

无人机三维实景模型在 1:500 地形图测绘中的应用及精度分析

柳翠明 张永毅

广州市城市规划勘测设计研究院

DOI:10.32629/gmsm.v3i2.612

[摘要] 本文以无人机三维实景模型的构建及其测绘地形图为研究对象,系统介绍了无人机倾斜摄影测量的作业流程和分析了实验三维模型绘制地形图的精度。实验结果表明,三维模型绘制地形图的平面中误差为0.107m、高程中误差为0.08m和边长中误差为0.05m,均满足1:500地形图测绘的要求。该方法为大比例地形图快速测绘提供了新的生产手段,具有良好的应用价值。

[关键词] 无人机; 倾斜摄影测量; 地形图测绘; 精度分析

引言

倾斜摄影测量技术^[1]是摄影测量领域近年发展起来的一种新的测量技术。该技术突破了传统垂直航空摄影只从正射角度采集影像的限制,利用多台相机同步采集地面物体多个角度的高分辨率影像,获取高精度物方纹理信息,通过定位、融合、建模等技术,生成实景三维模型,将用户引入符合人眼视觉的真实直观世界。

城市大比例尺地形图是城市基础地理信息系统最重要的数据源之一,在城乡建设、城乡规划和国土资源管理等方面发挥着不可替代的作用。长期以来,大比例尺地形图主要利用全站仪、水准仪和GPS等测量仪器进行全野外数字化测量,具有作业人员多、项目周期长、数据更新不灵活等缺点。随着实景三维建模技术的不断进步,直接利用三维模型进行数字化地形图绘制,大大加快了地形图的更新速度,具有十分重要的研究意义。本文主要探讨利用倾斜三维实景模型绘制地形图,并利用实测数据对地形图成果进行精度检核,以分析该方法在1:500地形图测绘中的可行性。

1 原理与方法

1.1 影像匹配

影像匹配是低空摄影测量数据处理中最为关键的步骤,其旨在两幅或多幅具有重叠度的影像中通过特定的算法提取影像间同名特征点,并恢复影像与影像之间的相对位置关系。影像匹配的过程主要包括特征提取,特征点描述和特征点匹配三个步骤^[2-3]。

1.2 空中三角测量

空中三角测量是通过前方交会和后方交会,利用较少的控制点坐标,求解未知点坐标和影像的外方位元素。一般采用光束法区域网联合平差,将像片的POS数据作为外方位元素的初始值,并与控制点进行联合平差。

1.3 密集匹配

密集匹配是在获得影像间的相对位置之后,在重叠区域内寻找每个像素同名点的稠密影像匹配方法,是从二维影像自动重建三维模型的最有效手段之一。密集匹配生成的三维点云具有位置精度高、纹理丰富、真实度好等特点,可用于数字表面模型、数字高程模型和数字正射影像图等地理信息的自动提取^[4-6]。

1.4 构建三角网

三维模型的每一个物体是通过三角网构建而成。三角网的大小及密集程度与航片重叠度、地物复杂程度有关,重叠度越高、复杂程度越高的地物理论上会生成更密集和复杂的三角网,以达到能够反映真实地物结构的目的。

1.5 纹理映射

纹理映射是在构建完三维模型后进行的表面纹理赋予工序,其本质是

建立二维空间点到三维物体表面之间的一一对应关系,在三维物体表面映射二维空间点对应的颜色,得到符合真实色彩视觉的三维模型。

2 实验分析

本实验对南沙区东涌镇天益村进行无人机倾斜摄影测量数据采集,主要内容为实景三维建模、DOM、DEM和1:500地形图。测区面积约3.4平方公里,主要以低矮村民自建房、厂房、鱼塘和农田为主。实验的主要工作流程如图1所示。

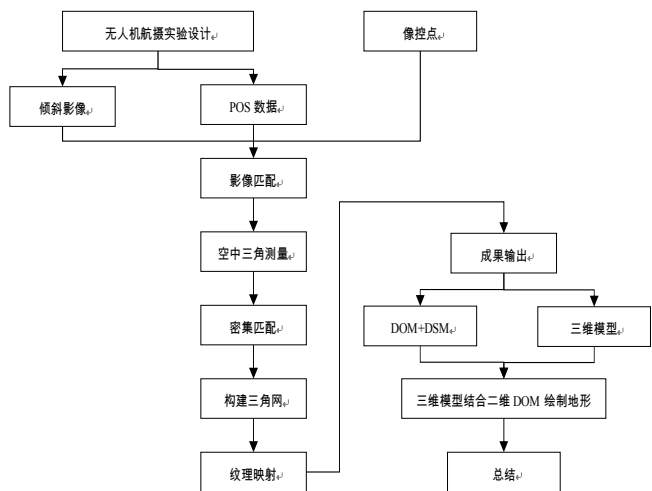


图1 工作流程图

2.1 倾斜摄影测量系统

实验使用的倾斜摄影测量系统由中海达iFlyD6电动多旋翼无人机、中海达iCamQ2倾斜相机和地面站组成,如图2所示,具体性能参数如表1和表2。



图2 倾斜测量系统

表1 中海达iFly D6无人机性能参数

参 数	指 标 值
起 飞 重 量	1 2 k g
任 务 荷 载	6 k g
最 大 飞 行 高 度	4 5 0 0 m
最 大 飞 行 速 度	1 0 m / s
续 航 时 间	4 0 m i n
抗 风 能 力	6 级
起 降 方 式	垂 直 起 降

表2 中海达iCam Q2倾斜相机性能参数

参 数	指 标 值
像 素	4200 万
相 机 传 感 器 尺 寸	35.9mm×24.0mm
镜 头 焦 距	35mm
相 机 像 元 物 理 尺 寸	4.51μm

2.2像控点测量

根据《数字航空摄影测量控制测量规范》(CH/T 3006-2011)的要求^[7]，本实验测区采用油漆喷涂方式共布设了19个像控点，如图3所示。



图3 像控点分布示意图

像控点测量采用GZCORS RTK测量方式进行观测，并利用广州似大地水准面精化模型获取正常高。

2.3航飞设计

本实验相对航高为200m，倾斜摄影角度45°，航向重叠度为85%，旁向重叠度为80%，共计22个架次，每个架次航摄时间约21分钟。

具体航飞设计参数如表3，实施过程如表4。

表3 航飞设计参数

参数	指标值
相对航高	200m
地面分辨率	0.026m
倾斜摄影角度	45°
相机	Sony RX1R2 相机, 35mm 焦距镜头
航向重叠度	85%
旁向重叠度	80%
航线间距	41m
拍照间距	20m
ISO	≤500 感光度
快门速度	1/1250

表4 实施过程明细表

项目	数量	说明
倾斜摄影测量系统	1套	中海达 iFly D6 电动多旋翼无人机+iCam Q2 倾斜相机。
RTK	1套	Trimble R8。
像控测量及检测	1人	共完成19个像控点的测量与检测。
外业航飞	2天	完成22个架次3.4km ² 航拍，获取22750张照片。
补飞	0.5天	对数据不合格区域进行补飞，共3个架次。

2.4数据处理

实验共采集影像22750张，采用了北京中测智绘的Mirage 3D影像建模系统对倾斜摄影数据进行空中三角测量处理，数据建模采用Bentley公司的ContextCapture软件，具体数据处理效率如表5，三维模型成果如图4和图5。

表5 数据处理效率统计表

序号	项目	耗时	备注
1	导入数据和编辑控制点	3小时	主计算工作站上操作。
2	空中三角测量	12小时	Mirage 3D, 13台计算机分布式运算。
3	三维模型构建	72小时	ContextCapture 软件, 13台计算机分布式运算。



图5 三维模型全景图



图6 三维模型局部图

2.5模型精度评定

三维模型构建完成后，需要对空中三角测量平差精度进行分析。根据《数字航空摄影测量空中三角测量规范》(GB/T 23236-2009)采取定向点和检查点检验模型精度。

本实验共有17个定向点和2个检查点参与空中三角测量，具体精度统计如表6。

表6 实验测区三维模型基本定向点和检查点坐标精度评定表

类型	数量/ 个	平面位置中 误差	高程中误 差	1:500 平面位置中误 差限差	1:500 高程中误差 限差
基本定向 点	17	0.014m	0.075m	0.13m(平地)	0.11m(平地)
检查点	2	0.022m	0.117m	0.175m(平地)	0.15m(平地)

综上,本实验三维模型的空中三角测量精度满足1:500三维模型生产精度要求。

2.6地形图数据采集与精度分析

本实验采用EPS 3D Survey 三维测图系统在进行裸眼三维模型测图,同时加载二维正射影像和三维模型作为底图,采用二维、三维联动绘制的方式,目视辨别地物进行地形图绘制(如图7)。

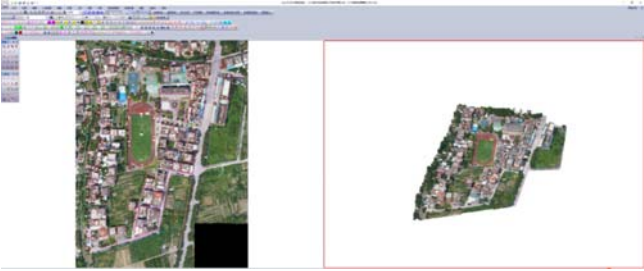


图7 二维、三维联动绘制地形图

2.6.1平面精度分析

本实验选取了测区中的4个区域的三维测图成果进行平面精度分析,每个区域分别提取了50个房角点坐标与野外实测同名点进行比对分析,检测点分布图如图8,误差统计图9~图12和表7。

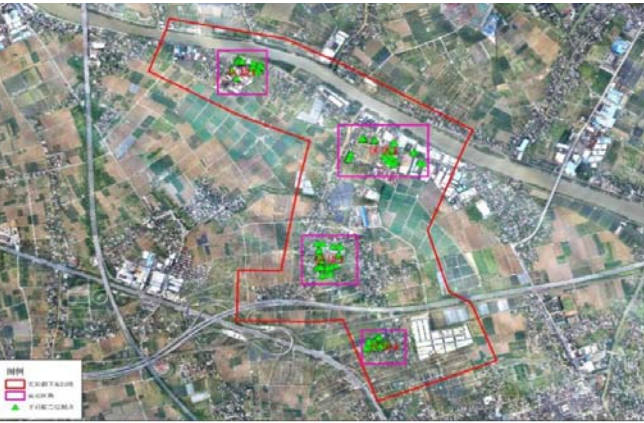


图8 平面坐标检测点分布图

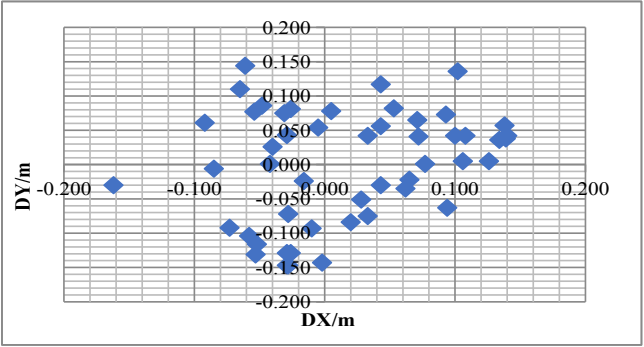


图9 区块1坐标检测残差图

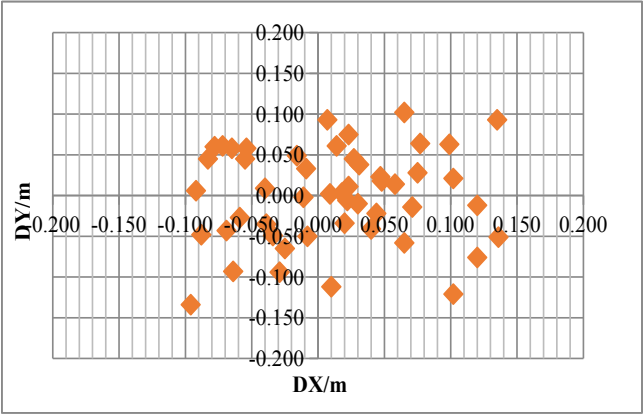


图10 区块2坐标检测残差图

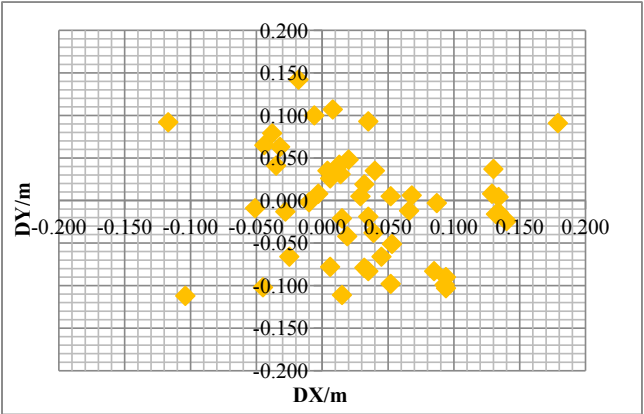


图11 区块3坐标检测残差图

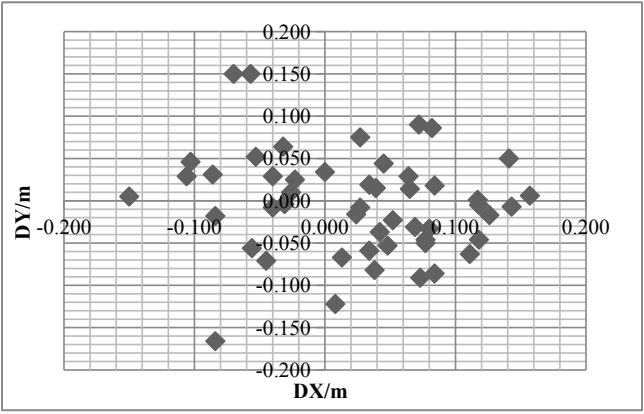


图12 区块4坐标检测残差图

表7 平面误差统计表

区块	采样点数	X 坐标中误差	Y 坐标中误差	平面中误差
区块 1	50	0.072m	0.081m	0.109m
区块 2	50	0.068m	0.058m	0.087m
区块 3	50	0.062m	0.065m	0.096m
区块 4	50	0.074m	0.061m	0.099m
总计	200	0.070m	0.079m	0.107m

2.6.2高程精度分析

本实验在测区均匀采集了67个实测高程点(如图13),经与模型同名点进行高程比对分析,其高程残差如图14。



图13 高程检测点分布图

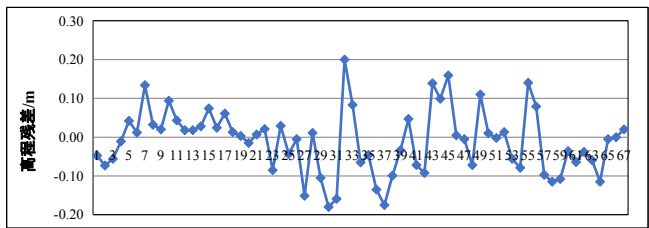


图14 高程检测点残差图

通过统计分析,测区三维模型高程的中误差为0.08m。

2.6.3 相对精度分析

三维模型的相对精度采用明显地物间距丈量方式,丈量边精度检查共量取104条房屋边长,计算得到边长中误差为0.05m,边长误差统计如图15。

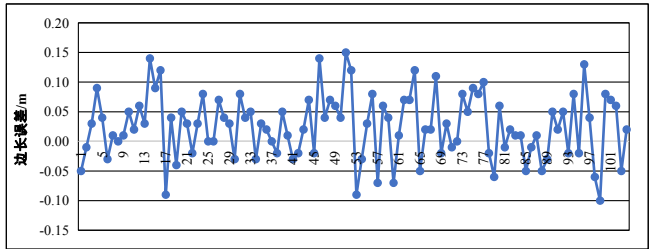


图15 边长检测残差图

2.6.4 三维模型精度质量评测结果

根据上文的统计结果,本实验三维模型测图成果的精度满足《城市测量规范》(CJJ/T 8-2011)关于1:500数字线画图测绘的要求^[8],具体质量评定结果如表8。

表8 实验三维模型精度质量评定结果

项目	规范要求中误差	测量成果中误差
平面中误差	≤0.25m	0.107m
高程中误差	≤1/3H平地为0.167m	0.08m
边长中误差	≤0.2	0.05m

综上所述,本实验三维模型测图成果的平面精度、高程精度和相对精度满足1:500地形图测绘的要求。

3 结论

本文采用无人机倾斜摄影影像建立三维模型,并借助EPS 3D Survey 三维测图系统进行1:500地形图绘制,突破了传统绘制地形图需要全野外采集信息的局限。通过实验研究分析,得出以下结论:

(1) 本文利用无人机配置非量测相机,进行倾斜摄影测量,并按照规范要求进行三维建模,模型精度满足用于三维模型数字化绘制DLG的要求。

(2) 本文三维模型绘制的地形图成果在平面精度、高程精度和相对精度满足1:500地形图测绘的要求。

(3) 对于植被覆盖、房屋遮挡等一些拍摄死角或关联点不足的地方,模型成果容易产生拉花和扭曲变形,影响地形图绘制,还需通过全野外测量方法补测完成。

【参考文献】

[1]张祖勋.数字摄影测量的发展与展望[J].地理信息世界,2004,2(3):1-5.
[2]张漫,沈盛戡,胡腾.无人机核线影像的稀疏匹配与稠密匹配[J].测绘通报,2017,(5):39-42.
[3]陈晓勇,何海清,周俊超,等.低空摄影测量立体影像匹配的现况与展望[J].测绘学报,2019,48(12):1595-1603.
[4]闫利,费亮,陈长海,等.利用网络图进行高分辨率航空多视影像密集匹配[J].测绘学报,2016,45(10):1171-1181.
[5]朱庆,陈崇泰,胡翰,等.顾及纹理特征的航空影像自适应密集匹配方法[J].测绘学报,2017,46(01):62-72.
[6]袁修孝,袁巍,许殊,等.航摄影像密集匹配的研究进展与展望[J].测绘学报,2019,48(12):1542-1550.
[7]国家测绘地理信息局.数字航空摄影测量控制测量规范:CH/H3006-2011[S].北京:测绘出版社,2012.
[8]中华人民共和国住房和城乡建设部.城市测量规范:CJJ/T8-2011[S].北京:中国建设工业出版社,2012.

作者简介:

柳翠明(1977--),男,广西博白人,汉族,硕士毕业,广州市城市规划勘测设计研究院南沙分院负责人,研究方向:基础地形图测绘,规划测量,无人机低空遥感辅助违法用地监测等。

张永毅(1991--),男,广东阳春人,汉族,硕士毕业,主要研究方向为测量数据处理。