

无人机影像匹配点云技术在引哈济党调水工程中的应用

魏 博, 路创军, 张 军

(甘肃省水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 无人机影像匹配点云技术是获取影像的数据经过密集匹配后得到的三维特征点集。通过分析无人机影像匹配点云的技术特点, 对生产数据进行数据组织、抽稀简化、噪点去除等处理后, 完成数字产品的生产制作。通过在引哈济党项目中的具体实践应用, 此方法能够达到提高采集自动化程度, 缩短数据生产周期的目的。

关键词: 无人机影像; 匹配点云; 自动化; 生产周期

Application of UAV image matching point cloud technology in water diversion project from YinHaJiDang

WEI Bo, LU Chuangjun, ZHANG Jun

(Gansu water conservancy and hydropower survey design institute limited liability company, Lanzhou 730000, China)

Abstract: UAV image matching point cloud technology is a set of 3D feature points which are obtained from image data through dense matching. By analyzing the technical characteristics of UAV image matching point cloud, the production data is processed by data organization, thinning simplification, noise removal and so on, and the production of digital products is carried out. Through the practical application in the project of YinHaJiDang, this method can improve the degree of collection automation and shorten the data production cycle.

Key words: UAV Image; Matching Point Cloud; automation; Production Cycle

1 引言

无人机测绘是无人机遥感的一种特殊用途, 主要通过无人机对目标区域进行航空摄影, 然后利用地面处理系统对数据进行处理, 最终制作出目标区域的正摄影像图、数字地形图以及三维地物模型。随着科学技术的进步, 无人机技术已经有了较大的发展。在现代测绘中, 无人机测绘颠覆了传统测绘的作业方式, 尤其在大比例尺测图方面。无人机发展初期, LiDAR技术的发展使得大比例尺测图出现新的发展趋势, 但是由于生产设备昂

贵、操作复杂、数据冗余等原因使得此方法没有得到迅速推广。新的匹配算子(SIFT、Mesh)与平差算法(RANSAC、L-M、C-G、SFM)的出现, 使得自动化无人机软件得以普及, 常规的软件如PI4DMapper、PhotoScan、INPHO、Smart3D等, 这些软件可以基于影像数据匹配生成点云数据。本文研究对无人机匹配的点云数据进行抽稀、去噪、分类等工作, 自动生成DLG数据。通过与实测检查点的数据对比, 得出精度分析数据。高程与平面精度均满足国家规范要求, 此方法可以提高工作效率, 节约生产成本。

基金项目: 无

作者简介: 魏博(1984年生), 男, 甘肃天水人, 高级工程师, 学士, 主要从事水利水电工程测量。E-mail: 303893194@qq.com

2 无人机影像匹配点云技术

无人机测绘的目标是通过无人机获取目标区域影像进而获取目标区域的三维地理信息模型。三维地理信息模型包含丰富的内容，而目标区域的三维地形信息是重要内容之一。三维地形通常通过大量地面点空间坐标和地形属性数据来描述^[1]。密集匹配是通过摄影测量基本原理中同名点前方交会得到地面点坐标的思想，在空中三角测量结果的基础上，通过各种匹配算法获得测区密集点云的一种方法，其特点是可以生成密度非常高的地面点^[2]。常用的影像匹配方法有两种：（1）基于像方灰度的匹配算法，如相关系数法、相关函数法、协方差函数法、差平方和法、差绝对值和法、最小二乘影像匹配法；（2）基于特征匹配的算法，如金字塔多级影像匹配算法、SIFT算法等。无人机摄影测量技术软硬件设备发展迅速，使得影像获取更为便捷，计算机视觉重建技术的进步，提高了无人机影像匹配点云技术的质量和精度。无人机影像数据预处理后通过密集匹配得出的三维点云，数据集保留了目标场景的纹理与色彩信息，但无人机点云不含有LiDAR点云数据所包含的强度、回波等信息。如何从无人机点云数据中分离出地面点与非地面点是重点的研究对象。

3 工程实例

3.1 工程概况

引哈济党调水工程的任务是将苏干湖水系的大哈尔腾河河水调至党河流域，主要解决敦煌月牙泉及西湖国家自然保护区的生态用水和阿克塞县城生活生产用水。引哈济党调水工程主要包括取水枢纽、输水管道、输水隧洞、梯形明渠、暗涵等输水建筑物。设计最大引水流量 $12.0\text{m}^3/\text{s}$ ，年调水量为 $1.0\text{亿}\text{m}^3$ ，调水期为4~9月。

该工程可行性研究阶段需要对线路沿线进行1:2000大比例尺带状地形图测绘工作，面积约800平方公里，范围如图1所示。



图1 引哈济党测图范围

引哈济党调水工程行政区划位于酒泉市敦煌、阿克塞和肃北三县（市），其中调水区位于阿克塞县境内的建设乡的全部以及团结乡的大部分，收水点为阿克塞县调蓄池及党河水库。测区属于戈壁丘陵地形，线路经过的党金山海拔约3500米，整个测区高差达到1000米以上。测区气象条件复杂、工期紧张，采用飞马垂直起降固定翼无人机V100进行作业。

3.2 实施方案

本次航测数据采集使用V100无人机航空摄影测量系统进行作业，搭载SONY RX1R II系列数码相机。整个测区划分为16个架次，设计测区相对行高940m，航向重叠度为80%，旁向重叠度为65%，影像分辨率为0.15m，分区进行处理。主要参数如表1和表2所示。

表1 相机参数

相机类型	SONY RX1R II
像幅尺寸	35.9mm×24mm（全画幅）
像素	4200万（7952×5304）
镜头焦距	35mm定焦

表2 V100无人机参数

机身设计	垂直起降固定翼结构
翼展	2.4米
机身长度	1.68米
起飞重量	8.5kg
起飞方式	垂直起降
巡航速度	18m/s
RTK/PPK	垂直方向2cm+1ppm，水平方向1cm+1ppm
抗风能力	6级

4 数据预处理

PhotoScan是俄罗斯公司Agisoft开发的一款基于影像自动生成高质量三维模型的优秀软件。PhotoScan无须设置初始值，无须相机检校，它根据最新的多视图三维重建技术，可对任意照片进行处理，无需控制点，而通过控制点则可以生成真实坐标的三维模型。利用V100无人机航空摄影测量系统获取的影像经过软件处理，生成点云、DOM、DEM。如图2、图3所示，生成的测区数字产品色彩鲜艳、纹理清楚。

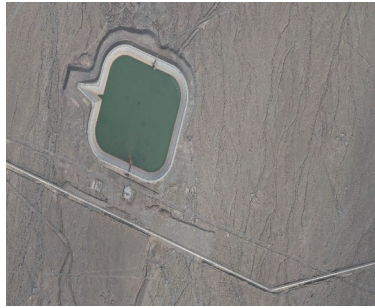


图2 DOM数据

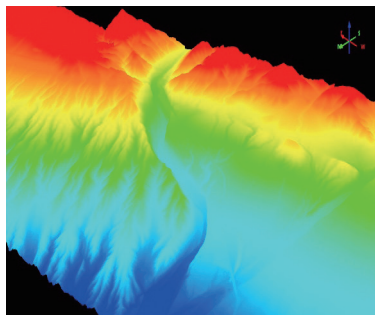


图3 DEM数据

5 匹配点云数据处理

由于镜头畸变、相片质量、匹配误差等因素的影响，无人机影像匹配的点云数据存在大量的噪点、边界模糊区域、水面漏洞等状态。点云的处理、滤波关系到最终产品的精度高低。

5.1 点云粗差的处理

点云处理采用TerraSolid软件进行，TerraSolid软件系列是第一套商业化LiDAR数据处理软件，由总部位于芬兰赫尔辛基的TerraSolid Oy公司开发。TerraSolid软件的主要模块是基于Microstation开发的插件系统，运行于Microstation系统之上，其中主要包括：TerraMatch、TerraScan、TerraModeler、TerraPhoto等模块。TerraSolid软件系列能够快速的载入点云数据。其中的TerraScan模块用来处理数以千万计的点云数据。从生成的点云数据高程角度分析，粗差点高程大致分为两种。一种为明显高于或低于目标区域地物高程点的点云异常点，另一种为局部地区异于临近地物点的点云异常点。在载入无人机点云数据后，通过设置不同的参数，分类出低于地面的点和孤立点，剔除这些明显的粗差点。在此基础上，分类出关键模型点，通过计算，此时的点云数据已经没有明显的粗差点，可以进行分类地面点的工作。

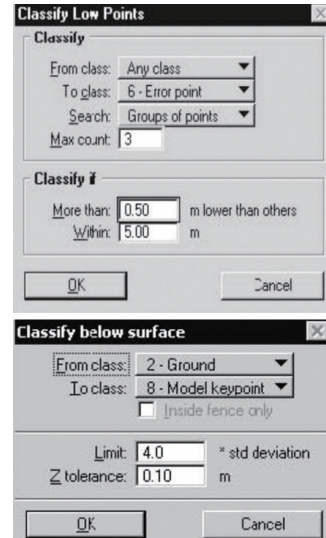


图4 粗差点分类参数

5.2 点云数据分类与信息的提取

利用TerraScan模块中的地面点分类功能进行数据的分类与信息的提取，可通过设置参数，先进行建筑物、道路等硬表面点的提取与分类，利用植被指数功能进行植被的滤波提取，最后分类出地面点，并对分类后的地面点进行平滑处理。对于因为参数设置残留的未分类的点，采用人工干预分类的方式，进行分类。最后利用清华山维EPS与CASS软件进行DLG数据的生产加工，最终生产1:2000比例尺DLG数据。

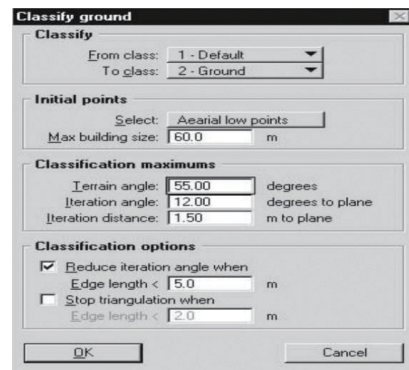


图5 地面点分类参数

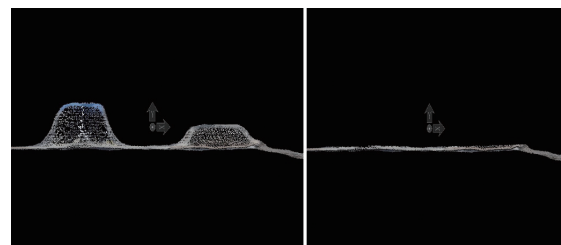


图6 点云地物滤波

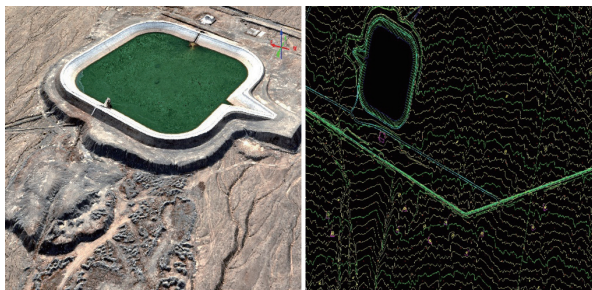


图7 滤波后的点云与DLG

6 精度分析

判读成图精度是否满足国家规范要求，是验证成图方法的必要环节^[3]。为了验证数据精度，需要

计算生产数据与实测检查点的平面与高程中误差。

$$m = \pm \sqrt{\sum_{i=0}^n (\Delta i \Delta i) / n}$$

式中， m 表示数据中误差， Δi 表示检查点的不符值， n 表示评定精度的点数。

检查点利用RTK实测采集，主要采集线路关键位置的地物与地貌点，均匀分布在每个区块中。经过统计计算，平面中误差为0.22m，高程中误差为0.32m。对比《低空数字航空摄影测量内业规范》，生产精度满足规范要求。部分精度统计如表3所示。

表3 部分检查点精度统计

点号	实测数据			匹配点云数据			差值		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
1	**6405.580	**22551.520	1434.000	**6405.240	**22551.720	1434.200	0.34	0.20	0.20
2	**6834.610	**24769.860	1428.890	**6834.610	**24770.210	1429.040	0.01	0.35	0.15
3	**6770.160	**25065.460	1459.760	**6770.150	**25065.310	1459.980	0.01	0.15	0.22
4	**8976.770	**04287.200	1525.300	**8976.570	**04287.430	1525.040	0.20	0.23	0.26
5	**9115.520	**01269.800	1539.520	**9115.240	**01269.590	1539.740	0.28	0.21	0.22
6	**8617.770	**96549.320	1595.090	**8617.520	**96549.620	1595.270	0.25	0.30	0.18
7	**4770.070	**89699.230	1677.150	**4769.800	**89699.450	1677.290	0.27	0.22	0.14
8	**9045.240	**78146.110	2035.290	**9045.280	**78145.990	2035.090	0.04	0.12	0.20
9	**9990.090	**98672.500	1601.850	**9989.890	**98672.780	1602.040	0.20	0.28	0.19
10	**7351.400	**98307.610	1683.440	**7351.640	**98307.470	1683.650	0.24	0.14	0.21

7 结语

本文通过对无人机匹配点云数据特点的研究并结合LiDAR点云数据处理技术，对匹配点云数据进行处理分析，成功分类出目标区域的地面地物信息，并生产出符合国家规范要求的数字产品。作为一项新的航空摄影测量技术手段，随着软件、硬件的提升与数据处理技术的不断完善，无人机影像点云处理技术在水利水电、城市规划、土地调查、交通设计等工程项目中会起到更加积极的作用^[4]。同时如何真正运用无人机点云处理技术准确分类出地面点信息，滤波各参数如何选择等问题，还有待于在不同项目中积累、探索和研究。

参考文献：

[1] 段延松 无人机测绘生产[M].武汉:武汉大学出版

社,2019.

- [2] 王佩军 徐亚明 摄影测量学[M].武汉:武汉大学出版社2005.
- [3] 何敬 李永树 徐京华 等无人机影像制作大比例尺地形图实验分析[J].测绘通报,2009,(08):29-32.
- [4] 李鑫龙 林浩 王庆国 史金秋 无人机影像匹配点云技术在大比例尺地形测图中的应用[J].水利水电测绘,2019,(04):8-10.
- [5] 李德仁,邵振峰,杨小敏.从数字城市到智慧城市的理论与实践[J].地理空间信息,2011,9(06):1-5+7.
- [6] 张祖勋,陶鹏杰.谈大数据时代的“云控制”摄影测量[J].测绘学报,2017,46(10):1238-1248.
- [7] 朱庆,李世明,胡翰,钟若飞,吴波,谢林甫.面向三维城市建模的多点云数据融合方法综述[J].武汉大学学报(信息科学版),2018,43(12):1962-1971.
- [8] 杨必胜,梁福逊,黄荣刚.三维激光扫描点云

- 数据处理研究进展、挑战与趋势[J].测绘学报,2017,46(10):1509-1516.
- [9] 龚健雅,季顺平.摄影测量与深度学习[J].测绘学报,2018,47(06):693-704.
- [10] 魏征.车载LiDAR点云中建筑物的自动识别与立面几何重建[D].武汉:武汉大学,2012.
- [11] 奚歌,张福坤,颜培胜,杨智翔.基于miniLiDAR的山地大比例尺地形图测绘应用研究[J].水利规划与设计,2018,No.172(02)177-181.
- [12] 徐子扬.无人机航摄点云测图技术在夹岩水利枢纽建设中的应用与研究[J].水利规划与设计,2019,No.183(01)146-148.
- [13] 孙治华.四旋翼微型无人机在大比例地形图中的应用[J].水利规划与设计,2018,No.179(09)161-164.
- [14] 贺涛.无人机实景建模技术在水利工程地质测绘中的应用[J].水利规划与设计,2019,No.185(03) 121-122.
- [15] 段建肖,廖立兵,肖鹏,肖云华.UAV及Smart3D整合技术在水利水电工程地质勘察中的应用[J].水利规划与设计,2018,No.172(02)108-111.
- [16] 孙洋.无人机遥感技术在水土保持监测中的应用[J].水利规划与设计,2017,No.164(06)89-92.
- [17] 李煜东.无人机倾斜摄影技术在大型水利桥闸除险加固工程中的应用[J].水利规划与设计,2019, No.193(11)133-136.