

基于机载 Lidar 点云的垃圾山勘测研究

杜佳涛 孙亮 付雨霄 延泽一

【石家庄铁路职业技术学院】

摘要:

由于垃圾山附近环境污染且具有地表凹凸不平,地质疏松等特点,采用传统的测量方式不仅耗时长、效率低,而且采集人员的个人安全也很难得到保障。针对这些问题本文提出了无人机电载激光 Lidar 获取山体精准数据的测量方式。利用 Lidar 对垃圾山进行扫描得到数据,结合高精度惯导数据解算来获得高精度点云,再通过 Matlab 数据处理功能进行快速去噪,然后利用软件自动提取的方式,得到目标区域精确的点云坐标数据,作为填埋量计算的重要原始数据。实验结果表明,利用机载 Lidar 技术能够满足相关规范要求,可以有效获取垃圾山土方数据以及地表信息。具有很大的应用前景。

关键词:

无人机电载 Lidar; 垃圾山勘察; 垃圾填埋; Matlab; 点云数据处理

1 引言

近些年随着无人机测绘技术的高速发展,无人机电载 Lidar 测量技术,已被广泛应用在各个领域。文献^[1]提出了一种电力线自动提取与重建的高精度 LiDAR 点云数据提取办法。文献^[2]将大比例尺地形图制作中的内容和过程作为机载 Lidar 应用的主线,也为机载 Lidar 在大比例尺地形图制作的有序开展以及推广提供参考性建议。文献^[3]以无人机电载 Lidar 的方法获取冬小麦多光谱数据,提取并筛选合适的 Lidar 点云结构参数和植被指数,建立植被指数模型。

随着我国城市化进程的发展和人口水平的提高,城市垃圾的产出量也越来越多,出现了各式各样的垃圾山,这种垃圾山不仅污染环境、而且存在占用大量土地资源等问题,还可能产生有毒气体,危害城市居民。垃圾山处理已经刻不容缓,面对垃圾山的勘探测量,无人机电载 Lidar 技术具备作业面积广、精度高、多回波去植被等优点。本文探讨机载激光雷达技术在垃圾山勘察方面的应用,并以某地垃圾山勘测为例进行说明。证明了该方法能保证垃圾山困难区域测绘成果精度,为垃圾山勘测提供高精度的有效数据,也为后期改造提供了依据。

2 技术路线

本文采用 D-Lidar2000 机载激光雷达测量载荷进行数据采集。该仪器集成了高精度激光扫描仪与惯性导航系统,由于整体结构小、重量轻,适用于在无人机平台上进行数据采集。通过高精度的惯性导航系统,可以快速实时采集地表高精度三维数据。采用稳定性较好的飞马 D2000 作为搭载平台,该激光 Lidar 测量系统处理流程如图 1 所示:

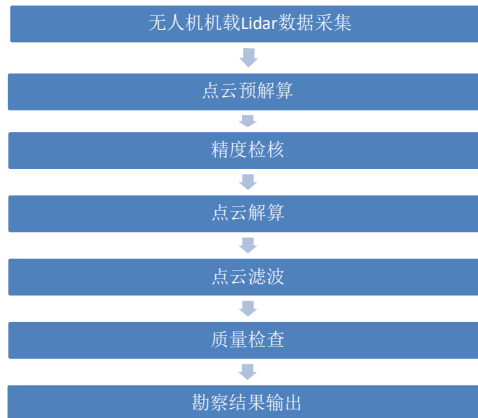


图1 处理流程

3 数据采集

作业前首先对测区进行了踏勘,了解测区内现场地形及空域情况,根据任务区域的范围、雷达扫描参数等,设计最佳航飞路线。

4 数据处理

4.1 点云数据解算预处理

利用 IE 解算软件进行点云数据解算的预处理。首先进行飞行器飞行轨迹的解算,然后 POS 解算时使用紧耦合算法生成高精度组合导航信息,包括位置、速度和姿态等信息; POS 解算完成后我们进一步对精度进行了检核。

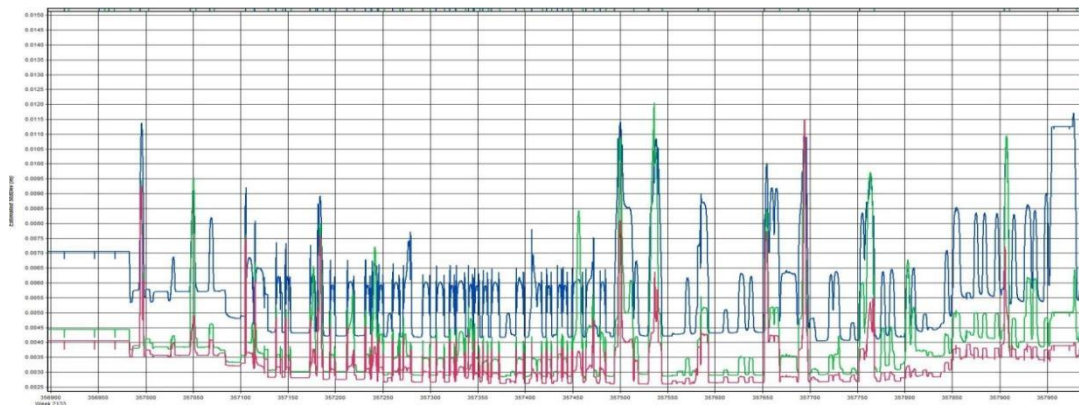


图2 精度检核 (Estimated Position Accuracy)

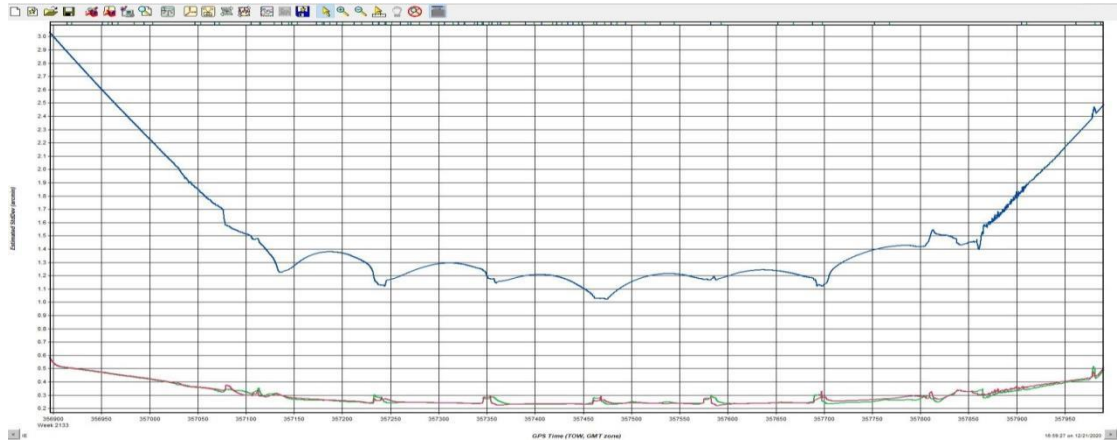


图3 精度检核 (Estimated Attitude Accuracy)

经结算，轨迹精度小于 0.02 米，位置解算满足要求，姿态角范围在 0.06 度之内，航向角范围在 0.03 度以内，姿态解算合格。可作为有效数据应用于点云生成。

4.2 点云解算

通过无人机机载 Lidar 平台 D-Lidar2000 获取高精度的激光雷达数据，利用飞马无人机管家智激光模块进行点云解算工作，解算流程如下：

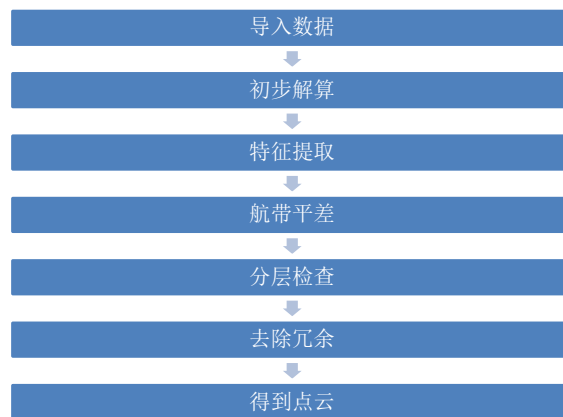


图4 解算流程

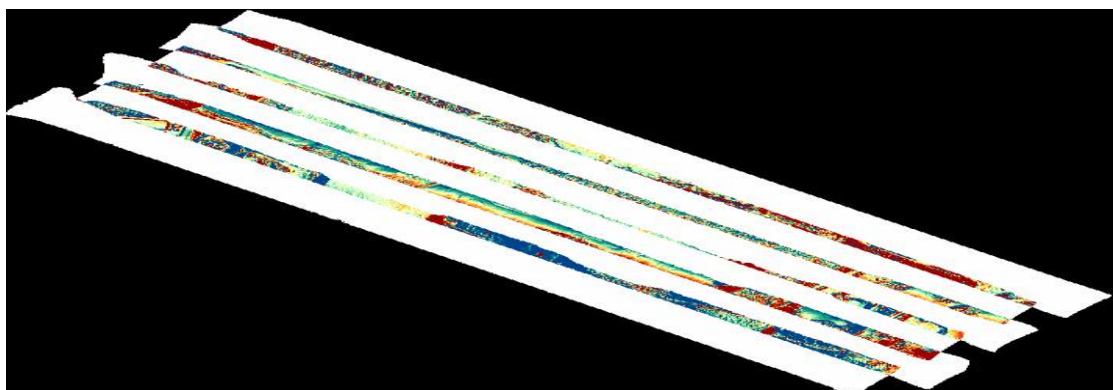


图5 分层检查

分层检核结果显示分层再 1 左右，证明分层检验符合要求。

5 点云滤波

点云滤波指的是通过一定的算法模型，将无人机机载 Lidar 的点云数据中分离出地面点的过程。算法主要有：数学形态学滤波法、移动窗口法、迭代线性最小二乘内插法、顾及地形坡度的滤波法和渐进不规则三角网法等。我们将解算好的点云数据进行滤波处理，为了提高提取的效率提取首先采用 Matlab 中点云数据处理功能，然后采用自动分类滤波的方法，分类出地面点和非地面点。

5.1 Matlab 点云去噪

利用统计分析技术，针对于每个点，计算点与相邻点的平均距离，点与相邻点的距离如果大于均值与设定偏差值的和，我们便认为该点为噪声点，可以将其做剔除处理。

Matlab 应用代码如下：

```
clc;
clear;
B=pcread('jieguo.ply');
figure(1);
pcshow(B);
C=pcdenoise(B,'NumNeighbors',90,'Threshold',1);
figure(2);
pcshow(C);
```

随后利用点云提取软件进行自动提取，将去噪点云导入后首先获取原始高程，根据项目情况设置高程阈值，在每点膨胀结束时进行地面点的判定。如果膨胀后 s 的和原始高程值差值绝对值小于等于阈值，就认定该点为地面点，否则为非地面点。我们在软件中设置最大建筑物尺寸 20，地形坡度 88，迭代角度 8，迭代距离 1.4，构建三角形进行地面点的自动提取。提取结果如下：

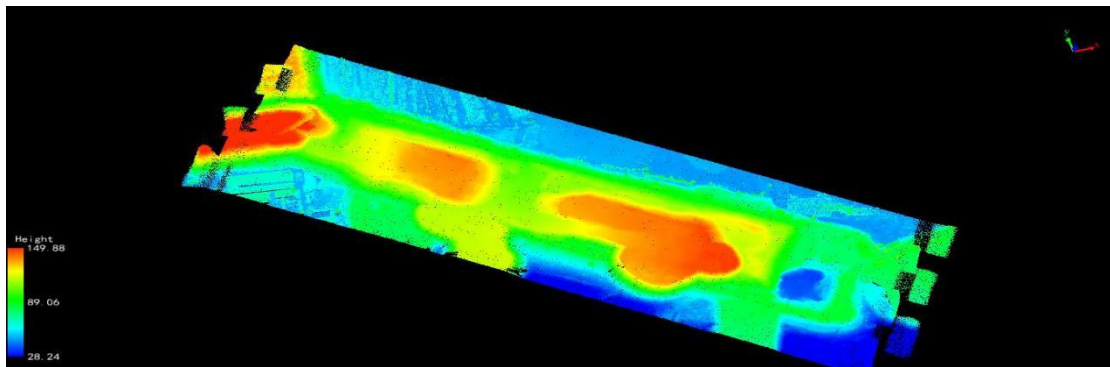


图 6 提取结果

6 结果与应用

利用 Lidar360 软件计算垃圾山相对于地面的填方、挖方和填挖方的量，从而得到垃圾的填埋量的精确信息。计算采用单元格大小 0.9671 作为参考，算得投影面积为 130029.1547

平方米，挖方量为 3800520.4449 立方米。也可根据工程所需的填埋情况利用已生成的点云数据进行土方量的计算以及原貌的还原。

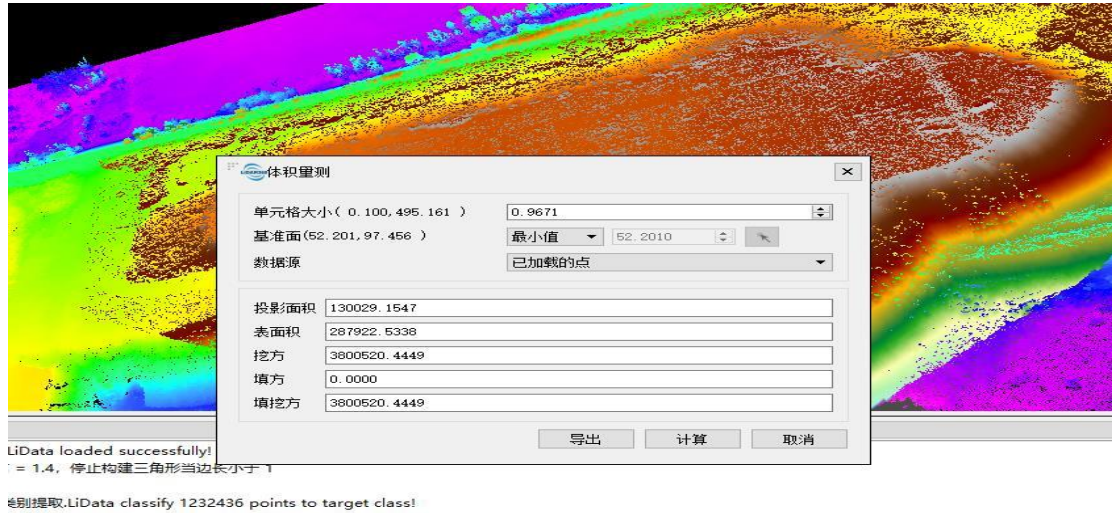


图 7 填埋量测量

7 精度分析与评价

表 1 精度检核表

检核点	E	N	Z	DZ
JH1	***657.726	***9149.093	88.108	-0.027
JH2	***687.915	***9119.55	89.316	0.034
JH3	***687.941	***9119.96	89.306	0.01
JH4	***684.665	***9120.61	89.184	0.009
JH5	***654.036	***9139.923	88.495	-0.115
JH6	***647.951	***9086.406	87.267	-0.006
JH7	***781.235	***9060.305	92.541	0.008
JH8	***785.449	***9157.103	91.222	-0.077
控制点数: 8 中误差: 0.051m 高差最大值: -0.115m				

由于无人机载 Lidar 点云分辨率不高，特征点坐标提取的不确定性，导致不好估算机载三维激光测量值与真值之间的误差。所以对于机载三维激光点云精度的验证，我们选择了采用网络 RTK 方法采集测区范围内均匀分布的水平地面（在一定范围内高程差异可忽略）的 8 个检查点的三维坐标数据并，将 RTK 数据作为真值，通过提取参考点周围多个邻近点的高程计算均值，与参考值比较，得到无人机机载 Lidar 点云成果的平面中误差为±5.1cm，最大高程中误差为-0.115 米，精度满足城市测量规范的要求。

8 结语

随着机载激光雷达测量系统的发展，机载激光雷达的可靠性越来越高，相比于传统的探测方式，其作业速度快、精度高、劳动强度低、不受现场环境影响等优点，在保证精度的同时极大减少了工作量，降低了作业难度，提高了作业效率。

本文从实际项目出发, 展现出机载 Lidar 技术在垃圾山勘察方面的应用中有着巨大的应用前景, 能够准确反映测区的有效数据, 为后期填埋提供了可靠的数据支撑。

参考文献:

- [1] 周钦坤, 岳建平, 杨恒, 朱依民. 机载 LiDAR 数据中电力线的自动提取与重建 [J]. 测绘通报, 2020(10):26-30+37.
- [2] 黄妙华. 机载 LiDAR 在大比例尺地形图制作中的应用 [J]. 智能城市, 2020, 6(22):69-70.
- [3] 牛玉洁, 李晓鹏, 张佳宝, 马东豪, 纪景纯, 宣可凡, 蒋一飞, 汪春芬, 邓皓东, 刘建立. 融合无人机载激光雷达与多光谱遥感数据的冬小麦叶面积指数反演 [J/OL]. 土壤学. 报:1-13[2020-12-24]. <https://kns-cnki-net.webvpn.sicau.edu.cn/kcms/detail/32.1119.P.20201117.1458.006.html>.
- [4] 周玉玲, 郭权利, 毛启赫, 张思博, 孔令伟, 张所钰, 刘冬. 机载 LiDAR 数据下的输电线路弧垂状态估计 [J]. 电力科学与工程, 2020, 36(11):58-63.
- [5] Chen Chuanfa, Chang Bingtao, Li Yanyan, et al. Filtering airborne LiDAR point clouds based on a scale-irrelevant and terrain-adaptive approach. 2021, 171.
- [6] 中华人民共和国国家标准. 城市测量规范 (CJJ/T8-2011) 中华人民共和国住房和城乡建设部发布.
- [7] 凌晨阳, 余盛艳, 陈科场. 机载激光雷达技术在复杂地形土石方测量中的应用 [8]. 城市勘测, 2020(05):125-128.
- [9] 王果, 王强, 张振鑫, 徐棒, 赵光兴. 航空影像辅助的机载 LiDAR 植被点云分类 [J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(20):61-66.
- [10] 李海坤, 苏志刚, 郭明田. 北京单店康居小区垃圾回填埋地环境岩土工程勘察简介 [J]. 工程勘察, 2008(S2):37-41.