

无人机载 Lidar 技术在建筑工程中的应用研究

王志军¹

(成都英创思科技有限公司 四川成都 610045)

摘要: 无人机载 Lidar 技术是目前测绘行业最为重要的技术手段, 由于其具备效率高、高精度、能去植被等诸多优点, 已广泛应用在各领域。本文以无人机载 Lidar 技术在建筑工程中的应用为例, 介绍无人机载 Lidar 项目开展流程, 并对其精度验证方法进行研究, 希望对以后相关工程开展提供一定的借鉴。

关键字: 无人机载 Lidar; 多回波; 轨迹线; 紧耦合计算;

Research on the application of UAV - borne 3D laser scanning technology in construction engineering

WANG ZhiJun¹

(1.Sichuan Academy of Safety Science and Technology;

2.Sichuan Earthquake and Geological Disaster Emergency Technical Support Center;3.Major Hazard Measurement and Control Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu, sichuan province 610045)

Abstract: UAV - borne Lidar technology is the most important technology in surveying and mapping industry. It has been widely used in various fields because of its advantages such as high efficiency, high precision and removing vegetation. Taking. The application of UNMANNED aerial vehicle (UAV) carried Lidar technology in construction engineering as an example, this paper introduces the development process of UNMANNED aerial vehicle (UAV) carried Lidar project and studies its accuracy verification method, hoping to provide some reference for the future development of related projects.

Keyword: UAV airborne Lidar; Multiple echo; line; Tight coupling calculation;

1 引言

近些年随着无人机测绘技术的高速发展, 无人机摄影测量技术和无人机载 Lidar 测量技术, 已被广泛应用在大比例尺地形图测绘、电力巡检、自然资源调查、矿山安全监测、地质灾害调查、建筑工程等各个领域。无人机摄影测量技术运营成本低, 能得到高分辨率的光学影像, 但由于测量方式的局限性, 在像控点无法布设和多植被区域摄影测量成果精度无法得到保证。无人机载 Lidar 技术具备作业面积广、精度高、多回波去植被等优点, 能有效保证困难区域测绘成果精度。常用的规建筑工程测绘手段以人工全站仪测量为主, 少有采用地面三维激光扫描的方式进行测量, 以地面扫描方式进行数据获取, 成果精度高但是人工成本很大。机载 Lidar 所具有的特点, 能有效解决生产项目要求面积广、精度高、多植被区域的测绘难题。将机载 Lidars 技术应用在建筑工程领域, 能有效解决建筑工程在规划设计和施工过程的测绘需求, 本文以机载 Lidar 技术在麓湖生态城项目中的应用为例, 介绍机载 lidar 技术在项目应用过程中的关键步骤, 结合项目实际情况实现土石方量的动态管理。

2 无人机载 Lidar 技术介绍

无人机载 Lidar 技术, 是一种通过距离、角度、位置等观测数据直接获取对象表面点的三维坐标, 实现地表信息提取和三维场景重建的对地观测技术。无人机载 Lidar 技术具有高精度、高效率、多回波、高分辨率、可生成真实三维模型等优点。无人机载 Lidar 技术也存在一些缺点, 如无人机作业受空域限制、机载三维激光仪器设备价格昂贵、成果点云分辨率相对较低等。机载激光雷达系统集成了 GPS、IMU、激光扫描仪、数码相机等光谱成像设备。目前国内多家无人机公司都有自己的无人机载 Lidar 产品, 像飞马 D200-Lidar210、成都纵

收稿日期:

作者简介: 王志军 (1989-)、男、甘肃文县、测绘工程师、工学学士、研究方向为 3D 测控技术及其应用。

横 CW30-Lidar 无人机、大疆、鲲鹏 Di-1600H8、北方天图等。

3 研究区概况

麓湖生态城规划项目总占地面积 8300 亩，位于成都市以南的天府大道两侧。本项目采用飞马 D200 多旋翼无人机，搭载 Riegl VUX-1min 机载三维激光扫描仪，利用无人机载 Lidar 作业面积广、多回波去植被、高精度等优势，精确获取测区内的无人机三维激光数据。实现了工程建设中土石方的精准测算和大比例尺地形图测绘。



图 1 现场工作照

Fig. 1 site working photos

4 数据采集

4.1 航线规划

无人机载 Lidar 航线设计应该充分考虑成果精度、机载 Lidar 测程、点云密度、测区内建筑物高度等因素。由于飞马 D200-Lidar210 最大测程 250 米，综合考虑相关因素，在实地踏勘后按照仿地 150 米高度设计“交叉”飞行航线。航线设计如图 1 所示。

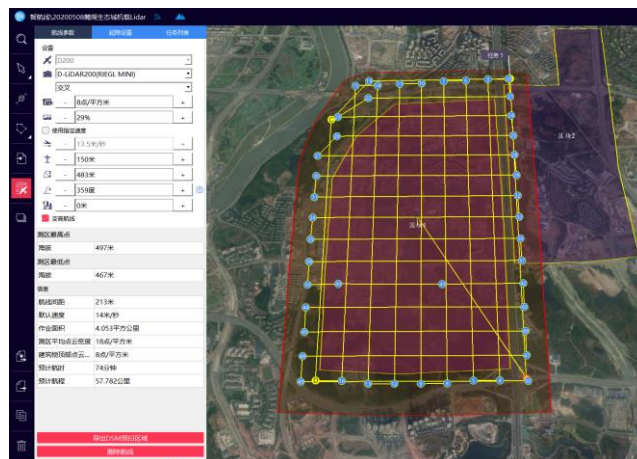


图 2 航线设计图

Fig.2 route design

4.2 三维激光数据采集

无人机载 Lidar 作业流程主要分为：测区空域申请、测区控制测量、无人机载 Lidar 航飞设计、内业数据处理等四个环节，技术路线如图 2 所示。

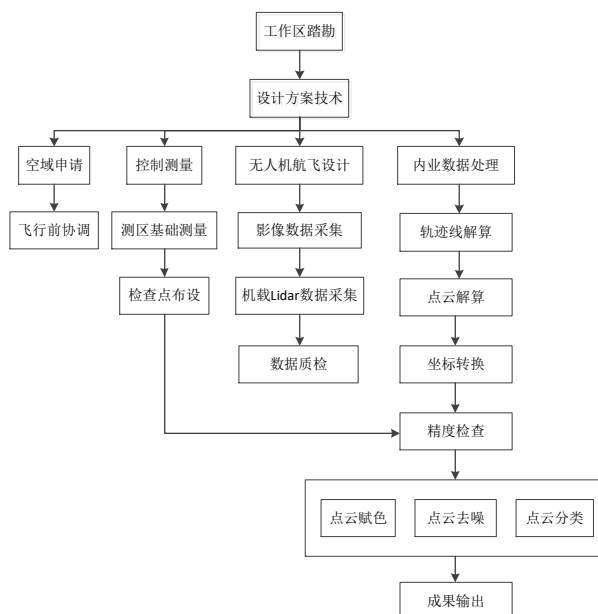


图 3 机载三维激光作业技术路线图

Fig.3 technical roadmap of airborne 3D laser operation

根据项目要求设计技术方案，测区坐标系采用项目施工坐标系。控制点采用项目已有高等级控制点 3 个，加密控制点 2 个。采用 GPS-RTK 的方式完成测区像控点和三维激光精度检查点的布设工作。为了满足点云精度和密度要求，无人机载 Lidar 航线设计为“井”字型航线，最终完成测区内 8 个架次机载三维激光数据采集工作和 2 架次无人机正射影像数据采集工作。

4.3 三维激光数据处理

无人机载 Lidar 数据处理包括：数据预处理、机载三维激光轨迹线解算、点云解算、航带平差、坐标转换、点云赋色、点云分类、成果输出等步骤。数据预处理主要是对外业数据完整性进行检查，并进行数据格式转换。机载三维激光轨迹线解算是机载三维激光数据处理工程中比较关键的一个环节，使用 IE 软件，通过基站静态数据、机载 IMU 数据和机载 GPS 数据的紧耦合计算，得到无人机飞行轨迹线为点云解算做准备。使用飞马无人机管家软件智激光和智点云模块完成点云数据解算、航带平差、坐标转换和正射影像赋色等步骤等到原始点云数据如图 3 所示。

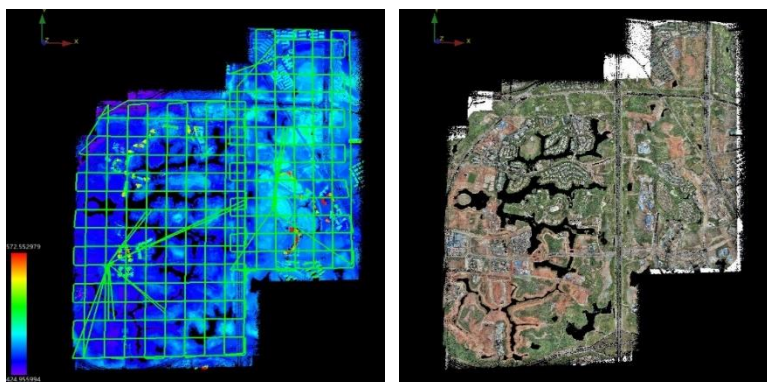


图 4 原始点云示意图



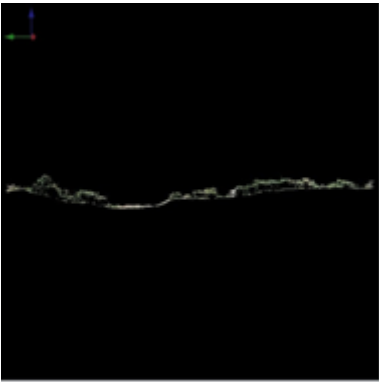
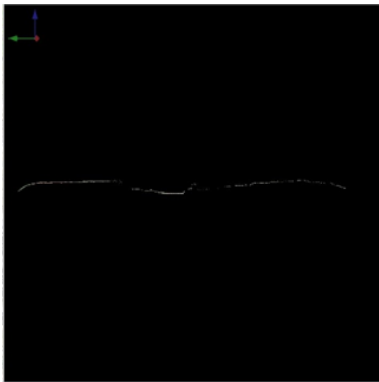
Fig. 4 Schematic diagram of original point cloud

由于 Riegl VUX-1mini 机载扫描仪具有多回波技术，可以有效去除地表稀疏植被，通过类别提取和点云分类得到去植被后的地面点云数据，去植被效果如表

1。

表 1 点云取植被效果对比

Table 1 Comparison of point cloud values and effects

	去植被前	去植被后
剖面位置		
去植被效果		

4.4 坐标转换

无人机载 Lidar 数据获取与处理过程涉及到多个坐标系统之间的转换，包括 WGS84/CGCS2000 大地坐标、WGS84/CGCS2000 投影坐标、施工坐标系。以本项目开展过程为例，项目开展过程中使用 RTK 连接四川省 Cors 账号得到精度检查点和无人机基站架设点 CGCS2000 大地坐标，通过坐标转换得到检查点和点云成果的施工坐标。由于机载三维激光原始点云默认为 WGS84-UTM 投影坐标，考虑到不同软件计算转换参数存在差异，成果点云的坐标转换参数需用对应的点云处理软件计算。利用测区内均匀分布的 5 个控制点进行转换参数计算并完成坐标转换，控制点转换参数计算残差如下表所示。

表 2 控制点转换参数计算残差

Table 2 Calculation residuals of control point conversion parameters

点号	检查点转换参数残差		点云转换残差		
	平面残差 (m)	高程残差 (m)	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔH (m)
WH1	0.0051	-0.0256	0.0179	-0.0216	-0.0151
WH2	0.0085	0.0111	-0.0425	0.0147	0.0282
WH3	0.0044	-0.0209	0.0246	0.0069	-0.0130
B1	0.0108	-0.0072	0.0366	0.0102	0.0094
C2	0.0005	0.0163	-0.0059	-0.0114	0.0252

4.5 成果精度验证

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,导致不好估计算机载三维激光测量值与真值之间的误差。故机载三维激光点云精度的验证,只能选择测区内某一水平地面(在一定范围内高程差异可忽略),采用传统测量的方式得到水平地面上某一点的高程作为参考值,通过提取参考点周围多个邻近点的高程计算均值,与参考值做差,得到无人机载 Lidar 点云成果的高程中误差为±0.0342 米,计算过程如表 3 所示。

表 3 机载三维激光点云高程中误差计算表

Table 3 calculation table of airborne 3D laser point cloud elevation mean square error

点号	高程(m)	提取点高程 均值 (m)	Δ''	Δ^2
JC01	483.958	483.968	-0.010133	0.000103
JC02	492.099	492.111	-0.012333	0.000152
JC03	507.267	507.240	0.026600	0.000708
JC04	499.562	499.563	-0.001033	0.000001
JC05	486.480	486.442	0.037767	0.001426
JC06	492.626	492.673	-0.046900	0.002200
JC07	497.251	497.308	-0.056600	0.003204
JC08	493.930	493.970	-0.040000	0.001600

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} = \pm 0.034265 \text{ (m)}$$

4.6 成果应用

机载三维激光成果点云可以制作多种多样的地理信息产品,裁切出需求区域,制作数字地面模型,利用数字地面模型,可以生成透视图、坡度图、断面图、渲染图,计算特定物体对象的体积、表面覆盖面积等,还可用于空间复合、可达性分析、表面分析、扩散分析等方面,区域内数字地面模型如图 3 所示。

将需求区域的点云成果导入 SV360、EPS、宏图三维激光测图、CASS 等测图软件,绘制大比例尺地形图,满足规划设计和施工管理方面的需求,区域地形图如图 4 所示。

无人机载 Lidar 点云成果在建筑工程中最重要的应用为土石方量的管理。主要包括施工前期土地平整,填挖方量的计算,和施工过程中的土方量变化动态监测。将点云成果导入南方 CASS 软件,导入设计范围线,计算施工区域内某地块,设计标高为 480m 时,场地的挖方量为 431901.1 立方米,填方量为 868.2 立方米。得到多期数据后,就可以实现建筑工地上土石方量的动态管理。

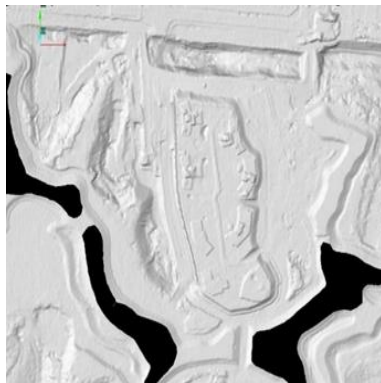


图 5 需求区域数字地面模型

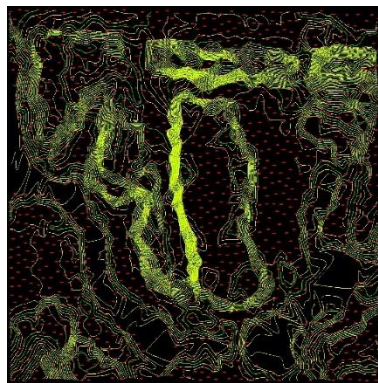


图 6 需求区域数地形图

Fig.5 digital terrain model of demand area Fig.6 topographic map of demand area number

5 结束语

无人机载 Lidar 技术由于其具备作业面积广、自动化程度高的特点可以有效替代人工测量方式,完成较大面积高精度地形测量任务,大大降低测绘任务的人力成本;无人机载 Lidar 点云成果精度高完全满足大比例尺地形图的测绘和高精度数字地面模型的制作,能很好的为建筑规划设计和施工管理服务;无人机载 Lidar 技术在本项目应用中也存在一些不足如:成果点云密度小,点云分辨率较低,植被茂密区域去植被效果较差。由于无人机载 Lidar 仪器设备存在差异性,文中的作业方法和观点仅供测绘行业同行参考。

参考文献

- [1]王代兵, 杨红岩, 邢亚飞,等. BIM 与三维激光扫描技术在天津周大福金融中心幕墙工程逆向施工中的应用[J]. 施工技术, 2017(23):10-13.
- [2]张必胜. 三维激光扫描与增强现实技术在虚拟场馆建设的应用[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2017, 32(2):40-46.
- [3]刘昌军, 赵雨, 叶长锋,等. 基于三维激光扫描技术的矿山地形快速测量的关键技术研究[J]. 测绘通报, 2012(6):43-46.
- [4]白立飞, 潘宝玉, 张兰. 三维激光扫描技术在数字矿山领域的应用[J]. 测绘科学, 2013, 29(5):43-46.
- [5]王待遂. 非煤矿山安全管理保障机制探析--基于娄底市娄星区的调研[J]. 湖南人文科技学院学报, 2015(5):35-43.
- [6]索俊锋, 刘勇, 蒋志勇,等. 基于三维激光扫描点云数据的古建筑建模[J]. 测绘科学, 2017(3):179-185.