

无人机机载激光雷达在土方测量中的应用

温光华

建勘勘测有限公司广东第六分公司

DOI:10.12238/gmsm.v5i6.1460

[摘要] 土方测量与计算是工程施工阶段的重要环节,土石方量测算的精准度关系着工程各参建方的经济利益。本研究将无人机机载激光雷达技术应用于某商品房场地平整土方测量工程中,并利用人工RTK技术测算土石方量作为真实值进行对比,探讨方格网法与数字地面模型法在不同边界采样间距土方量算结果的差异。研究发现,无人机机载激光雷达技术用于土方测量的精度较高,且边界采样间距越小,土方测量的精度与可靠性越高。

[关键词] 无人机; 机载激光雷达; 土方测量

中图分类号: V279+.2 **文献标识码:** A

Application of UAV Airborne LiDAR in Earthwork Measurement

Guanghua Wen

Guangdong No.6 Branch of Jiankan Survey Co., Ltd

[Abstract] Earth measurement and calculation are important parts of the construction stage of the project, and the accuracy of the earth volume measurement is related to the economic interests of all participants of the project. In this study, the UAV airborne LiDAR technology is applied to a commercial housing site leveling earthwork measurement project, and the artificial RTK technology is used to measure the earthwork volume as the real value for comparison, to explore the difference between the square grid method and the digital ground model method in different boundary sampling spacing earthwork volume calculation results. It is found that the accuracy of UAV airborne LiDAR technology for earthwork measurement is higher, and the smaller the boundary sampling spacing, the higher the accuracy and reliability of earthwork measurement.

[Key words] UAV; airborne LiDAR; earthwork measurement

引言

土方测量是工程建设与施工过程中的重要环节,为工程预算、结算、造价审核等提供了工程基础资料,对于保证工程施工进度、合理控制工程造价、优化施工设计方案、平衡建设方与施工方的利益冲突意义重大^[1]。土方测量的基本思想为,利用测绘技术先后测量目标区域挖填前后的特征离散点位信息,重建目标区域地形三维模型,对比挖填前后测量与重建的地形三维模型体积差量化测算出土石方量^[2]。无人机机载激光雷达扫描技术具有点位测量精度高、采集空间密度大、采集过程连续且非接触、受天气影响小、细部特征建模能力强等优点,可以有效避免传统土方测量中测绘方法的各种制约与不足,构建高精度的数字表面模型,直接测算出土石方量。本研究将无人机机载激光雷达技术应用在某商品房场地平整土方测算工程中,并将测绘结果与RTK数据进行比对,验证无人机机载激光雷达技术在土方测量方面的精度与有效性。

1 技术路线

利用无人机机载激光雷达技术对目标区域数字表面建模与土方测量的技术路线如下:首先在无人机上搭载激光雷达这一新型激光传感器,依托激光雷达测量系统的激光扫描仪与惯性导航功能实现对目标区域的主动传感、脉冲获取,快速采集探测目标的距离、粗糙度、反射率等信息,完成无人机激光雷达外业采集。其次,对激光雷达数据进行内业预处理,通过高精度组合惯导解算、LAS点云数据解算、点云数据分类、点云数据抽稀等步骤后建模成像,形成目标区域的数字表面模型。

2 数据采集

本次研究对象选取余姚市某商品房场地平整土方测算工程,研究区域平场面积98800平米,项目所在地的地貌类型为丘陵,地形条件相对复杂,区域内堆土较多且离散化分布,植被发育良好,地被、乔木、灌木交错生长,覆盖率较高,传统测绘方法难以有效应用。如图1所示为该工程所在区域的现场图。

利用无人机机载激光雷达技术对目标区域进行整体连续扫描与点云数据采集,首先利用无人机成像技术拍摄目标区域的

现场图片,并对目标区域进行现场踏勘与调查,对无人机飞行空域进行分析;其次,根据当地无人机飞行要求以及激光雷达技术应用要求设计无人机的航飞参数,规划无人机的飞行路线。本研究依托大疆M300RTK无人机,搭载AS-900L获取高精度的组合导航数据信息^[3]。围绕目标区域,对此无人机规划无人控制一键起航返航的规划路线,并控制无人机以满足激光雷达扫描要求的航线行高与飞行速度飞行,其中行高120m,航飞速度8m/s,航线间隔60m,激光雷达扫描点云密度 ≥ 100 个/ m^2 。



图1 某商品房场地所在区域现场图

3 数据处理

3.1 点云数据解算

利用无人机机载激光雷达技术对目标区域进行扫描与组合导航数据信息采集后,在内业采用惯导探测器数据后处理方法对激光雷达高精度组合导航数据进行点云数据解算,得到LAS点云文件,详细记录点云数据的三维坐标信息。利用华测Copre点云预处理软件对LAS点云文件进行解算。

3.2 点云数据分类

无人机机载激光雷达技术采集获取的点云数据包含了地面特征信息以及地表建筑树木等非地面特征信息,要想构建数字表面模型对土方量进行测算,需要将地面点云数据与非地面点云数据进行分离。首先,考虑到点云数据的体量巨大,需先将点云数据进行分块处理;其次,对各个点云数据分块进行分类处理,有效分离地面点云数据与非地面点云数据。本研究利用Terrasolid软件的TerraScan功能模块对分块后的点云数据进行自动分类,通过分离

多次回波的首次回波和中间回波点,依次分离出点云数据中的低点、空中点与地面点,得到目标区域的地面点云数据。在初步获取地面点云数据的基础上,利用人机交互方法对地面点云数据进行二次判别与修正,在人机交互下有效剔除地面点云数据集中的坑点或突出点,提高点云数据分类的准确性,得到真实可靠的目标区域地面点云数据点云数据如图2所示。

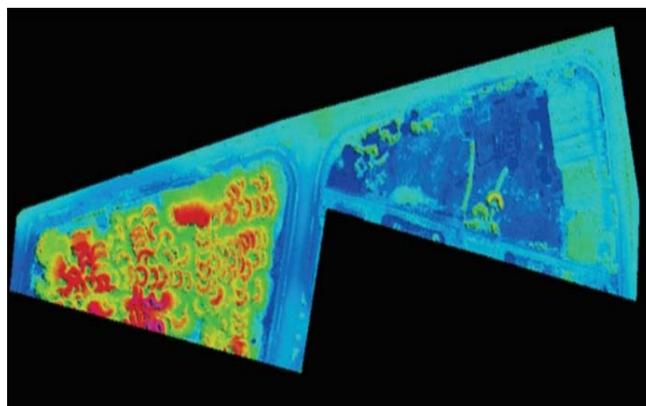


图2 自动分类+人机交互分类后的目标区域地面点云数据

3.3 点云数据压缩

地面点云数据体量较大,精细化的点云数据给后续数字表面模型构建以及土方测量应用等带来了较大的计算难度与时间成本。鉴于此,需对目标区域的地面点云数据进行抽稀与压缩,得到更粗粒度但不影响数字地面模型建模精度的地面点云数据集。本研究利用Coproces栅格采样法对分类后的目标区域地面点云数据集进行抽稀与压缩,压缩后的点云数据密度约为1个/ $5m^2$ 。

3.4 基于点云数据的土方测量

在地面点云数据抽稀与压缩后,将目标区域地面点云数据集导入到Contexte Capture Viewer软件中,利用软件的三维建模功能对点云数据进行数字地面模型构建,模型的格式为OSGB。在数字地面模型的基础上,利用软件自带的DSM直接量算法对目标区域的土石方量进行测算,得到目标区域的土石方量数值。

4 精度分析与评价

在对目标区域土石方量进行测算后,需对无人机机载激光雷达技术的测绘精度以及土方测算精度进行分析与研究,以验证基于无人机机载激光雷达技术进行土方测量的有效性。

4.1 原始点云数据精度检验

利用无人机机载激光雷达技术采集与获取的原始点云数据精度直接关系到后续目标区域数字地面建模精度,本研究着眼于原始点云数据,在该商品房工程所在区域选取21个地形地貌特征点,采用网络RTK方法对上述地貌特征点的三维地理坐标进行采集与获取,并将其视作为特征点的真实值。从原始点云数据中获取21个地形地貌特征点的三维地理坐标,作为特征点的测量值。利用测量值与真实值之间的误差,分析原始点云数据的精度。如表1所示为21个地形地貌特征点的真实值与测量值对比。

表 1 21 个地形地貌特征点的真实值与测量值对比

点位 序号	原始点云数据(测量值)			RTK 测量数据(真实值)			平面较差 (cm)	高程较差 (cm)
	X(m)横坐标	Y(m)纵坐标	Z(m)高程	X(m)横坐标	Y(m)纵坐标	Z(m)高程		
1	267685.88	131864.64	3.56	267685.88	131864.63	3.54	1.0	2
2	267757.72	131873.79	3.65	267757.68	131873.76	3.62	5.0	3
3	267442.17	131687.56	3.50	267442.19	131687.55	3.54	2.2	4
4	267250.50	131768.33	3.25	267250.46	131768.34	3.24	4.1	1
5	267209.37	131751.54	3.13	267209.42	131751.52	3.15	5.4	2
6	267044.88	131721.64	3.35	267044.83	131721.62	3.33	5.4	2
7	266973.47	131669.70	3.17	266973.51	131669.71	3.13	4.1	4
8	266958.67	131592.37	3.37	266958.69	131592.34	3.39	3.6	2
9	267337.75	131778.63	3.34	267337.74	131778.65	3.35	2.2	1
10	267382.68	131705.07	5.95	267382.69	131705.04	5.97	3.2	2
11	267277.60	131510.00	5.83	267277.56	131510.01	5.86	4.1	3
12	267327.54	131629.09	3.11	267327.54	131629.07	3.08	2.0	3
13	267626.97	131681.63	6.44	267627.01	131681.61	6.41	4.5	3
14	267600.41	131804.42	3.70	267600.44	131804.46	3.66	5.0	4
15	267618.75	131822.50	4.28	267618.75	131822.53	4.32	3.0	4
16	267597.81	131584.38	4.24	267597.77	131584.36	4.22	4.5	2
17	267716.63	131549.16	6.07	267716.68	131549.22	6.04	7.8	3
18	267740.93	131733.48	3.80	267740.95	131733.47	3.87	2.2	7
19	267742.00	131734.97	4.41	267742.04	131734.96	4.44	4.1	3
20	267754.46	131739.66	3.73	267754.52	131739.62	3.74	7.2	1
21	267734.86	131747.53	4.02	267734.86	131747.49	4.04	4.0	2

测量值与真实值的平面中误差计算公式为：

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}} \tag{1}$$

式中， Δ 为地形地貌特征点测量值与真实值的平面较差； n 为地形地貌特征点数量； m 为测量值与真实值的平面中误差。

测量值与真实值的高程中误差计算公式为：

$$g = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}} \tag{2}$$

式中， Δ 为地形地貌特征点测量值与真实值的高程较差； n 为地形地貌特征点数量； g 为测量值与真实值的高程中误差。

利用公式(1)与(2)分别计算地形地貌特征点的测量值与真实值的平面中误差与高程中误差，经测算，测量值与真实值的平面中误差为 $\pm 4.35\text{cm}$ ，高程中误差为 $\pm 3.07\text{cm}$ ，表明基于无人机载激光雷达技术采集与获取的原始点云数据精度较高，符合土方测量的精度要求。

4.2 点云分类精度评价

无人机载激光雷达技术通过扫描仪发射激光光斑，光斑碰到地物后反射地物回波信息至机载激光雷达，获取到地表的地物信息。点云数据分类是根据地物回波信息的不同将点云数据分为不同地物、地貌类别，从而从点云数据集中分离出地面点以构建数字表面模型。无人机载激光雷达技术在获取回波信

息解算为点云数据时,也对地表物体进行整体扫描与影像数据采集。将采集到的影像数据导入到EPS中,形成正射影像数据可视化结果。将经过自动分类+人机交互分类后分离出的地面点云数据套合到正射影像可视化模型中,利用地面点云数据与正射影像的吻合情况,分析点云数据在正射影像中是否落在地面或漂浮在空中。经分析,目标区域分离出的地面点云数据分类精度较高,仅在地形复杂度较高的局部区域点云分类精度有所下降。

4.3土方量算精度评价

为分析土方量算精度,本研究将无人机机载激光雷达技术与人工RTK技术下的土方测量结果进行对比,利用Cass. 10. 1Cass 3D软件对上述两种技术进行数字地面模型法、方格网法的4种边界采样间距土方量算。具体数据不作一一列举。通过计算可知,相较于人工RTK技术计算得到的挖方量与填方量(视为真实值),数字表面模型法下,无人机机载激光雷达技术测算出的最大挖方误差率为0.7%,最大填方误差率为2.2%;方格网方法下,无人机机载激光雷达技术测算出的最大挖方误差率为1.9%,最大填方误差率为3.9%,上述误差率均符合土方测量与计算要求,表明无人机机载激光雷达技术用于土方测量的精度较高。此外,对不同边界采样间距下的挖方量差值与填方量差值进行分析,发现随着边界采样间距增加,差值也越大,表明边界采样间距越小,无人机机载激光雷达技术用于土方测量的精度与可靠性越高。

5 结论

土方量算是利用测绘技术先后测量目标区域挖填前后的特征离散点位信息,重建目标区域地形三维模型,对比挖填前后测

量与重建的地形三维模型体积差量化测算得到。利用无人机机载激光雷达技术对余姚市某商品房场地平整土方测算工程进行土方测量,首先依托激光雷达测量系统的激光扫描仪与惯性导航功能实现对目标区域的主动传感、脉冲获取,快速采集回波信息。其次,在内业环境下进行回波信息处理,经高精度组合惯导解算、LAS点云数据解算、点云数据分类、点云数据抽稀,构建目标区域的数字表面模型,直接计算出土方量。对无人机机载激光雷达技术的测绘精度以及土方测算精度进行分析与研究,发现无人机机载激光雷达技术采集的原始点云数据与人工RTK技术下采集的三维地理坐标的平面中误差为 $\pm 4.35\text{cm}$,高程中误差为 $\pm 3.07\text{cm}$,表明基于无人机机载激光雷达技术采集与获取的原始点云数据精度较高,符合土方测量的精度要求。数字表面模型所计算的2.5m边界采样间距的无人机机载激光雷达技术应用土方量算精度最高,可为工程建设过程中的土方量算提供高效、精准的数据支撑。

[参考文献]

- [1]戴永洪,刘林佳.无人机机载激光雷达在长江中游河道地形测量中的应用[J].水利水电快报,2022,43(S2):13-17.
- [2]太浩宇,夏永华.多种测绘技术对同一土方量算方法研究及精度分析[J].城市勘测,2022,(02):110-114.
- [3]王瑶.激光测量技术在工程机械领域的应用研究综述[J].南方农机,2020,51(15):69-70.

作者简介:

温光华(1983--),男,汉族,广东罗定人,本科,中级,从事测绘工程研究。