

无人机低空摄影测量中稀少像控方案对空三加密精度影响分析

崔雷 河北省水利水电勘测设计研究院

摘要：大比例尺地形图测绘工程中，传统外业数字测图技术和传统航空摄影测量已被无人机低空摄影测量替代，由于无人机低空摄影测量系统存在基高比小，像片畸变复杂、质量差、飞行姿态差等缺点，导致空三加密精度低，近年，PPK 技术应用在无人机航测，降低像控点布设密度，本文对带状地形图测绘稀少像控方案后的空三加密精度进行分析，实验更高效的作业方法。

关键词：无人机低空摄影测量；像控点；空三加密；

1 无人机低空摄影测量



图 1 飞马无人机示意图

无人机低空摄影测量是指以无人机为飞行平台，飞行高度在 50m-1000m，搭载小型数码相机获取高分辨率数字影像的航测系统，相对于传统大飞机航空摄影测量，具有以下特点：

1. 运行成本低、执行任务灵活、效率高，基本不受空中管制影响，可以根据天气事实变化灵活选择航飞活动。

2. 多角度获取高分辨率影像，弥补了传统航测容易遇到植被、建筑物遮挡而无法判读的缺陷。

3. 成本低，无人机航测系统操作、维护、维修简单。

无人机低空摄影测量得到众多测绘单位的青睐，是近几年发展的空间数据获取的重要方法之一，尤其对于水利工程地形图测绘，无人机航测已成为首要考虑的作业手段。

4. 无人机航测技术存在自身缺点：基高比小，像片畸变复杂、质量差、飞行姿态差，必须要布设足够的像控点以保证空三加密精度，而采用传统航测手段布设像控点，工作量巨大，

导致野外布设像控点的时间远多于获取影像的时间,尤其对于地形复杂测区,基本无法完成。

2 像控点布设方案



图2 像控点标志

当前,随着后差分(PPK)GNSS技术在无人机低空摄影测量中的应用,使无人机航测空三精度提升明显,从而可以大幅降低像控点布设密度,在减弱无人机其他不利因素(如畸变,筛选姿态稳定像片等)影像后,探讨稀少像控方案提升空三加密的可行性。

2.1 现行规范

依照现行测绘行业指导性技术文件标准 CHZ 3004-2010,对旁向航线布设平面控制点做出要求:

表1 旁向相邻平面控制点的航线跨度

比例尺	航线数
1: 500	4~5
1: 1000	4~5
1: 2000	5~6

对于根据像控点布设密度按以下公式进行精度估算:

$$M_s = \pm 0.28 \times K m_a \sqrt{n^3 + 2n + 46}$$

$$M_n = \pm 0.088 \times \frac{H}{b} K m_a \sqrt{n^3 + 23n + 100}$$

航测无人机相机型号为 SONY RX1R II 型数码相机,依照精度估算,若要满足大比例尺地形图 0.5m 等高距要求,图幅等高线高程允许中误差在平原区域 $\leq 0.166m$,n 取值为 2, $m_b=0.16m$,即每两张像片至少有一个像控点,显然对像控点提出更高要求,但考虑现实条件,

难以实现。

2.2 稀少像控方案

2.2.1 示例

实验数据选取带状河道，该区域以平原为主，海拔约 1375m，采用装配后差分 GNSS 设备的无人机进行航摄，共飞行一架次，飞行面积约 7.5km²，河道弯曲，航线尽量沿河道流向布置，如下：



图 3 航线图

架设基准站，并将接收频率调制最高 20Hz，记录仪高，为无人机 GNSS 设备提供差分解算数据。

根据规范要求，在确保成图精度的前提下，本着有利于缩短成图周期、降低成本、提高测绘综合效益的原则在表的范围内选择 GSD=5cm。航摄因子表如下：

表 2 航摄因子表

相机型号	像幅 (mm)	像元大小 (um)	焦距 (mm)
RX1R II	35.9×24	4.5	35
飞行参数	航向重叠	旁向重叠	分辨率 (cm)
	80%	60%	5
	航高 (m)	基线长 (m)	航线间隔 (m)
	388.9	53.3	159.5

2.2.2 像控点采集

像控点平面位置中误差不超过地物点平面位置中误差的 1/5，高程中误差不超过基本等高距 1/10，像控点布设形式均为靶标，像控点布设具体如下图所示：

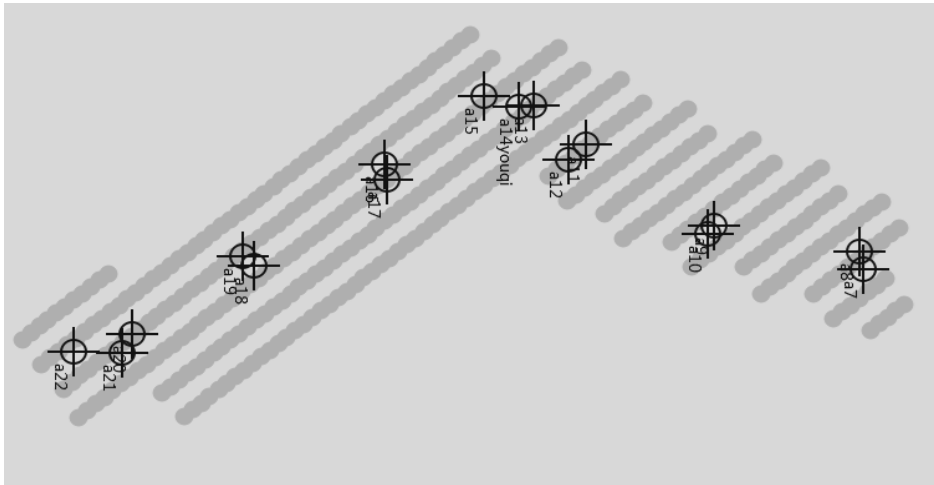


图 4 像控点布置图

3 空三加密及精度分析

3.1 数据处理流程

首先对原始影像进行预处理：筛掉质量差像片，影像匀光匀色，去畸变，对机载 GNSS 数据进行差分处理，差分频率设置均与 GNSS 最大值一致，为 20Hz，保证误差最小，利用天宝无人机空三加密软件 UASMaster 对影像数据进行处理，UASMaster 能处理与飞行获取的所有相关数据：已知相机标定参数（如通过以前计算获得的标定参数），高质量的 GNSS/IMU 地理参考数据等。这些附加的数据类型能使得 UASMaster 工程稳定，精确与自动化，最终进行精度评定。

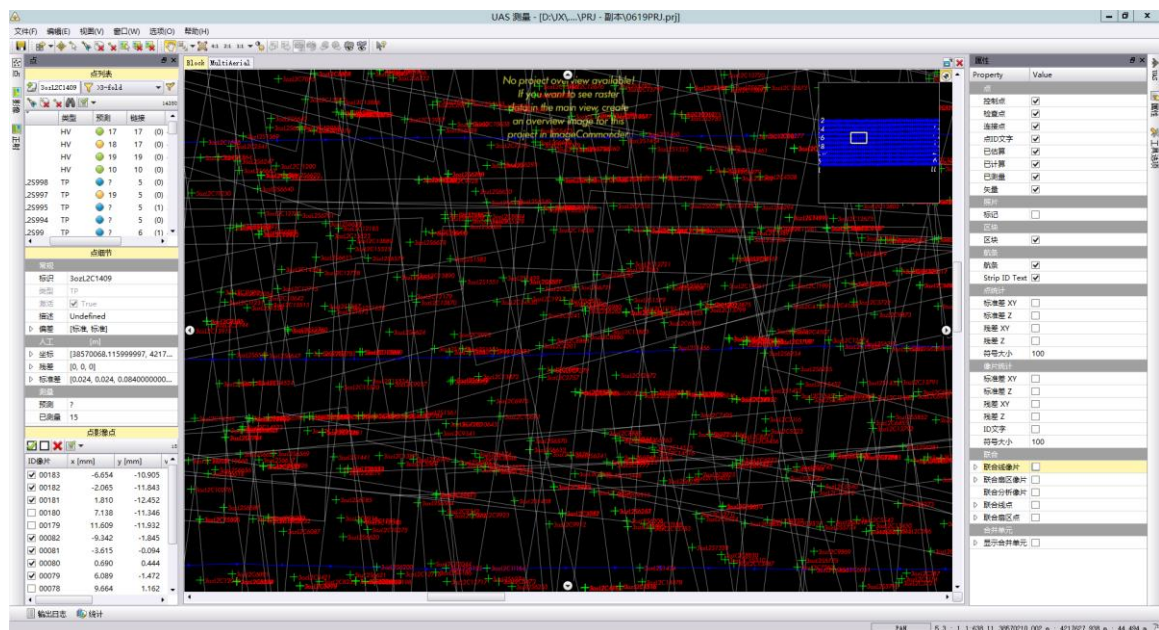


图 5 UASMaster 界面

3.2 空三加密中像控点设置方案

采取以下六种方案，进行空三解算。

- 1 方案：所有差分 GNSS 参与平差，全部像控点设置为检查点。
- 2 方案：取 a7, a8, a13, a15, a21, a22 作为平高点，所有差分 GNSS 坐标参与解算。
- 3 方案：取 a7, a8, a21, a22 作为平高点，所有差分 GNSS 坐标参与解算。
- 4 方案：所有像控点作为平高点，差分 GNSS 坐标参与平差解算。
- 5 方案：无差分 GNSS 情况下，取 a7, a8, a13, a15, a21, a22 作为平高点参与平差解算。
- 6 方案：无差分 GNSS 情况下，取所有像控点作为平高点参与平差解算。

利用不同像控点布设策略得出以下数据，用精度统计表、柱状图表示如下：

表 3 精度统计表

	Δs 最大值 (m)	Δs 最小值 (m)	Δh 最大值 (m)	Δh 最小值 (m)	Δs 中误差 (m)	Δh 中误差 (m)
方案 1	0.087	0.007	0.205	0.005	0.029	0.076
方案 2	0.044	0.002	-0.093	-0.001	0.020	0.032
方案 3	0.088	0.005	-0.535	0.007	0.025	0.243
方案 4	0.075	0.001	0.186	-0.004	0.022	0.056
方案 5	0.049	0.006	0.836	0.010	0.024	0.325
方案 6	0.041	0.005	0.248	-0.005	0.019	0.057

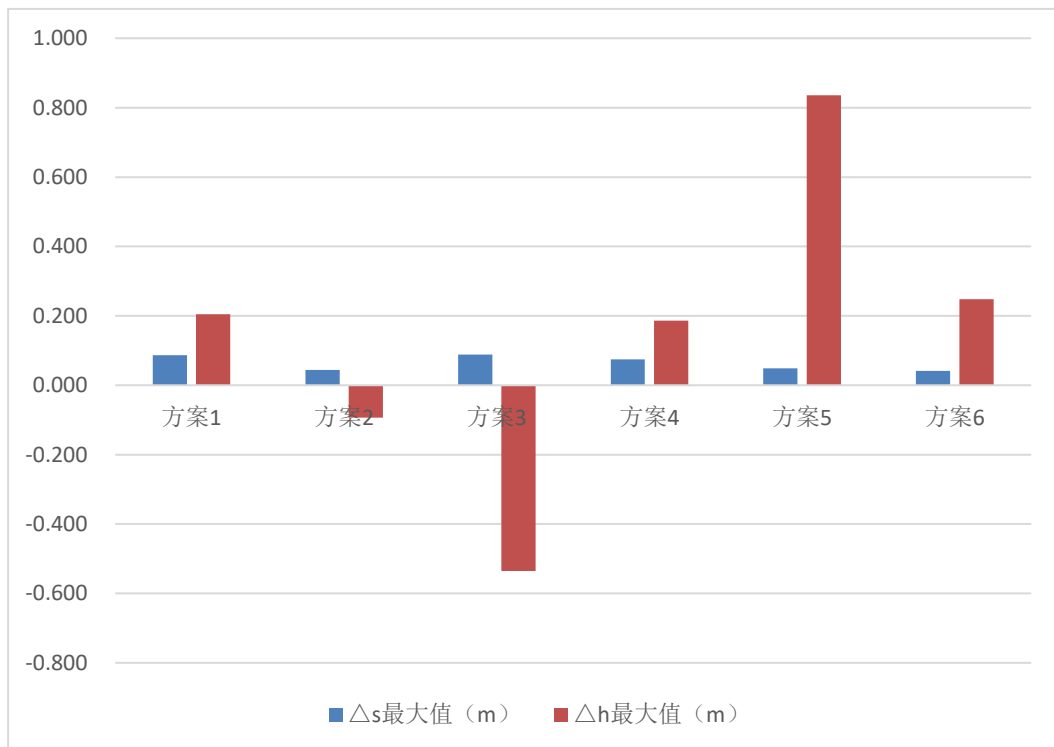


图 6 平面、高程最大残差统计

4 结语

依照现行规范 GB/T 23236-2009，对绝对定向有如下规定：

表 4 基本定向点残差、检查点残差、公共点较差最大限差

成图比例尺	点别	平面				高程			
		平地	丘陵	山地	高山地	平地	丘陵	山地	高山地
1:500	基本定向点	0.13	0.13	0.2	0.2	0.11	0.2 (0.11)	0.26	0.40
	检查点	0.175	0.175	0.35	0.35	0.15	0.28 (0.15)	0.4	0.60
	公共点	0.35	0.35	0.55	0.55	0.3	0.56 (0.3)	0.7	1.0
1:1000	基本定向点	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2 (0.11)	0.26	0.40	0.75
	检查点	0.5	0.5	0.7	0.7	0.28 (0.15)	0.4	0.60	1.20
	公共点	0.8	0.8	1.1	1.1	0.56 (0.3)	0.7	1.0	2.0
1:2000	基本定向点	0.6	0.6	0.8	0.8	0.2 (0.11)	0.26	0.6	0.9
	检查点	1.0	1.0	1.4	1.4	0.28 (0.15)	0.4	1.0	1.5
	公共点	1.6	1.6	1.6	1.6	0.56 (0.3)	0.7	1.6	2.4

结论：

1. 不论有无差分 GNSS 参与平差解算，精度均满足 1:500 成图比例尺空三精度。
2. 取 1m 等高距设定误差标准，即 0.2m 为像控点最大高程限差，得出 2、4 方案满足精度要求。方案 1 为无控方案，有一点高程残差超限，不可行；方案 3 测区两端点有平高点控制，但测区折点处未布设平高点，有差分 GNSS 参与平差，但高程残差仍超限，结果不可靠；方案 5、6 高程残差超限，验证了在基线大于 4 的情况下只依靠平高点参与平差解算不可行。
3. 取 0.5m 等高距设定误差标准，即 0.11m 为像控点最大高程限差，得出方案 2 满足

精度要求。方案 2 在差分 GNSS 参与平差解算条件下，在河道首尾端点的两侧各布设一个平高点，河道折点处两侧各加一个平高点，像控点布设合理有效；方案 4 所有像控点均作为平高点与差分 GNSS 参与平差解算，理论应为精度最高，但由于无人机姿态差、像片质量差、相机畸变复杂等原因，对比方案 2，空三精度下降，最大高程残差 0.186m，精度超限。

综上，方案 2 是既有效又经济的像控点布设方式，即在对带状测区进行无人机低空摄影测量时，地面分辨率不低于 5cm，差分 GNSS 参与平差，测区两端及中间航线折点区域各布设像控点，即可满足 0.5m 等高距 1:500 成图比例尺精度要求。

参考文献：

- [1] 袁修孝, 高宇, 邹小容. GPS 辅助空中三角测量在低空航测大比例尺地形测图中的应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2012, 37(11): 1289-1293.
- [2] 袁修孝, 李德仁. GPS 辅助空中三角测量的若干讨论[J]. 测绘学报, 1997, 26(1): 14-19.
- [3] 吴波涛, 刘斌, 李云帆, 等. 差分 GPS 无人机航测技术测试及分析[J]. 长江科学院院报, 2017(1): 142-144.