

基于无人机遥感影像精度的影响因素分析

吴长悦 赵文

(华北理工大学矿业工程学院, 河北 唐山 063210)

摘要:近年来测绘行业正逐渐采用新的方式获取数据,不再依赖传统的测绘方法,特别是无人机测绘技术在农业和林业等领域得到广泛应用。随着 RTK 实时差分技术的进步,人们能够迅速获取高精度的无人机遥感图像。然而无人机遥感图像的精度受多种因素影响。本研究通过对比实验,重点探讨了航高变化和引入像控点对无人机影像精度的影响,尽可能保持其他可控因素不变的情况下进行对比验证,得出以下结论:通过降低航高可以有效提高测绘面的成图精度,高度变化不大的情况下不会影响位置精度;实时 ORTK 差分技术可以实现小区域内免像控测量,而加入控制点可以进一步提高位置精度;合理布设控制点可以进一步提高影像精度,其效果明显优于免像控测量,尤其在高程精度上提高明显,控制点布设不合理会起到反作用。

关键词:影像分辨率;像控点;RTK 实时差分;无人机遥感图像

中图分类号: S127

文献标识码: A

DOI: 10.19754/j.nyyjs.20230730016

引言

无人机技术在现代农业^[1]和林业^[2]测绘中扮演着越来越重要的角色。相较于传统测绘方式,无人机测绘具有更高的效率和准确度,而且节约了大量的时间和人力资源^[3]。尤其是随着动态 RTK 差分技术的发展,无人机测绘成为一种快速而精确获取地面数据的方法,可获取包括地形、地貌和地物等方面的信息。这些数据在土地规划、林业资源调查、植被变化检测等领域发挥着重要作用,为农业和林业等行业的发展提供了重要支持。

在无人机遥感中,正射影像和 DSM 是最为重要的成果之一^[4]。正射影像是一种数字测绘产品,能够提供地物的空间平面位置和影像特征,具备几何精度和数学精度。而 DSM 则呈现地物表面的高低起伏,对地理地形和地貌的研究具有重要意义,同时也是测量植被面积的关键数据。对于无人机摄影测量精度的影响因素,主要包括影像分辨率、相机参数、地面像控点、POS 定位精度与影像质量和重叠率几方面^[5]。因此,如何提高影像分辨率和位置精度成为利用无人机遥感技术时需要解决的重要问题。针对以上情况,本研究选定了华北理工大学 D 区的一区域作为研究区域,拟开展以下 2 个方面的研究:比较不同航高对影

像分辨率的影响,以及航高变化是否会影响位置精度;探究在平坦地区是否可以实现免像控测量^[4,6],通过比较像控点数量和布设方案,研究控制点对无人机遥感图像位置精度的影响。

1 影像分辨率

无人机影像的分辨率通常以地面采样距离(GSD, Ground Sample Distance)来表示,即一个像素所代表的实际地面面积。这与无人机的航高(飞行高度)有关,航高可以分为相对高度和绝对高度。相对高度指的是飞机相对起飞点的飞行高度,而绝对高度则是相对于平均海平面的飞行高度。在实验中,使用的航线起点不是以平均海平面或起飞点为基准,而是以固定或非固定的边坡斜面为参考,这样计算出的航高表示飞机与测绘面的距离。无人机影像的分辨率取决于航高、相机焦距和像元大小,见式(1)。虽然影像的分辨率还受到其他不可控因素的影响,但在相机参数确定的情况下,航高对影像分辨率的大小起到了决定性作用。

$$H = \frac{f \times GSD}{a} \quad (1)$$

式中, f 为物镜镜头焦距; a 为像元尺寸; H 为航高; GSD 为地面分辨率。

收稿日期: 2023-05-29

作者简介: 吴长悦(1971-),男,硕士,副教授,高级工程师。研究方向:摄影测量与遥感;通讯作者赵文(1999-),男,硕士在读。研究方向:摄影测量与遥感。

2 RTK 实时差分技术和像控点

随着实时动态差分技术 (RTK)^[6,7] 的不断改进, 无人机机载 GPS 数据可以与附近或网络 GPS 基准站的数据进行耦合计算。在后续的数据处理过程中, 通过精确匹配和融合这些数据, 可以消除卫星、大气和多路径效应引起的误差。这样, 在航拍瞬间就可以得到具有厘米级精度的像片外方位元素 (包括 3 个线元素: X_s 、 Y_s 、 Z_s) 以及通过机载惯性测量单元 (IMU) 获取的姿态信息 (包括 3 个角元素: φ 、 ω 、 κ)。这种方法可以取代传统的地面控制点参与空中三角测量, 通过共线方程进行目标物像点从像平面坐标系到物点地面测量坐标系的解算, 见式 (2) 和式 (3)。

$$x = -f \frac{a_1(X + X_s) + b_1(Y + Y_s) + c_1(Z + Z_s)}{a_3(X + X_s) + b_3(Y + Y_s) + c_3(Z + Z_s)} \quad (2)$$

$$y = -f \frac{a_2(X + X_s) + b_2(Y + Y_s) + c_2(Z + Z_s)}{a_3(X + X_s) + b_3(Y + Y_s) + c_3(Z + Z_s)} \quad (3)$$

式中, x 、 y 为以像主点为原点的像点坐标; X 、 Y 、 Z 对应地面点坐标; f 为像片主距; X_s 、 Y_s 、 Z_s 、 φ 、 ω 、 κ 为像片 6 个外方位元素; a_i 、 b_i 、 c_i ($i=1, 2, 3$) 是 φ 、 ω 、 κ 所生成的矩阵。

地面像控点在无人机摄影测量中具有重要约束能力^[4]。在一般地区地形变化较小的情况下, 可以减少或不使用像控点进行空中三角测量平差, 实现免像控测量。但在地形变化复杂或范围较大的区域, 以及无人机定位精度较低的测区, 仍然需要地面像控点来进行整体空中三角测量平差。地面像控点的精度、布设方案对最终的测量结果产生影响。根据理论要求, 至少需要 3 个地面控制点, 但在地形变化明显的区域, 应适当增加地面控制点的密度。因此, 合理确定引入地面像控点对于提高无人机遥感技术的位置精度至关重要。

3 对比实验

3.1 设备和软件介绍

大疆 2022 年推出的 DJI Mavic 3E 无人机在现代测绘中具备出色的性能, 见图 1。该无人机采用了 4/3 英寸的 CMOS 传感器, 有效像素为 2000 万, 同时其还拥有卓越的 RTK 定位精度, 水平方向为 1cm+1ppm, 垂直方向为 1.5cm+1 ppm (ppm 表示每移动 1km 的误差增加 1mm)。机身小巧, 重量仅 1050g, 单块电池续航时间达到 45min。该无人机配备了内置的航线规划

软件, 方便操作员使用遥控器进行航线规划。同时, 数据处理方面, 使用 DJI Terra 软件能够轻松上手, 并且与大疆无人机兼容性高。该飞机既提供高像素的图像质量, 又具备精准的定位能力和长久的续航时间。



图 1 DJI Mavic 3E

3.2 实验场地和控制点的采集

实验区域为华北理工大学 D 区区域 1, 见图 2, 测区东西长为 500m, 南北宽度约为 410m, 总面积为 202956.0m², 该区域包含了建筑物, 道路以及植被等其他地物, 较为符合无人机遥感图像精度影响因素检验的实验场地。

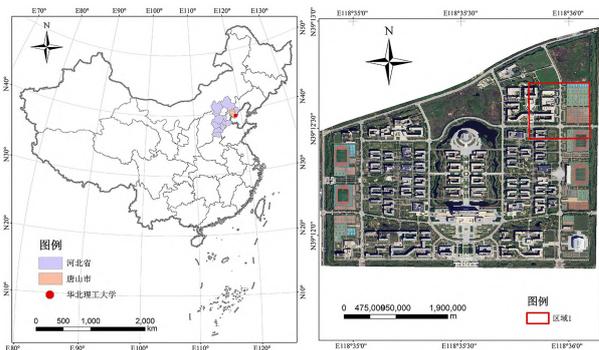


图 2 实验区域

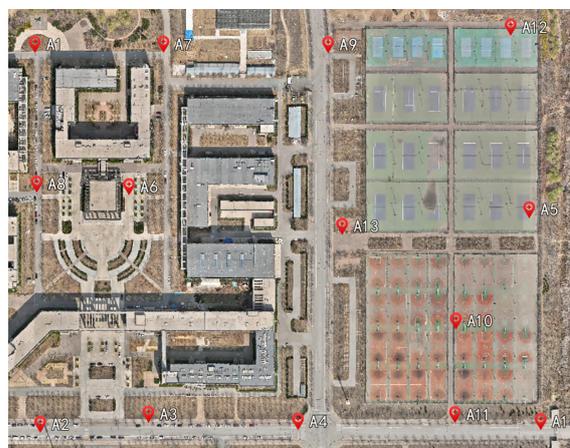


图 3 点位布设

像控点和检查点采集的设备为海星达 iRTK2, 所

有坐标点均以在卫星影像设计为主, 结合实地情况的方法进行。为了充分检查位置精度, 共布设坐标点(包含像控点和检查点) 14 个分别为 A1~A14, 坐标点的布设要求无遮挡, 且均匀分布, 从而提高内业带点位影像的个数, 提高刺点精度。坐标系采用坐标 CGCS2000, 点坐标数据的采集在该坐标系下通过, 采用 5 次平滑采样取值的方法获得, 点位分布见图 3, 控制点坐标见表 1。

表 1 坐标点位

点号	X	Y	Z
A1	*** 825. 890	*** 1905. 045	0. 014
A2	*** 831. 257	*** 1557. 622	-0. 122
A3	*** 926. 705	*** 1567. 099	-0. 063
A4	*** 064. 725	*** 1560. 890	0. 035
A5	*** 273. 883	*** 1754. 156	0. 106
A6	*** 911. 265	*** 1774. 657	0. 185
A7	*** 942. 316	*** 1904. 939	-0. 141
A8	*** 827. 523	*** 1776. 993	0. 186
A9	*** 091. 668	*** 1902. 023	0. 054
A10	*** 207. 672	*** 1652. 291	0. 242
A11	*** 206. 704	*** 1567. 140	0. 055
A12	*** 256. 642	*** 1914. 761	0. 279
A13	*** 104. 642	*** 1738. 748	0. 229
A14	*** 284. 408	*** 1561. 097	0. 021

3.3 实验流程

实验的技术流程: 了解测区范围→进行航线规划(规划检查点和控制点位置)→外业进行航测和坐标点测量→使用 DJITerra 内业数据处理→空三加密处理中设置控制点和检查点→二维建模重建→精度评定(获得成果报告)。

本次实验主要设置 4 组对照试验, 4 组实验均是在打开 RTK 实时差分模式。方案 1 和方案 2 分别为 60m 航高和 80m 航高下进行航测, 所有坐标点均设置为检查点。方案 3 和方案 4 均是将 4 个检查点改为控制点, 剩余 10 个仍为检查点, 方案 3 控制点集中于右侧分别为 A8、A6、A3、A7, 方案 4 的控制点均匀分布, 将 A4、A5、A8、A9 作为像控点。

该实验外业部分 60m 航高下共采集 757 张图像, 80m 航高下共采集 436 张图像, 在 DJITerra 中新建可见光任务, 将数据添加进工程文件中, 先设置输出坐标系后, 进行一边空三处理, 处理后在空三模块中的高级选项对坐标点进行导入, 为保证刺点精度, 对每个控制点保证 10 张以上的照片。将所有坐标点刺点完成后, 按照方案需求设置为检查点或者像控点, 然

后进行空三优化, 最后实现对测区二维地图的重建, 成果如图 4。

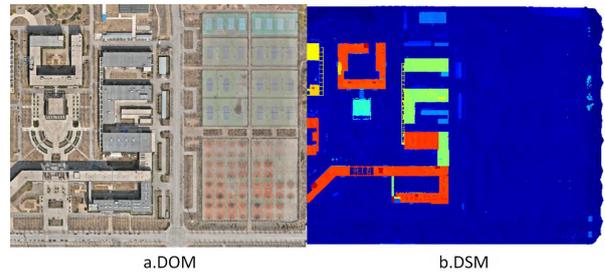


图 4 二维地图重建成果

4 精度分析

影像的绘图精度则采用真正射影像地面采样距离 GSD, 即一个像元表示实地距离的大小进行评价。

位置精度检查采用检查点平面误差、高程误差、平面中误差和高程中误差来进行精度评价, 计算公式见 (4) ~ (7), 检查点精度是二维重建成果位置精度的重要参考, 误差越小, 成果精度越高。

X 方向中误差:

$$dx = \sqrt{\sum_1^n (a_{n1} - a_{n2})^2 / n} \quad (4)$$

Y 方向中误差:

$$dy = \sqrt{\sum_1^n (b_{n1} - b_{n2})^2 / n} \quad (5)$$

高程中误差:

$$dz = \sqrt{\sum_1^n (Z_{n1} - Z_{n2})^2 / n} \quad (6)$$

平面中误差:

$$\Delta S = \sqrt{\sum_1^n ((a_{n1} - a_{n2})^2 + (b_{n1} - b_{n2})^2) / n} \quad (7)$$

式中, a_{n1} 、 a_{n2} 分别为 X 方向第 n 个点的测量值和真值的横坐标值; b_{n1} 、 b_{n2} 分别为第 n 个点的测量值和真值的纵坐标值; Z_{n1} 、 Z_{n2} 分别为第 n 个点的测量值和真值的高程值。

为保证实验准确性, 本实验控制点均方根误差均在 0.01m 范围内。经过对 4 种方案的检查点坐标误差分析, 如表 2 所示, 在实时差分模式下, 实验方案满足 1:500 大比例尺地形图精度要求, 能够实现免像控测量, 对比方案 1 和方案 2, 在小范围航高变化下, 地物点平面精度中误差和高程精度误差均大致相同在 0.05 数值范围内, 60m 相比于 80m 航高, GSD 更小, 所表示在正射影像上发现地物细节的能力越强。对比方案 2、方案 3 和方案 4, 表明控制点不均匀分布可能会对影像位置精度起到反作用, 加入合理像控点后

精度明显高于免像控精度，控制点对于高程位置信息的约束能力更强。

表 2 点位精度表

行高/m	dx/m	dy/m	dz/m	$\Delta S/m^2$	GSD/m
60 (方案 1)	0.030	0.040	0.042	0.050	0.016
80 (方案 2)	0.030	0.031	0.045	0.043	0.022
80 (方案 3)	0.028	0.019	0.053	0.034	
80 (方案 4)	0.010	0.020	0.019	0.023	

5 结论

本文分析了无人机遥感影像精度影响受航高和控制点因素的影响，随着 RTK 实时差分技术的成熟，使得无人机在小范围内测绘成图精度较高，但是加入控制点可进一步提高精度，因此在外界条件不佳时，可以通过合理布设控制点来提高精度。航高小幅度变化不会影响位置精度，但是可以提高分辨率。根据不同的情况，如何选择恰当的分辨率和位置精度用于实

际航测任务，还有待进一步的探究和分析。

参考文献

- [1] 张强, 高睿, 于国庆, 等. 垂起无人机免像控技术在无人农机路径规划中的应用 [J]. 中国农业信息, 2022, 34 (05): 33-39.
- [2] 杨晨, 孔维俊. 无人机技术在林业调查规划设计中的应用 [J]. 农业开发与装备, 2022 (09): 119-120.
- [3] 张继贤, 刘飞, 王坚. 轻小型无人机测绘遥感系统研究进展 [J]. 遥感学报, 2021, 25 (03): 708-724.
- [4] 尚海兴, 任超锋, 李祖锋, 等. 多旋翼无人机免像控点空三精度分析 [J]. 工程勘察, 2020, 48 (09): 52-56.
- [5] 张凯想. 无人机摄影测量技术在边坡变形监测中的应用研究 [D]. 唐山: 华北理工大学, 2022.
- [6] 倪凯. 基于精灵 4 RTK 无人机的 1:500 地形图免像控测量 [J]. 测绘技术装备, 2021, 23 (01): 57-59.
- [7] 吴俊. 基于大疆精灵 4 RTK 的实时差分模式航测精度分析 [J]. 电子技术, 2022, 51 (12): 14-15.

(责任编辑 常阳阳)