

山地区无人机摄影测量成图精度研究

何锦权, 王海波

攀枝花学院土木与建筑工程学院, 四川 攀枝花

收稿日期: 2023年6月13日; 录用日期: 2023年7月21日; 发布日期: 2023年7月28日

摘要

无人机低空摄影测量具有受地表限制小、工作效率高、获得的数据精度高等优点, 广泛应用于地形图测绘、灾害监测、智慧城市等领域。研究无人机低空摄影测量生成4D产品和3D模型的精度十分重要。以攀枝花学院南苑山地区为例进行了五种不同的像控点布设方案, 从高度、长度两方面分析了3D模型能达到的精度水平。结果表明, 3D模型的高度误差集中分布在0.10~0.14 m, 长度误差集中分布在0.06~0.18 m。

关键词

山地, 无人机, 摄影测量, 精度分析

Study on the Mapping Accuracy of UAV Photogrammetry in Mountain Area

Jinquan He, Haibo Wang

School of Civil and Architecture Engineering of Panzhihua University, Panzhihua Sichuan

Received: Jun. 13th, 2023; accepted: Jul. 21st, 2023; published: Jul. 28th, 2023

Abstract

UAV low altitude photogrammetry has the advantages of small surface limitations, high work efficiency, and high data accuracy, and is widely used in terrain mapping, disaster monitoring, smart cities, and other fields. It is very important to study the accuracy of drone low altitude photogrammetry to generate 4D products and 3D models. Taking the Nanyuan Mountain area of Panzhihua University as an example, five different layout schemes of image control points were carried out, and the accuracy level that the 3D model can achieve was analyzed from height and length. The results show that the height error of the 3D model is concentrated between 0.10~0.14 m, and the length error is concentrated between 0.06~0.18 m.

Keywords

Mountains, UAV, Photogrammetry, Accuracy Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着科技不断向前发展, 社会对于测绘实时性、准确性等方面提出了更高的要求, 传统测绘利用水准仪、经纬仪、GPS-RTK、全站仪等设备进行测绘, 传统测绘工作量大、耗时长、工作环境相对艰苦, 在野外 GPS 卫星信号经常被干扰, 在野外极端的环境中进行测绘, 人身安全难以得到好的保护。近年来基于无人机平台技术的航空摄影测量发展越来越迅速, 从而使得低空无人机技术测绘工作的应用范围越来越广泛 [1], 例如在大比例尺地形图、公路水土保持监测、农村土地确权、矿山测量、灾害监测、军事方面的应用越来越多。研究模型精度对于测绘行业有着十分重要的意义。卢晓攀 [2] 根据三个平原测区影像, 利用光束法区域网空中三角测量为原理, 通过实验得出 X 方向中误差为 0.043 m, Y 方向中误差为 0.053 m, 平面坐标中误差为 0.068 m。曹琳 [3] 以鲍旗寨社区为研究区域, 采用无人机倾斜摄影测量技术建立三维模型, 研究了模型的平面精度、高程精度、高度精度和长度精度。熊康妮 [4] 利用摄影测量技术研究 DOM, DEM, DLG 的成图精度, 使用 Context Capture 软件处理航摄数据, 最终对 DOM, DEM, DLG 模型进行精度评定, 得出了测区 DEM 精度为 0.5483 m, 符合 1:1000 测图精度要求。测区 DOM 平面精度为 0.528 m, 满足 1:1000 正射影像图精度要求。卢伟 [5] 结合工程项目利用了光束法平差模型, 对低空摄影测量影像进行了处理, 得到三维倾斜模型, 控制点 X 方向中误差 0.2288 m, Y 方向中误差为 0.2462 m, 高程中误差为 0.3256 m。

关于像控点布设的形式, 没有明确的规范要求。导致其在作业中存在像控点布设方案不明确, 精度不稳定等因素。本文以攀枝花学院南苑山地区为研究区, 采用大疆精灵 4RTK 无人机进行五向倾斜摄影测量, 进行了 5 种不同的像控点布设方案对比研究, 从高度、长度两方面分析了 3D 模型能达到的精度水平。

2. 像控点布控方案

攀枝花学院南苑地处攀枝花市东区, 依山而建, 地势高低不平, 测区地面最高点高程大约为 1214 m, 最低点高程大约为 1152 m, 高差相差 62 m, 研究区属于山地区。本文以全野外布设像控点的方式, 研究了山地区不同像控点对模型精度影响。共对比了 5 种不同的像控点方案。方案 1 采用了 4 点法, 即在测区边缘选择 4 个像控点; 方案 2 采用了 5 点法, 即测区边缘 4 个像控点加测区中心 1 个像控点; 方案 3 采用了 9 点法, 在 5 点法的基础上, 在四周加上 4 个像控点, 方案 4 采用了 12 点法, 就是在 9 点法的基础上加入 3 个像控点, 方案 5 为全部控制点, 对不同像控点方案对比分析模型精度。

3. 高度长度精度分析

通过外业实测地物最高点和地物最低点解算出地物的高度, 与 3D 模型量测地物高度两者相比较。所有的地物绘制都是由点、线、面三个方面构成, 几何结构的优劣对于最终成图精度有着很大的影响, 而衡量几何结构的关系就是线段长度 [2], 所以为了更好的满足实际工作需求, 对长度进行精度评定。本文在测区共选择 20 个高度精度和 20 个长度精度, 针对 5 种不同的像控点方案分别进行 3D 模型长度和高度的精度分析。

根据 3D 模型的高度精度规范应满足表 1 相关规定[6]。

Table 1. Height accuracy limited error

表 1. 高度精度限差

级别	I 级	II 级	III 级	IV 级
成图比例尺	1:500 (外业调绘)	1:500 (非野外调绘)	1:1000	1:2000
高度精度	0.5	0.8	1	2

3.1. 方案 1 高度长度精度要求

方案 1 高度精度统计如表 2。从表 2 统计可得出, 研究区域模型高度精度中误差为 0.1437 m, 最大误差为 0.168 m, 最小误差为-0.353 m。高度精度分析如图 1。从图 1 统计可得出, 高度差值在-0.4 m 和 0.2 m 之间, 其中误差分布集中。根据表 1 可得, 高度精度符合相应精度要求。

Table 2. Scheme 1 height comparison table

表 2. 方案 1 高度对比表

序号	外业实测	模型量测	差值
1	21.370	21.35	0.02
2	34.320	34.358	-0.038
3	14.080	14.057	0.023
4	23.520	23.518	0.002
5	19.390	19.343	0.047
6	4.300	4.304	-0.004
7	6.720	6.754	-0.034
8	60.160	60.163	-0.003
9	12.590	12.422	0.168
10	17.610	17.594	0.016
11	14.250	14.193	0.057
12	21.130	21.394	-0.264
13	32.230	32.156	0.074
14	20.880	21.233	-0.353
15	32.260	32.325	-0.065
16	5.150	5.222	-0.072
17	21.120	21.018	0.102
18	28.650	28.558	0.092
19	10.450	10.395	0.055
20	21.540	21.546	-0.006

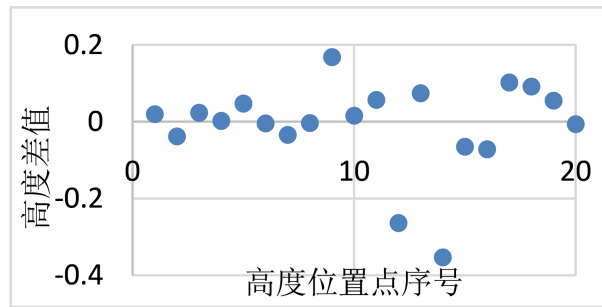


Figure 1. Scheme 1 height difference distribution map
图 1. 方案 1 高度差值分布图

方案 1 长度精度统计如表 3。从表 3 统计可得出, 研究区域模型长度中误差为 0.1662 m, 最大误差为 0.340 m, 最小误差为-0.217 m。长度精度分析如图 2。从图 2 统计可得出, 高度差值在-0.4 m 和 0.4 m 之间, 误差整体呈现上升趋势。

Table 3. Scheme 1 length comparison table
表 3. 方案 1 长度对比表

序号	模型量测	外业实测	差值
1	24.858	24.825	0.033
2	25.122	25.084	0.038
3	22.247	22.221	0.026
4	36.065	36.282	-0.217
5	20.153	20.107	0.046
6	5.467	5.375	0.092
7	4.845	4.804	0.041
8	4.05	4.098	-0.048
9	21.623	21.586	0.037
10	2.901	2.899	0.002
11	9.532	9.463	0.069
12	137.517	137.318	0.199
13	100.006	99.71	0.296
14	65.989	65.649	0.34
15	99.992	99.672	0.32
16	65.962	65.652	0.31
17	5.363	5.405	-0.042
18	5.988	5.973	0.015
19	25.364	25.291	0.073
20	17.92	17.844	0.076

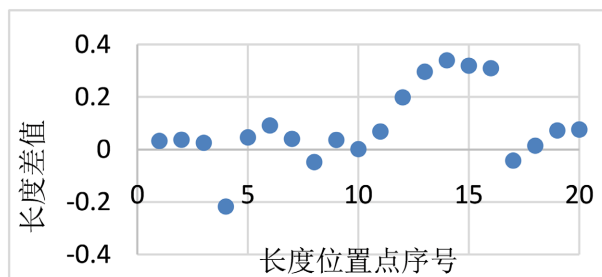


Figure 2. Scheme 1 length difference distribution map

图 2. 方案 1 长度差值分布图

3.2. 方案 2 高度长度精度分析

方案 2 高度精度统计如表 4。从表 4 统计可得出, 研究区域模型高度精度中误差为 0.1048 m, 最大误差为 0.176 m, 最小误差为-0.145 m。高度精度分析如图 3。从图 3 统计可得出, 高度差值在-0.2 m 和 0.2 m 之间, 其中误差分布分散。对照表 1 中的规范要求, 高度精度符合相应精度要求。

Table 4. Scheme 2 height comparison table

表 4. 方案 2 高度对比表

序号	外业实测	模型量测	差值
1	21.37	21.304	0.066
2	34.32	34.364	-0.044
3	14.08	14.178	-0.098
4	23.52	23.511	0.009
5	19.39	19.218	0.172
6	4.3	4.382	-0.082
7	6.72	6.747	-0.027
8	60.16	60.123	0.037
9	12.59	12.476	0.114
10	17.61	17.583	0.027
11	14.25	14.074	0.176
12	21.13	21.056	0.074
13	32.23	32.094	0.136
14	20.88	21.025	-0.145
15	32.26	32.391	-0.131
16	5.15	5.17	-0.02
17	21.12	20.971	0.149
18	28.65	28.518	0.132
19	10.45	10.502	-0.052
20	21.54	21.609	-0.069

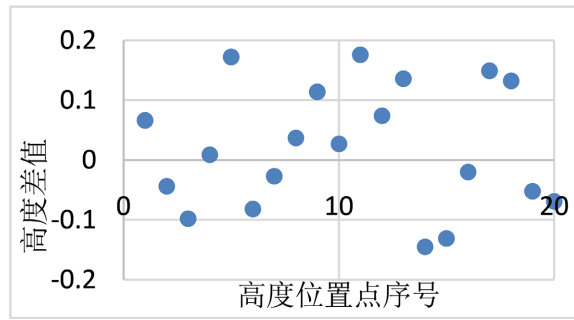


Figure 3. Scheme 2 height difference distribution map
图 3. 方案 2 高度差值分布图

方案 2 长度精度统计如表 5。从表 5 统计可以看出, 研究区域模型长度中误差为 0.1878 m, 最大误差为 0.366 m, 最小误差为 -0.239 m。长度精度分析如图 4。从图 4 统计可得出, 高度差值在 -0.4 m 和 0.4 m 之间, 长度误差整体呈现上升的趋势。

Table 5. Scheme 2 length comparison table

表 5. 方案 2 长度对比表

序号	模型量测	外业实测	差值
1	24.858	24.877	-0.019
2	25.122	25.131	-0.009
3	22.247	22.246	0.001
4	36.065	36.304	-0.239
5	20.153	20.107	0.046
6	5.467	5.356	0.111
7	4.845	4.794	0.051
8	4.05	3.969	0.081
9	21.623	21.364	0.259
10	2.901	2.865	0.036
11	9.532	9.497	0.035
12	137.517	137.272	0.245
13	100.006	99.716	0.29
14	65.989	65.623	0.366
15	99.992	99.64	0.352
16	65.962	65.668	0.294
17	5.363	5.31	0.053
18	5.988	5.907	0.081
19	25.364	25.241	0.123
20	17.92	17.838	0.082

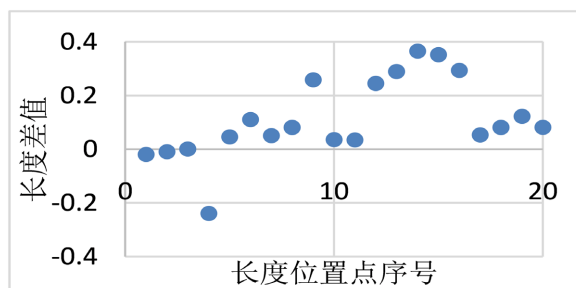


Figure 4. Scheme 2 length difference distribution map
图 4. 方案 2 长度差值分布图

3.3. 方案 3 高度长度精度分析

方案 3 高度精度统计如表 6。从表 6 统计可得出, 研究区域模型高度精度中误差为 0.1127 m, 最大误差为 0.344 m, 最小误差为 -0.156 m。高度精度分析如图 5。从图 5 统计可得出, 高度差值总体分布 -0.1 m 和 0.1 m 之间, 误差分布集中。对照表 1 中的规范要求, 高度精度符合相应精度要求。

Table 6. Scheme 3 height comparison table

表 6. 方案 3 高度对比表

序号	外业实测	模型量测	差值
1	21.37	21.39	-0.02
2	34.32	34.301	0.019
3	14.08	14.075	0.005
4	23.52	23.469	0.051
5	19.39	19.342	0.048
6	4.3	4.456	-0.156
7	6.72	6.741	-0.021
8	60.16	60.147	0.013
9	12.59	12.398	0.192
10	17.61	17.643	-0.033
11	14.25	14.216	0.034
12	21.13	21.249	-0.119
13	32.23	32.065	0.165
14	20.88	20.536	0.344
15	32.26	32.182	0.078
16	5.15	5.194	-0.044
17	21.12	21.148	-0.028
18	28.65	28.607	0.043
19	10.45	10.482	-0.032
20	21.54	21.561	-0.021

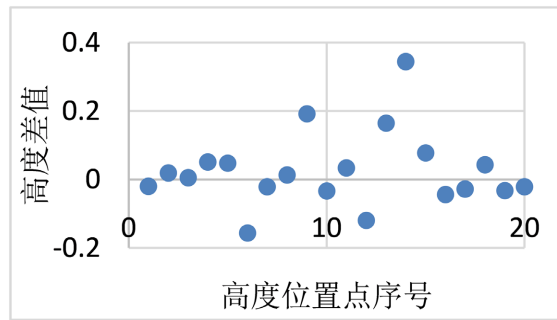


Figure 5. Scheme 3 height difference distribution map
图 5. 方案 3 高度差值分布图

方案 3 长度精度统计如表 7。从表 7 统计可得出, 研究区域模型长度中误差为 0.1674 m, 最大误差为 0.364 m, 最小误差为-0.164 m。长度精度分析如图 6。从图 6 统计可得出, 高度差值在-0.2 m 和 0.4 m 之间, 长度误差整体呈现上升的趋势。

Table 7. Scheme 3 length comparison table
表 7. 方案 3 长度对比表

序号	模型量测	外业实测	差值
1	24.858	24.844	0.014
2	25.122	25.14	-0.018
3	22.247	22.17	0.077
4	36.065	36.229	-0.164
5	20.153	20.071	0.082
6	5.467	5.371	0.096
7	4.845	4.846	-0.001
8	4.05	4.05	0
9	21.623	21.698	-0.075
10	2.901	2.851	0.05
11	9.532	9.489	0.043
12	137.517	137.319	0.198
13	100.006	99.696	0.31
14	65.989	65.664	0.325
15	99.992	99.714	0.278
16	65.962	65.598	0.364
17	5.363	5.388	-0.025
18	5.988	6.009	-0.021
19	25.364	25.258	0.106
20	17.92	17.817	0.103

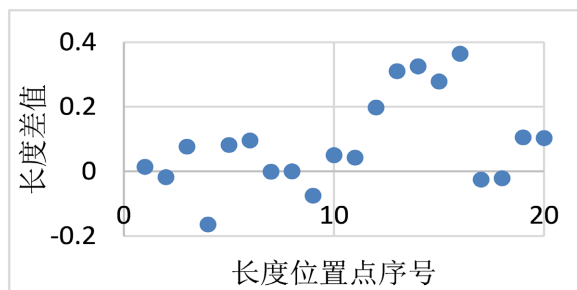


Figure 6. Scheme 3 length difference distribution map
图 6. 方案 3 长度差值分布图

3.4. 方案 4 高度长度精度分析

方案 4 高度精度统计如表 8。从表 8 统计可得出, 研究区域模型高度精度中误差为 0.1305 m, 最大误差为 0.266 m, 最小误差为 -0.292 m。高度精度分析如图 7。从图 7 统计可得出, 高度差值总体分布 -0.1 m 和 0.1 m 之间, 误差分布集中。对照表 1 中的规范要求, 高度精度符合相应精度要求。

Table 8. Scheme 4 height comparison table
表 8. 方案 4 高度对比表

序号	外业实测	模型量测	差值
1	21.37	21.325	0.045
2	34.32	34.306	0.014
3	14.08	14.093	-0.013
4	23.52	23.488	0.032
5	19.39	19.327	0.063
6	4.3	4.373	-0.073
7	6.72	6.741	-0.021
8	60.16	60.103	0.057
9	12.59	12.395	0.195
10	17.61	17.604	0.006
11	14.25	14.206	0.044
12	21.13	21.239	-0.109
13	32.23	32.522	-0.292
14	20.88	20.614	0.266
15	32.26	32.2	0.06
16	5.15	5.151	-0.001
17	21.12	20.99	0.13
18	28.65	28.578	0.072
19	10.45	10.435	0.015
20	21.54	21.811	-0.271

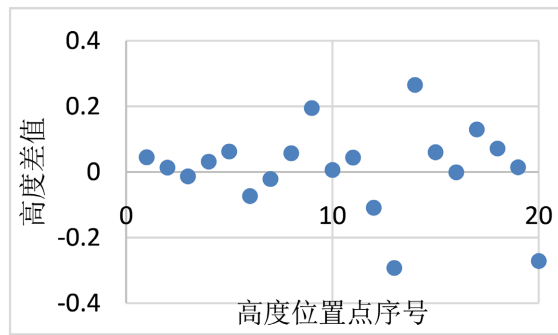


Figure 7. Scheme 4 height difference distribution map
图 7. 方案 4 高度差值分布图

方案 4 长度精度统计如表 9。从表 9 统计可得出研究区域模型长度中误差为 0.1607 m，最大误差为 0.344 m，最小误差为-0.1400 m。长度精度分析如图 8。从图 8 统计可得出，高度差值在-0.2 m 和 0.4 m 之间，长度误差整体呈现上升的趋势。

Table 9. Scheme 4 length comparison table
表 9. 方案 4 长度对比表

序号	模型量测	外业实测	差值
1	24.858	24.847	0.011
2	25.122	25.12	0.002
3	22.247	22.248	-0.001
4	36.065	36.205	-0.14
5	20.153	20.037	0.116
6	5.467	5.375	0.092
7	4.845	4.824	0.021
8	4.05	4.137	-0.087
9	21.623	21.65	-0.027
10	2.901	2.923	-0.022
11	9.532	9.447	0.085
12	137.517	137.313	0.204
13	100.006	99.716	0.29
14	65.989	65.669	0.32
15	99.992	99.648	0.344
16	65.962	65.68	0.282
17	5.363	5.388	-0.025
18	5.988	6.009	-0.021
19	25.364	25.304	0.06
20	17.92	17.875	0.045

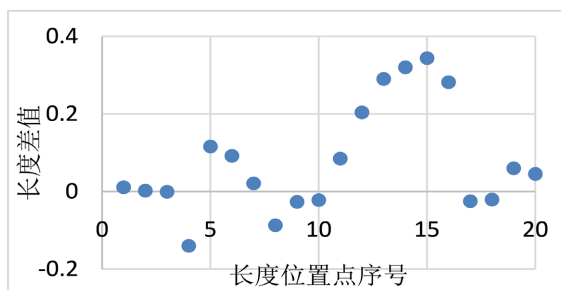


Figure 8. Scheme 4 length difference distribution map
图 8. 方案 4 长度差值分布图

3.5. 方案 5 高度长度精度分析

方案 5 高度精度统计如表 10。从表 10 统计可得出, 研究区域模型高度精度中误差为 0.1259 m, 最大误差为 0.1810 m, 最小误差为-0.2740 m。高度精度分析如图 9。从图 9 统计可得出, 高度差值总体分布-0.1 m 和 0.1 m 之间, 误差分布相对集中。对照表 1 可得, 高度精度符合相应精度要求。

Table 10. Scheme 5 height comparison table
表 10. 方案 5 高度对比表

序号	外业实测	模型量测	差值
1	21.37	21.436	-0.066
2	34.32	34.262	0.058
3	14.08	14.01	0.07
4	23.52	23.49	0.03
5	19.39	19.632	-0.242
6	4.3	4.281	0.019
7	6.72	6.697	0.023
8	60.16	60.132	0.028
9	12.59	12.487	0.103
10	17.61	17.429	0.181
11	14.25	14.206	0.044
12	21.13	21.112	0.018
13	32.23	32.332	-0.102
14	20.88	20.776	0.104
15	32.26	32.222	0.038
16	5.15	5.178	-0.028
17	21.12	21.394	-0.274
18	28.65	28.507	0.143
19	10.45	10.419	0.031
20	21.54	21.546	-0.006

方案 5 长度精度统计如表 11。从表 11 统计可得出, 研究区域模型长度中误差为 0.0617 m, 最大误差为 0.116 m, 最小误差为-0.101 m。长度精度分析如图 10。从图 10 统计可得出, 高度差值在-0.2 m 和 0.4 m 之间。

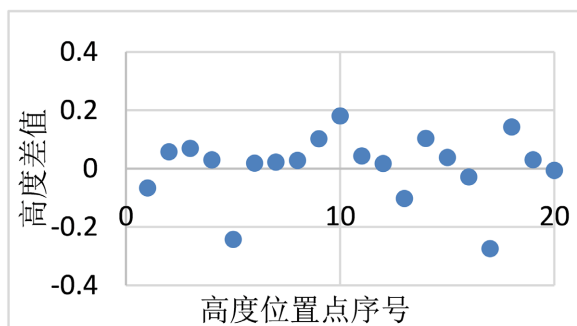


Figure 9. Scheme 5 height difference distribution map
图 9. 方案 5 高度差值分布图

Table 11. Scheme 5 length comparison table
表 11. 方案 5 长度对比表

序号	模型量测	外业实测	差值
1	24.858	24.865	-0.007
2	25.122	25.13	-0.008
3	22.247	22.167	0.08
4	36.065	36.166	-0.101
5	20.153	20.089	0.064
6	5.467	5.408	0.059
7	4.845	4.792	0.053
8	4.05	4.001	0.049
9	21.623	21.661	-0.038
10	2.901	2.887	0.014
11	9.532	9.437	0.095
12	137.517	137.567	-0.05
13	100.006	100.066	-0.06
14	65.989	66.01	-0.021
15	99.992	100.024	-0.032
16	65.962	66.047	-0.085
17	5.363	5.352	0.011
18	5.988	6.028	-0.04
19	25.364	25.317	0.047
20	17.92	17.804	0.116

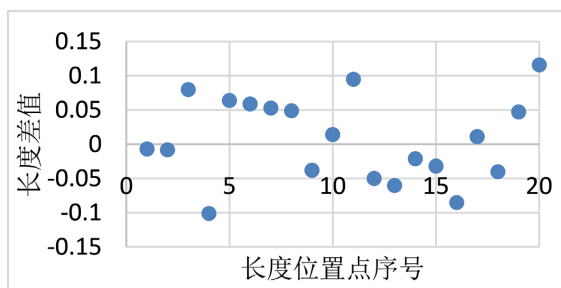


Figure 10. Scheme 5 length difference distribution map
图 10. 方案 5 长度差值分布图

3.6. 长度高度精度小结

高度精度中误差方案 1 布设方案中最大为 0.1437 m, 方案 2 布设方案中最小中误差为 0.1048 m。高度中误差跟随像控点布设方案不断增加像控点, 整体逐渐趋近于平稳状态, 在 0.10~0.14 m 之间上下平稳波动, 如图 11。

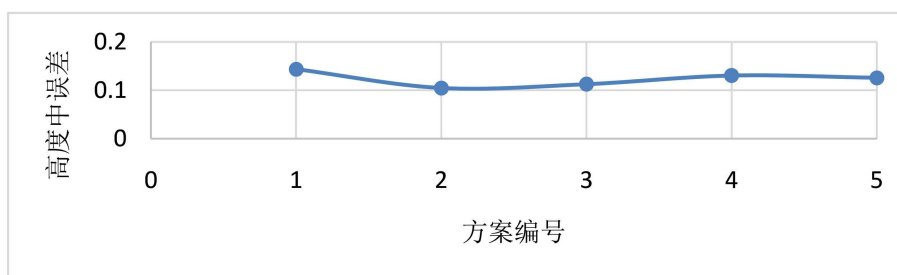


Figure 11. Elevation error trend map
图 11. 高度中误差趋势图

长度精度中误差在方案 2 时精度最低为 0.1878 m, 在方案 5 法中精度最高其中误差为 0.0617 m, 长度中误差跟随像控点布设方案不断增加像控点, 整体呈现不断下降的状态, 如图 12。

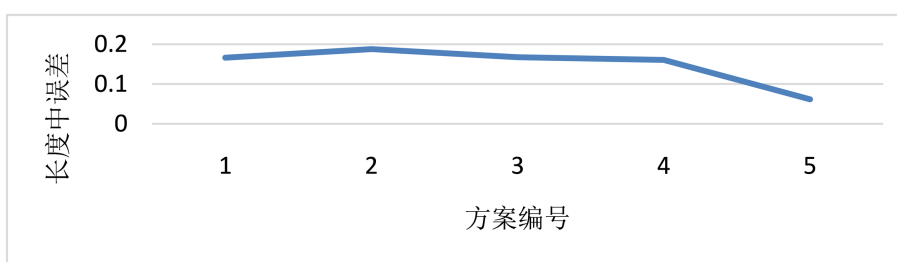


Figure 12. Length error trend map
图 12. 长度中误差趋势图

4. 结束语

研究了 5 种不同的像控点布设方案, 运用外业长度、高度数据分析了 3D 模型能达到的精度水平[6]。依据三维地理信息模型数据产品规范, 1:500、1:1000 和 1:2000 山地区 3D 模型高度和长度精度限差分别为 0.5 m、1 m 和 2 m。对 3D 模型进行精度评定[3]。研究表明方案 1 模型高度中误差为 0.1437 m, 长度中误差为 0.1662 m。方案 2 模型高度中误差为 0.1048 m, 长度中误差为 0.1878 m。方案 3 模型高度

中误差为 0.1127 m, 长度中误差为 0.1674 m。方案 4 模型高度中误差为 0.1305 m, 长度中误差为 0.1607 m。方案 5 模型控制点高度中误差为 0.1259 m, 长度中误差为 0.0617 m。由此得出, 基于无人机倾斜摄影测量技术建立的 3D 模型已经具备测绘级精度, 完全满足《三维地理信息模型数据产品规范》。

参考文献

- [1] 朱勇. 基于无人机倾斜摄影测量的建筑物 3D 模型重建精度评价[J]. 测绘标准化, 2022, 38(3): 47-51.
<https://doi.org/10.20007/j.cnki.61-1275/P.2022.03.09>
- [2] 卢晓攀. 无人机低空摄影测量成图精度实证研究[D]: [硕士学位论文]. 中国矿业大学, 2014.
- [3] 曹琳. 基于无人机倾斜摄影测量技术的三维建模及其精度分析[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2016.
- [4] 熊康妮. 无人机地形测图精度分析[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2018.
- [5] 卢伟. 低空无人机大比例尺测图精度分析[J]. 测绘技术装备, 2022, 24(1): 1-6.
<https://doi.org/10.20006/j.cnki.61-1363/P.2022.01.001>
- [6] 李成名, 赵珂. CH/T 9015-2012. 三维地理信息模型数据产品规范[S]. 北京: 中国测绘出版社, 2012.