引文格式：陈佳清,刘瑞驹,周吕,等. 免像控实景三维建模的高程精度分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(7): 37-39. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.07.009

免像控实景三维建模的高程精度分析

陈佳清[1]，刘瑞驹[1]，周　吕[2]，黎峻宇[2]
（1. 钦州市住房和城乡建设测绘院有限公司，广西 钦州 535000；2. 桂林理工大学 测绘地理信息学院，广西 桂林 541006）

摘　要：为解决免像控条件下实景三维建模获取高程的问题，基于立体航测成图软件与似大地水准面精化模型相结合的方法，进行免像控实景三维模型的高程精度分析实验。阐述了免像控实景三维建模的关键技术与方法，并通过相关工程实例进行数据分析。结果表明，免像控实景三维建模的高程中误差在±0.05 m以内，可满足1∶1 000大比例尺地形测图高程精度要求。该方法可大幅减轻像控点外业采集的工作量，提高三维建模工作效率。

关键词：似大地水准面；无人机；PPK；免像控；三维模型；高程；精度
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）07-0037-03

Elevation Accuracy Analysis of Image-free Real Scene 3D Modeling

CHEN Jiaqing[1], LIU Ruiju[1], ZHOU Lyu[2], LI Junyu[2]
(1. Qinzhou Surveying and Mapping Institute of Housing Urban-rural Development Co., Ltd., Qinzhou 535000, China;
2. College of Geomatics and Geoinformation, Guilin University of Technology, Guilin 541006, China)

Abstract: In order to solve the problem of obtaining the elevation from image-free real scene 3D modeling, based on the combination method of 3D aerial survey and mapping software and refined model of quasigeoid, we carried out the elevation accuracy analysis experiment of image-free real scene 3D model. We expounded the key technologies and methods of image-free real scene 3D modeling, and conducted data analysis through relevant engineering examples. Experimental results show that the error in the elevation of image-free real scene 3D modeling is within ±0.05 m, which can meet the elevation accuracy requirements of 1∶1 000 large-scale topographic mapping. This method can greatly reduce the field acquisition workload of image control points and improve the efficiency of 3D modeling.

Key words: quasigeoid, UAV, PPK, image-free, 3D model, elevation, accuracy

随着GNSS测量、重力测量等现代大地测量技术的飞速发展和广泛应用，似大地水准面精化模型已实现厘米级精度，正向毫米级突破[1-2]。无人机航空摄影测量技术越来越成熟，与此同时，无人机免像控技术蓬勃发展，逐渐在大比例尺测图中得到广泛应用[3]。国内外科研机构针对无人机免像控技术进行了大量基础理论研究、技术创新[4-7]以及大量实验测试和精度评估[8-13]，并对免像控倾斜模型影响因素进行了相关质量分析[14]。结果表明，无人机免像控精度可满足1∶1 000大比例尺测图要求。无人机免像控技术能高效便捷地获取CGCS2000坐标系下的大地坐标和大地高，而实际测绘工作采用的是高斯坐标和正常高，高斯坐标可通过建模软件设置输出。免像控条件下正常高转换的常用方法包括利用高程转换参数进行高程异常改正和利用本地似大地水准面精化应用程序进行高程异常改正两种。这两种方法均需借助第三方应用程序，未能建立兼容建模软件的本地大地水准面模型。同时，POS数据预处理要求严谨且易出现人为错误，两种方法都将原始POS大地高强制归算至85正常高，对模型精度的影响未有相关研究。本文以基于似大地水准面精化模型的免像控无人机高程精度为研究对象，阐述了建立高精度似大地水准面模型的关键技术与方法，并结合具体工程实例进行高程精度分析。

1　关键技术与方法

基于GNSS技术、二等水准测量成果，结合EGM2008重力场、SRTM数字高程模型的数据融合技术，利用最小二乘配置的移动二次曲面拟合和双线性内插方法建立了某地区1″×1″似大地水准面。模型拟合区范围为3 150 km^2，拟合精度为1.6 cm，内插精度为1.7 cm，外推精度为1.6 cm。模型拟合边缘区范围为110 km^2，采用顾及EGM2008重力场和SRTM地形

收稿日期：2021-12-31；修回日期：2022-06-21。
项目来源：广西自然科学基金资助项目（2018GXNSFBA050006、2020GXNSFBA297145）。
第一作者简介：陈佳清（1991—），工程师，主要研究方向为GNSS数据处理，E-mail：953537186@qq.com。

修正的方法进行高程异常补充。经实测数据检验，高程异常不符值中误差为1.8 cm，最终确定了某地区1″×1″高分辨率的厘米级似大地水准面模型，基本消除了格网线性内插导致的精度损失，实现了内外业垂直平差模型的统一性和数据的一致性。水准模型支持天宝、南方、中海达等各类控制器手簿进行垂直基准转换，支持GNSS解算软件，支持航测建模软件Smart3D、ContextCapture。Pix4Dmapper软件目前不支持使用本地大地水准模型进行高程异常改正，需通过第三方应用程序中的局部大地水准面模型将它们转换为正常高[14]，再将改正后的POS数据导入软件进行空三加密和三维建模。本文将似大地水准面模型导入三维建模软件ContextCapture进行高程异常改正，并进行精度统计分析。

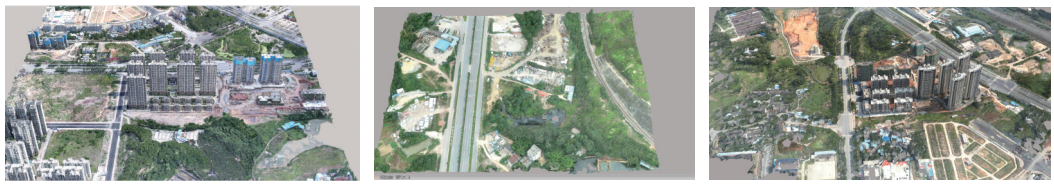
2 工程实例分析

2.1 工程案例介绍

为对基于似大地水准面精化模型的免像控无人机高程精度进行定量和定性分析，本文设计的航测方案见表1。

表1 航测方案

方案	大疆系列	搭载镜头	飞行高度/m	航向重叠度/%	旁向重叠度/%	地面分辨率/cm
方案1	M300	Feimeng	150	80	70	3.0
方案2	精灵4	FC6310R	95	80	75	2.5
方案3	M300	Zenm useP1	180	80	70	3.5



a 方案1 b 方案2 c 方案3

图1 3种方案的实景三维模型

3种方案的实景三维模型见图1。方案1中的地块在建成区范围内，地势平坦开阔，最高层建筑物不超过100 m，有已建成道路。本文充分利用现有测量资料，选用该区域内的市政道路、小区竣工测量数据与三维模型进行高程比对。方案2中的地块为市郊区，地形起伏较大，高差约为30 m，无高层建筑物，有已建成市政道路。本文充分利用该区域内的市政道路竣工测量数据和近期施测的1∶500地形数据与三维模型进行高程比对。方案3与方案1的地形地貌较相近，因此本文充分利用现有测量资料，选用该区域内的市政道路、小区竣工测量数据与三维模型进行高程比对。

2.2 高程误差分析

为分析不同航测方案高程误差的分布特点，绘制各方案高程误差对比分析图（图2），可以看出，3种方案的三维模型高程误差均在±0.1 m以内波动，方案3整体误差较小，误差分布在±0.05 m之间，精度最优。为分析不同地形特征高程误差的分布特点，选用地形地貌较丰富的方案2进行高程精度分析，结果见图3，可以看出，3种路面的高程误差均在±0.09 m以内，硬化路面整体误差较小，误差分布在±0.06 m之间，精度最优；砂砾路面凹凸不平，高程误差较大，不利于高程点采集。

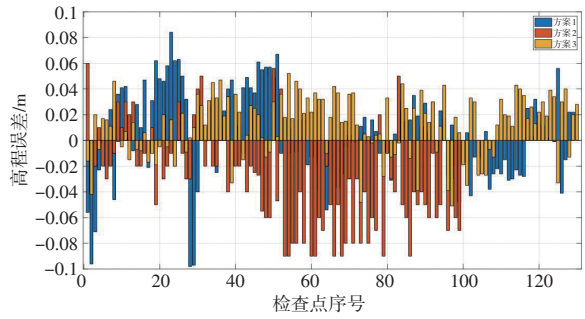


图2 不同方案误差对比分析

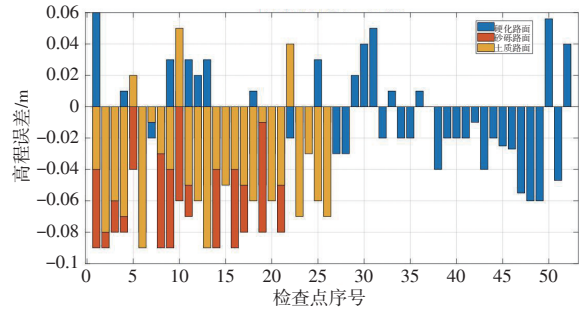


图3 不同地形特征误差对比分析

2.3 高程精度评估

为定性分析高程误差各项精度指标，分别计算3种方案高程误差和不同地形特征高程误差的平均值、均方根、标准差等，结果见表2、3，可以看出，3种方

案高程精度的最大值、最小值均在±0.10 m以内，平均值、均方根、标准差均在0.05 m以内；3种地形特征点高程精度的最大值、最小值均在±0.10 m以内；硬化路面各项精度指标均最优，最大值、最小值均在±0.06 m以内，平均值、均方根、标准差均在±0.03 m以内；砂砾、土质路面的平均值、均方根偏大，因此沙砾、土质路面不宜大量采集高程点。

表2　不同航测方案高程精度对比/m

方案	点数	最大值	最小值	平均值	均方根	标准差
方案1	129	0.084	−0.098	0.005	±0.035	±0.035
方案2	99	0.060	−0.090	−0.029	±0.048	±0.038
方案3	130	0.052	−0.051	0.011	±0.026	±0.023

表3　不同地形特征高程精度对比/m

地形特征	点数	最大值	最小值	平均值	均方根	标准差
硬化路面	52	0.060	−0.060	−0.008	±0.030	±0.029
砂砾路面	21	0.00	−0.09	−0.065	±0.070	±0.027
土质路面	26	0.05	−0.09	−0.050	±0.055	±0.088

比较传统航测方法和本文方法的优劣势，结果见表4，可以看出，通过本文方法进行无人机免像控航测可免去野外像控布点、像控测量、现场照片采集和内业刺点时间，且高程精度能满足1∶1 000大比例尺测图要求。该方法机动灵活、成本低廉、分辨率高，无需外业布设像控点，可大量降低人力物力。

表4　方案优劣比较

方法	像控布点	像控测量	照片采集	内业刺点	精度检查
传统方法	是	是	是	是	是
本文方法	否	否	否	否	是

3　结　语

本文论述了免像控实景三维建模的关键技术与方法，并结合具体工程案例进行了分析。结果表明，在无地面像控点参与空三加密的条件下，无人机免像控技术获取的高精度POS数据结合高精度似大地水准面精化模型可达到快速获取高程的目的。由3种航测方案的高程精度分析可知，高程精度满足大比例测图精度要求。通过分析不同地形特征高程误差可知，应尽量在硬化路面上采集高程点。与传统航测作业方法相比，本文方法优势明显，可大大提高工作效率，节省人力物力。随着无人机免像控技术的不断优化以及似大地水准面精化模型精度的不断提高，传统测绘作业方式将被颠覆，可在短时间内获取大范围高精度4D产品，为地形地势分析、地质灾害监测提供可靠数据，助力实景三维中国建设。

参考文献

[1] 宁津生,罗志才,李建成. 我国省市级大地水准面精化的现状及技术模式[J]. 大地测量与地球动力学,2004,24(1):4-8

[2] 姚宜斌,杨元喜,孙和平,等. 大地测量学科发展现状与趋势[J]. 测绘学报,2020,49(10):1 243-1251

[3] 刘伟东. 无人机倾斜摄影模型应用及发展趋势[J]. 中国测绘,2017(4):40-41

[4] Ackermann F. Practical Experience with GPS Supported Aerial Triangulation[J]. The Photogrammetric Record, 2010,14(84):860-874

[5] Le V T, Nhat N H, Mai C N. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Application for Updating of Urban Database[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021,652(1):12 011-12 019

[6] 张雪莲. 无人机大比例尺测图关键技术研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2020

[7] 席敏哲. 基于无人机倾斜影像的精细化三维模型构建及智慧园区应用研究[D]. 西安:西安科技大学,2020

[8] 徐思奇,黄先锋,张帆,等. 倾斜摄影测量技术在大比例尺地形图测绘中的应用[J]. 测绘通报,2018(2):111-115

[9] 马海政,强德霞. 免像控无人机航摄系统在大比例尺地形图测量中的应用[J]. 测绘通报,2020(7):159-161

[10] 张允涛. 免相控无人机航摄系统在棚户区改造1∶500地形图中的应用[J]. 测绘通报,2019(增刊1):295-297

[11] 钟青,赵茹玥,刘传逢,等. 无人机POS高程精化在城市1∶500免像控测图中的应用[J]. 城市勘测,2021(3):81-84

[12] 秦家鑫,邓明军. 基于大疆精灵4 RTK的快速测绘方法研究[J]. 地理空间信息,2021,19(9):109-112

[13] 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(1):57-59

[14] 王明亮. How to Define Pix4D Outputs with Respect to a Geoid Model[EB/OL]. (2021-07-19)[2021-10-23]. https://support. pix4d. com/hc/en-us/articles/360021076212-How-to-define-Pix4D-outputs-with-respect-to-a-Geoid-model

[15] 孙保燕,张小可,黄邦伟,等. 多因素影响的免像控倾斜模型质量分析[J]. 桂林理工大学学报,2021,41(4):831-836