

doi: 10.7690/bgzd.2019.10.009

# 无人机航空摄影在国土测量中的应用与实现

赵云辉, 朱可

(天津航天中为数据系统科技有限公司飞行作业中心, 天津 300300)

**摘要:** 为提高国土测量的效率和精度, 提出一种基于无人机航空摄影的国土测量方法。介绍无人机航空摄影在国土测量中的应用实现, 包括原始影像获取、参考坐标转换、数据处理和线划图制作, 并对成果数据进行中误差验证。结果表明: 该方法能满足国土测量工程需要的精度, 大大提高测量效率, 为国土测量提供有效的技术支持。

**关键词:** 航空摄影; 坐标转换; 数据处理; DLG 制作

**中图分类号:** TP391.41 **文献标志码:** A

## Application and Implementation of UAV Aerial Photography in Land Survey

Zhao Yunhui, Zhu Ke

(Flight Operations Centre of Tianjin Zhongwei Aerospace Data System Technology Co., Ltd., Tianjin 300300, China)

**Abstract:** In order to improve the efficiency and precision of land survey, this paper proposes a land survey method based on aerial photography of UAV. This paper introduces the application and implementation of UAV aerial photography in land survey, including original image acquisition, reference coordinate transformation, data processing and DLG production, and verifies the error of the results. The results show that this method can meet the precision of land survey, greatly improve the measurement efficiency, and provide effective technical support for land survey.

**Keywords:** aerial photography; coordinate conversion; data processing; DLG production

### 0 引言

近年来, 国土测量需求量不断加大, 根据《国务院关于开展第三次全国土地调查的通知》《中华人民共和国土地管理法》等有关规定, 国务院决定自 2017 年 10 月到 2019 年底开展第三次全国土地调查, 并在 2020 年汇总全国土地调查数据。由于任务大、时间短, 传统的人工测量效率低, 对于山区和其他地形复杂区域, 人员很难到达指定区域, 如何开展快速高精度的国土测量, 已成为行业急需解决的一项重要工作<sup>[1-2]</sup>。

针对以上问题, 笔者通过对无人机航拍重叠率的合理设置, 以及对控制点的规范化布设, 把位置及高度中误差控制在合理的范围内, 大大提高了国土测量精度及效率, 可广泛应用于国土测量。

### 1 影像获取

笔者做了数次实验, 典型实验区域情况如表 1 所示。

实验选取的任务区域包含了房屋、道路、农田等地物类型, 面积约为 0.2 km<sup>2</sup>。笔者使用小型多旋翼搭载 FC330 相机, 要求原始照片分辨率优于 5 cm

且成果满足 1:500 比例尺, 航向重叠度 70%, 旁向重叠度 50%。通过计算得出实际飞行高度, 再根据重叠率计算出拍照间距和行间距, 然后设定飞行航线, 进行原始影像获取。

表 1 实验区域

序号	实验区域	区域面积/km <sup>2</sup>	区域简介
1	天津滨海新区	3.0	房屋、道路
2	天津塘沽区	10.0	房屋、建筑
3	天津大港区	5.0	废墟、道路
4	河北保定市区	0.2	房屋、道路、农田
5	河北廊坊某村	2.1	房屋、道路、农田
6	山东德州齐河县	0.3	房屋、道路
7	山东潍坊港	50.0	沙滩、岸线
8	山东烟台蓬莱	15.0	沙滩、房屋
9	海南儋州海域	6.0	沙滩、道路
10	海南陵水海域	28.0	沙滩、海岛

#### 1) 飞行高度确定。

飞行中, 相机垂直于地面, 根据中心投影原理, 不考虑地面起伏时, 一定飞行高度下单张照片地面分辨率相同。如图 1, 设相机像元长边为  $a$ , 相机焦距为  $f$ , 飞行高度为  $H$ , 地面分辨率为  $r$ , 以上变量单位为 m。

根据相似三角形原理:

$$H = fr/a. \quad (1)$$

收稿日期: 2019-04-16; 修回日期: 2019-05-30

作者简介: 赵云辉(1984—), 男, 山东人, 硕士, 工程师, 从事无人机飞行控制技术、无人机应用、无人机航测研究。E-mail: zhaoyunh1@126.com。

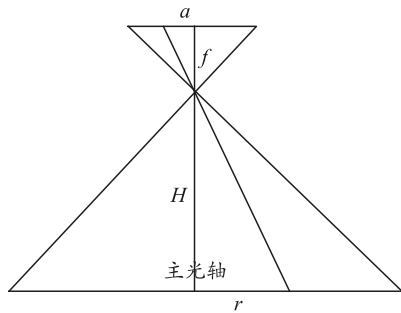


图 1 飞行高度计算原理

2) 行间距和拍照间距确定。

飞行前，需要根据单张照片地面覆盖范围及重叠率确定拍照间距和行间距。设相机航向重叠率为  $p_1$ ，旁向重叠率为  $p_2$ ，单张照片相幅为  $x \times y$ ，拍照间距为  $d_1$ ，行间距为  $d_2$ 。其中， $p_1$ 、 $p_2$  为 0~100% 的百分数， $x$ 、 $y$ 、 $d_1$ 、 $d_2$  单位为 m。如图 2，以拍照间距计算为例，计算出：

$$d_1 = y(1 - p_1); \tag{2}$$

$$d_2 = x(1 - p_2). \tag{3}$$

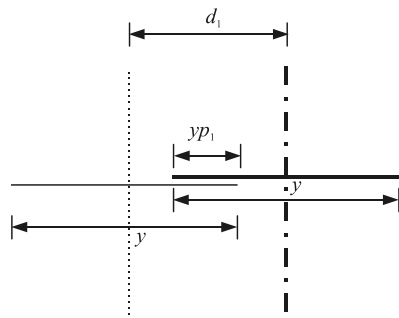


图 2 行间距与拍照间距原理

文中设置的旁向重叠率为 40%，航向重叠率为 70%，保证图像拼接对重叠率的要求。

3) 航线规划与原始影像获取。

确定好拍照间距和行间距后，将初始化数据写入飞控无人机就可按照设定航线进行任务。获取测区影像如图 3 所示。

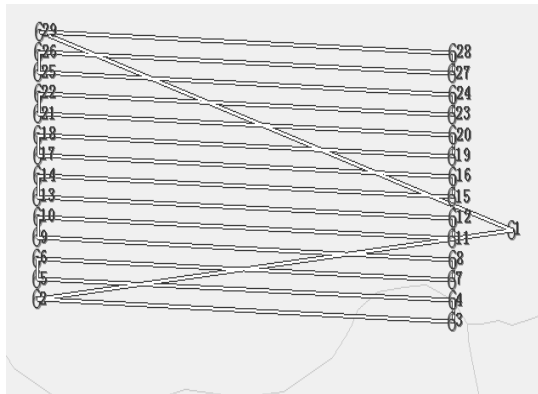


图 3 航线规划

## 2 像控测量

实验中按照无人机航测的基本要求进行像控点和精度检查点的布设，根据多年无人机航摄作业经验及摄影测量外业要求，选取的控制点均需满足 3 点要求：1) 点位信息明确；2) 点位分布均匀合理；3) 点位选择中尽量减少房角、墙角等位置。此次任务共布设 28 个平高点，6 个精度检查点<sup>[3]</sup>。像控点分布情况如图 4 所示。



图 4 像控点分布

## 3 坐标转换

实验中，成果要求参考坐标系为某地地方坐标系，飞行采集的 pos 数据以 84 坐标系为参考，需要经过坐标转换把飞行数据 pos 信息转换为当地坐标，然后再进行数据处理。常用的坐标转换算法有三参数法、四参数法、七参数法<sup>[4]</sup>。七参数法一般用于 2 个空间坐标系之间的旋转、平移和缩放，采用不一样的椭球基准时一般选用七参数法，即 X 平移、Y 平移、Z 平移、X 旋转、Y 旋转、Z 旋转和尺度变化 K。三参数法一般用于要转换的坐标系 XYZ 3 个方向是重合的情况，并且现在的坐标比例大多数都是一致的，缩放比默认为一，即 X 平移、Y 平移和 Z 平移。四参数法一般用于同一个椭球系统的不同平面坐标系之间的转换，即 X 平移、Y 平移、旋转角度  $\alpha$  和尺度变化 K。

因为实验中涉及不同参考系之间的坐标转换，所以采用布尔沙模型即七参数法。七参数模型如下：

$$\begin{bmatrix} X_d \\ Y_d \\ Z_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + (1+k)R(\alpha)R(\beta)R(\gamma) \begin{bmatrix} X_{84} \\ Y_{84} \\ Z_{84} \end{bmatrix}. \tag{4}$$

其中： $X_d$ 、 $Y_d$ 、 $Z_d$  为当地坐标； $X_0$ 、 $Y_0$ 、 $Z_0$  为平移参数； $k$  为比例参数； $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  为旋转参数； $X_{84}$ 、 $Y_{84}$ 、 $Z_{84}$  为 GPS 测得的 84 坐标系下参数<sup>[4]</sup>。

实验中测得基准点如表 2 所示。

表 2 基准点坐标

序号	纬度	经度	高度/m	北坐标/m	东坐标/m	高程/m
1	038°52'14.83"	115°35'05.94"	100.862	41 148.9	49 725.84	103.141
2	038°52'15.39"	115°35'05.08"	101.046	41 166.09	49 705.10	103.324
3	038°52'21.88"	115°35'05.94"	101.080	41 366.18	49 725.56	103.351
4	038°52'12.70"	115°35'04.80"	101.519	41 083.03	49 698.37	103.799

经过计算可得出七参数如下：

$$\begin{aligned}
 X_0 &= 4\ 263\ 010.331\ 161, \\
 Y_0 &= 460\ 054.696\ 558, \\
 Z_0 &= 1.036\ 954, \\
 \alpha &= 0.000\ 099\ 661\ 4, \\
 \beta &= 0.000\ 039\ 683\ 0, \\
 \gamma &= 0.000\ 082\ 487\ 0, \\
 k &= 0.0000\ 532\ 061\ 31.
 \end{aligned}$$

以上七参数中误差在允许范围内，所以此组结果可作为转换应用。由七参数可把无人机飞行数据的 GPS 坐标转换为当地坐标，然后进行数据处理。

#### 4 数据处理

数据前期准备完成后，需要用数据处理软件 Pix4d 进行相应数据处理，整个流程包括数据准备、影像预处理、空中三角测量、数字表面模型 (digital surface model, DSM) 及数字正摄影像 (digital orthophoto map, DOM) 制作等步骤。

在完成 DSM 和 DOM 成果制作后，需要对成果

精度进行检验<sup>[5]</sup>，以确定成果位置精度以及数据处理方法的可靠性。检查点在 X 和 Y 方向的中误差、平面位置中误差、高程中误差的计算公式如下：

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_{Ti} - X_{Gi})^2]}{n}}; \quad (5)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(Y_{Ti} - Y_{Gi})^2]}{n}}; \quad (6)$$

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_{Ti} - X_{Gi})^2 + (Y_{Ti} - Y_{Gi})^2]}{n}}; \quad (7)$$

$$RMSE_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(H_{Ti} - H_{Gi})^2]}{n}}. \quad (8)$$

式中：RMSE 为中误差； $X_{Ti}$ 、 $Y_{Ti}$ 、 $Z_{Ti}$  为图上点； $X_{Gi}$ 、 $Y_{Gi}$ 、 $Z_{Gi}$  为实际测量点； $n$  为检查点数量，计算结果单位为 m。

表 3 为实验的计算处理结果，表 4 为所有实验区域的中误差计算结果。

表 3 实验中误差计算

点名	图上位置 Y	图上位置 X	控制点位置 Y	控制点位置 X	图上高程 H	控制点高程 H	距离 Δ	高差 Δ
6	44 703.945	46 094.924	44 703.907	46 094.986	15.74	15.34	0.073	0.10
10	44 664.761	46 216.064	44 664.677	46 215.990	13.94	13.54	0.111	0.02
21	44 839.876	46 155.711	44 839.881	46 155.618	17.89	17.29	0.093	0.10
23	44 785.062	46 283.274	44 784.954	46 283.243	17.83	17.11	0.113	0.12
31	44 956.717	46 224.164	44 956.669	46 224.241	20.26	20.66	0.091	0.10
33	44 903.864	46 343.117	44 903.752	46 343.039	20.51	20.24	0.137	0.17
中误差							0.02	0.10

表 4 10 次实验中误差计算结果

序号	实验区域	平面中误差	高程中误差
1	天津滨海新区	0.015	0.12
2	天津塘沽区	0.020	0.11
3	天津大港区	0.018	0.10
4	河北保定市区	0.020	0.10
5	河北廊坊某村	0.021	0.14
6	山东德州齐河县	0.022	0.09
7	山东潍坊港	0.016	0.13
8	山东烟台蓬莱	0.014	0.10
9	海南儋州海域	0.017	0.11
10	海南陵水海域	0.020	0.10

根据 GB/T 7930—2008 标准规范，表中检查结果平面位置中误差在 0.014~0.022 m，高程中误差

在 0.09~0.14 m，满足 1:500 地形图精度要求<sup>[6]</sup>。

#### 5 数字线划图制作

地形图生产采用 EPS2016 立体测图系统，对建筑物、道路、农田、公用设施和公共绿化等进行立体测图。立体测图中遵循“先整体后局部”的作业原则，该软件生产时可以实现二三维分屏显示立体测图，实现影像、模型、矢量的同步联动，点线面的立体编辑，完成 1:500 地形图室内交互立体测绘<sup>[7]</sup>如图 5 所示。

- 究[J]. 中国机械工程, 2012, 23(14): 1693-1697.
- [2] GEORGE E. Control System Design Guide[M]. Oxford, INGRAM INTERNATIONAL INC, 2003: 95-112.
- [3] 胡强晖, 胡勤丰. 全局滑模控制在永磁同步电机位置伺服中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2011(18): 61-66.
- [4] 翟少成, 孟光伟, 姚琼荃. PMSM 位置伺服系统的离散积分变结构控制[J]. 电机与控制学报, 2003(2): 136-138.
- [5] 曹先庆, 朱建光, 唐任远. 基于模糊神经网络的永磁同步电机矢量控制系统[J]. 中国电机工程学报, 2006(1): 137-141.
- [6] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 3 版. 北京: 机械

工业出版社, 2003: 59-96.

- [7] KATSUHIKO O. 现代控制工程[M]. 卢伯英, 于海勤, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2003: 653-655.
- [8] VITECKOVÁ M, VITECEK A I. Two-degree-of-freedom controller tuning for integral plus time delay plants[J]. ICIC International, 2008, 2(3): 225-229.
- [9] Radu-Emil Precup. Fuzzy Controllers With Maximum Sensitivity for Servosystems[J]. 2007, 54(3): 1298-1310.
- [10] LI M, CHENG Q M, CHEN G, et al. Two-degree-of-freedom control of permanent magnet synchronous servo motor[J]. Motor and Control Application, 2014, 41(10): 1-5.

\*\*\*\*\*  
(上接第 43 页)



图 5 二三维立体测

完成地形图内业立体测图后, 需要进行外业调绘, 复核地物的完整性及保证成图的精度。调绘主要包括房屋、电杆、道路和市政设施等主要地物的调绘<sup>[8]</sup>。

相对于人工测量, 投入同样人工情况下, 基于无人机航空摄影国土测量效率是人工的 4 倍以上。

## 6 结束语

笔者采用加大重叠率的方法, 在保证飞行姿态的基础上使原始数据质量得到很大提升, 接着对控制点进行了规范化的布设, 提高了数据的控制精度,

并计算了  $X$  和  $Y$  方向中误差、平面位置中误差和高程中误差。实验结果表明: 该设计满足国家相应比例尺下的误差标准, 达到国土测量要求精度, 提高了测量效率, 并成功应用到后续项目中, 效果良好。

## 参考文献:

- [1] 李长文, 候江涛. 现代测绘技术在国土测绘中的应用[J]. 城市建设理论研究, 2017(25): 10-18.
- [2] 早熟古力·吐尔逊. 浅谈测绘在国土资源管理中的应用[J]. 价值工程, 2010(3): 33-35.
- [3] 郭学林. 航空摄影测量外业[M]. 北京: 郑州黄河水利出版社, 2011: 85-88.
- [4] 周宾喜, 崔文刚, 李云, 等. 七参数法在 GPS-RTK 测量中的运用分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2019(5): 26-29.
- [5] FAN H C, ZIPF A, FU Q, et al. Quality assessment for building footprints data on OpenStreetMap[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014(2): 40-46.
- [6] 1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量内业规范[S]. 中国国家标准化管理委员会, 2018: 12-15.
- [7] KERSCHNER M T. Snakes for Determining SeamLines in Orthoimage Mosaicking[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000(6): 23-26.
- [8] 张亮, 王洵, 陈庆, 等. 基于地理国情普查数据更新 1:10000 DLG 的方法[J]. 地理空间信息, 2017(7): 44-48.