1.1 项目概况

实验项目位于黄河下游河道地区,需要制作河道沿线 1:2000 地形图。按照河道两侧各 500 m-1000 m 的范围进行航飞和制图。区域内植被茂密,项目沿线已有四等 GNSS 基础测量控制点(具有大地坐标、工程独立坐标以及四等水准高程成果),可用作 LiDAR 数据的坐标转换和高程拟合之用。

### 1.2 平台介绍

本项目采用的无人机 LiDAR 航测系统由无人机、轻小型 LiDAR 系统、全球卫星导航系统(GNSS)基站等硬件及配套数据处理软件组成。无人机平台为国产的 CW-30 大载重、长航时、垂直起降固定翼无人机,轻小型 LiDAR 系统(型号为 JoLiDAR)集成了激光扫描仪、GNSS/IMU 惯性导航单元和数码相机<sup>[7]</sup>。

## 2 无人机 LiDAR 数据获取

### 2.1 无人机 LiDAR 摄影

按照 LiDAR 摄影规范<sup>[8]</sup>,综合考虑航摄效率和植被穿透率,设计 LiDAR 数据点云密度为 16 点/m<sup>2</sup>,影像地面分辨率为 0.05 m。为减少投影差的影响,需加大影像重叠度,设

置航向重叠度为 75%,旁向重叠度为 40%。为保证成果精度,选择 3 个点作为地面基站,确保飞机在测区及航线转弯区域飞行时,距最近基站不大于 20 km,总共设计航线<sup>[9]</sup>114 条。飞行过程中应尽量匀速飞行,避免瞬时速度变化造成激光点云沿飞行方向分布不均匀的现象<sup>[10]</sup>。

### 2.2 航迹解算

使用 PosPac 软件进行高精度航迹数据解算(解算时需要提供基站三维控制网成果):首先导入机载 POS 数据,检查 POS 数据是否有中断的情况;然后导入地面基站观测数据,检查地面基站的采样频率(是否为 1Hz),并将直接导入的地面基站坐标转换成三维控制网成果坐标。

解算前,需要输入机载 GPS 相对于 IMU 的偏心分量,然后采用紧耦合方式将机载 GPS 数据、IMU 数据和基站同步观测数据进行融合处理,再进行双向平滑处理,得到高质量的航迹数据,即测绘时刻激光雷达及相机的位置和姿态信息<sup>[11]</sup>。解算时应选择距离较近的基站,并剔除姿态不佳的卫星数据。

### 2.3 LiDAR 点云和影像 EO 输出

导入航迹文件和原始激光测距文件,解算激光点云数据(解算激光点云过程中,软件将自动进行航带数据的匹配平差)。

## 3 无人机 LiDAR 数据处理

### 3.1 坐标高程转换

无人机 LiDAR 获取的原始数据通常为标准 UTM 投影下的大地高,而项目成果为工程独立坐标系下的正常高。因此,需要将原始 LiDAR 数据进行坐标和高程转换<sup>[12]</sup>。首先在 TerraSolid 软件中把点云数据按矩形切块,建立 UTM 投影到工程独立坐标系的转换关系,并对原始数据进行坐标转换。

### 3.2 正射影像制作

无人机 LiDAR 配套采集的航片,通常航偏角较大、像幅小、重叠度不规则,如果采用 TerraSolid 软件制作正射影像,存在作业过程复杂、需要人工添加大量连接点等缺点<sup>[13]</sup>。若采用 Pix4D 软件制作正射影像,效率可大幅提高,而且投影差小,精度也十分稳定<sup>[14]</sup>。

### 3.3 点云滤波和 DEM 生成

(1)点云自动分类

在 TerraScan 软件中编写适合测区地形条件的宏命令,自动对点云数据进行分类。批处理宏命令的内容主要包括:分配航带号,裁除重叠区,分离多路径效应产生的低点,分类地面点。各个参数需要多次试验,以找到最优的宏参数。运行分类宏命令时,相邻数据块之间的重叠区需设置为 50 m,以减少数据块之间的接边差。

#### (2)手工精细分类处理

主要目的为消除自动分类时错分成地面点的噪点和低矮植被<sup>[5]</sup>,以及由于地形复杂(分类参数无法顾及所有地形)导致的山顶、陡坎、悬崖等漏分情况。

### 4 地形图制作

#### 4.1 制作 1:2 000 地形图

(1)利用 Arcgis 中的 DEM 生成 2 m 间隔的等高线。高程点按 70 m 间距的交错排列方式生成,并提取山顶、谷底等特征点作为额外高程点。

(2)在 AutoCAD 中叠加正射影像和地形数据,利用基于 AutoCAD 平台开发的 MapEdit 工具采集地物要素,并编辑等高线及高程点。

#### 4.2 基于三维场景采集线路横断面

(1)利用 SkyLine 软件的数据融合功能,对 DEM 和 DOM 进行融合,生成河道沿线的真实三维场景,并把断面采集线导入到三维场景中。

(2)通过设置断面采样步长和高程变化阈值,自动生成断面变坡点,采集和编辑地物边界属性,重点判释植被茂密地区、水系、沟坎、道路等地物边界及属性。

#### 4.3 与传统立体航测对比分析

对采集的 3490 个断面点 LiDAR 数据进行了外业实测比较,分别统计出不同方法采集的断面点中符合限差的点个数(见表 1)。

表 1 不同断面采集方法的中误差和符合限差率统计

断面采集方法	实测点数	符合限差点数	中误差/m	符合限差率/%
无人机 LiDAR	3490	3113	0.265	89.2
立体航测	3762	2306	0.423	61.3

由表 1 可知,无人机 LiDAR 的断面采集中误差(0.265 m)较立体航测断面采集中误差(0.423 m)降低了 0.158 m,精度提高明显。符合限差率从 61.3%提高到 89.2%,数据利用率提高了 45.5%。对于常规林区,相较于传统立体测图模式,无人机 LiDAR 方法的数据利用率明显提高,极大提高了勘测断面的采集效率。

### 5 结论与建议

无人机 LiDAR 技术具有数据获取周期短、数据精度高、

植被穿透性好等优点,随着无人机技术和轻小型 LiDAR 技术的不断发展,开展无人机 LiDAR 摄影制图,势必成为带状区域勘测的一种优选方案。

#### 参考文献

- [1] 吴迪军,张建军,李剑坤,等.带状区域无人机航测像控点布测方法研究[J].铁道勘察,2017,43(6):5-9.
  - [2] 刘伟东,李源源,杨鹤猛,等.架空输电线路中无人机平台的差异化分析[J].科技创业,2017(2):22-24.
  - [3] 蒋珊珊.机载激光雷达技术(LiDAR)在汉十铁路断面生产中的应用[J].铁道勘察,2017(3):31-33.
  - [4] 石德斌.轻型 LiDAR 设备在铁路工程勘测中的应用分析[J].铁道工程学报.2016(8):30-33.
  - [5] 陈利明,张巍,于虹,等.无人机载 LiDAR 系统在电力线巡检中的应用[J].测绘通报,2017(S1):176-178.
  - [6] 揣力,赵曠,杨波.小型激光雷达系统在石油管线勘测中的应用[J].测绘.2016,39(3):128-130.
  - [7] 张小红.机载激光雷达测量技术理论与方法[M].武汉:武汉大学出版社,2007.
  - [8] 国家测绘地理信息局.机载激光雷达数据获取技术规范:CH/T8024—2011[S].北京:测绘出版社,2012.
  - [9] 李佳俊,钟若飞.轻小型机载 LiDAR 的航线设计[J].国土资源遥感,2017,29(2):97-103.
  - [10] 胡曼,吕军超.机载激光 LiDAR RIEGL LMS-Q1560 扫描系统飞行及预处理研究[J].测绘技术装备,2016(4):22-25.
  - [11] 田先斌,张永利,吴建文,等.无人机 LiDAR 场地勘测及 BIM 规划设计研究与实践[J].图学学报,2018,39(2):339-345.
  - [12] 薛阿亮.利用 LiDAR 技术及航测技术生产“3D 产品”方案研究[J].测绘技术装备,2018(4):18-21.
  - [13] 杜阳阳,段晓峰,韩峰,等.基于无人机的大比例尺带状地形图快速建模技术研究[J].铁道标准设计,2018,62(11):54-58,68.
  - [14] 赵明.Pix4D mapper 软件在无人机航空摄影与工程地质调查中的数据处理[J].水电站设计,2017,33(2):47-48.
  - [15] 梁伟,魏采用,拜剑虹,等.无人机载激光雷达在地质环境调查中的应用[J].测绘与空间地理信息,2018,41(5):73-75.
- 作者简介:田慧(1987-),女,汉族,硕士,工程师,主要从事黄河下游河口河道测验研究等工作,