

# Research on Rural Real Scene Model Measurement Based on POS Aerial Triangulation Technology

Da Bing\*, Shi Xingxi

School of Science, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, China

**Email address:**

649667917@qq.com (Da Bing), xingxishi@163.com (Shi Xingxi)

\*Corresponding author

**To cite this article:**

Da Bing, Shi Xingxi. Research on Rural Real Scene Model Measurement Based on POS Aerial Triangulation Technology. *Science Discovery*. Vol. 9, No. 6, 2021, pp. 321-328. doi: 10.11648/j.sd.20210906.18

**Received:** October 27, 2021; **Accepted:** November 5, 2021; **Published:** November 12, 2021

**Abstract:** Rural development has always been one of the key and difficult problems in China, such as rural natural disaster monitoring, rural land resources and homestead management, rural cultural and tourism development, comprehensive management of rural environment and so on. In this paper, POS aerial triangulation technology is combined with rural areas, and the three-dimensional rural real scene is modeled and digitized, which brings a new idea to rural development and governance. In this paper, the consumer UAV is used to complete the rural low altitude aerial photography, and the rural 3D model reconstruction is completed based on the smart3d platform. The specific principle of POS assisted aerial triangulation is analyzed and the three-dimensional modeling process based on UAV aerial photography is displayed. Through experiments, it is verified that POS assisted aerial triangulation technology without ground control points can realize the 1:1 establishment of three-dimensional real scene model. The side length and height information can be read on the model, and the accuracy is high. At the same time, it puts forward the possibility and convenience of three-dimensional real scene model for house and land ownership registration. In the scene of site constraints and topographic conditions, POS assisted aerial triangulation without ground control points has the application value of emergency rescue, and has a certain practical significance for rural geological disaster monitoring.

**Keywords:** Rural, 3D Reconstruction, UAV, Aerial Triangulation, POS

---

## 基于POS空中三角测量技术的乡村实景模型测量研究

笪兵\*, 石杏喜

南京理工大学理学院, 南京, 中国

**邮箱**

649667917@qq.com (笪兵), xingxishi@163.com (石杏喜)

**摘要:** 乡村发展问题一直以来是我国面临的重点和难点问题之一, 如乡村自然灾害监控、乡村土地资源及宅基地管理、乡村文旅发展、乡村环境综合治理等。本文将POS空中三角测量技术与乡村结合, 将三维乡村实景模型化、数字化, 给乡村发展和治理带来了一种新思路。本文采用消费级无人机完成乡村低空航拍, 基于Smart3D平台完成了乡村三维模型重建工作。分析了POS辅助空中三角测量具体原理, 展示了基于无人机航拍的三维建模流程, 通过试验验证了无地面控制点POS辅助空中三角测量技术, 可以实现三维实景模型1:1建立, 模型上可以读取边长、高度信息, 且精度较高。同时提出了三维实景模型进行房屋和土地确权登记的可能性和便捷性。在场地限制、地形条件制约的场景下, 无地面控制点的POS辅助空中三角测量具有应急抢险应用价值, 面对乡村地质灾害监控有一定的现实意义。

关键词：乡村，三维重建，无人机，空中三角测量，POS

1. 引言

乡村发展关系着我国繁荣稳定，是实现我国两个百年奋斗目标的重要组成部分。党的十九大报告明确提出乡村振兴的总体要求是产业兴旺、生态宜居、乡风文明、治理有效、生活富裕。“乡村治理”有了更加深远的历史意义[1]。乡村发展面临的课题有：乡村自然灾害监控、乡村土地资源及宅基地管理、乡村文旅发展、乡村环境综合治理等。目前传统的乡村治理方法存在诸多不足，如泥石流、滑坡等乡村自然灾害频发，传统的灾害监测方法需要技术人员实地监测数据，存在较大的危险性；传统的宅基地绘图工作耗时耗力，效率较低，且成果展示较为抽象，仅为二维平面图；传统的乡村文旅宣传仅为二维平面图，不够形象生动；传统的乡村环境调查治理，需要大量人员深入基层，管理成本较大等。基于以上背景，要求我们要寻找一种现代化和智慧化“乡村治理”方法。本文引入空中三角测量及三维重建技术[2]，能够很好的集成三维模型信息、三维数据信息，将三维重建技术与乡村结合，将是一种高效的“乡村治理”途径之一，将有效的应对乡村发展的重难点问题。

经过多年的发展，三维重建技术已经取得一定的研究成果，如医学领域中CT成像以及智能汽车外部场景识别等。基于单目视觉的三维重建技术，在计算机视觉领域中是一个具有研究价值的学术课题。这项技术主要借助外部成像设备来拍摄物体及研究对象，对获取的二维图像信息进行数据分析处理，通过三维重建的相关理论重建出真实环境中物体表面的轮廓信息。基于视觉的三维重建具有速度快、实时性好、稳定性好等优点，能够广泛应用于人工智能[3]、机器人、无人驾驶、SLAM、虚拟实现和3D打印等领域，具有重要的应用研究价值。

POS(Position and Orientation System)[4,5]，是一种定位定向系统，有学者也称之为GPS、IMU组合导航系统。该系统集成了差分GPS实时定位与IMU姿态测定的功能，通常能直接用于测定移动目标的空间位置和目标三轴姿态信息。有学者认为，POS已渐渐成为空中三角测量技术中的“黄金组合”[6]，这是因为GPS与IMU在技术上具有互补性，不仅保证了组合导航的精度和可靠性，组合使用还可以节约成本。

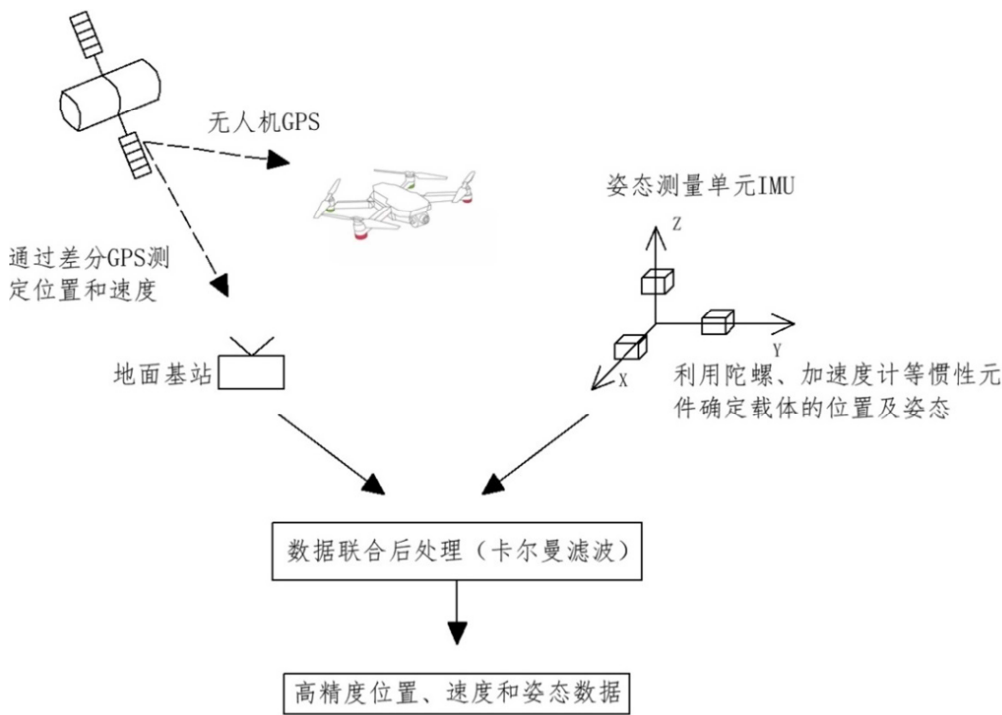


图1 POS工作原理（图为无人机POS系统）。

POS与空中三角测量技术的融合，衍生出了POS辅助空中三角测量技术，国内外将此种技术称为“集成传感器定向法”（integrated sensor orientation, ISO）[7]。它是通过对POS系统观测数据进行严格的联合数据后处理（动态卡尔曼滤波）直接测定航摄仪的空间位置和姿态，并将其与像点坐标观测值进行联合平差，以整体确定地面目标点的3维空间坐标和6个影像外方位元素，实现少量或无地

面控制点的摄影测量区域网平差[8]。引入POS系统测量的GPS位置数据和IMU测得的姿态角度信息作为平差条件，建立相应的误差方程，依据最小二乘法原理解算法方程不断迭代，直至得到最优的地物点坐标数据、摄站点坐标数据、姿态数据等，这是它与传统的区域网光束法平差最大的不同。



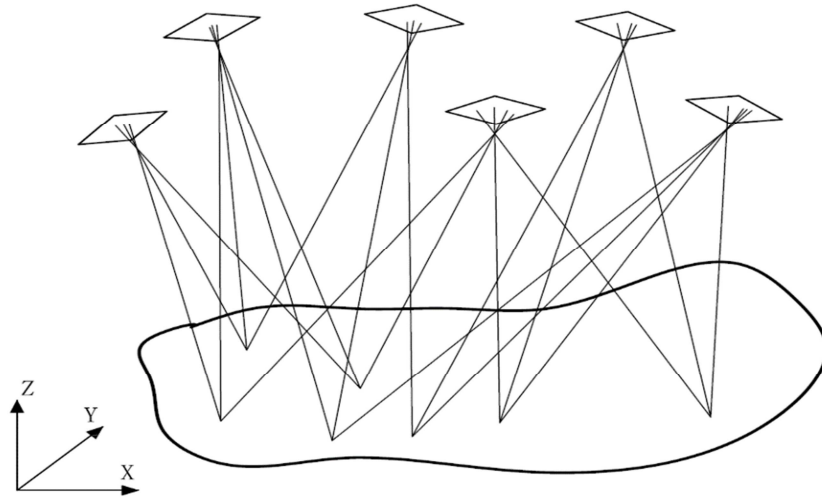


图3 光束法空中三角测量示意图。

进行POS影像定向参数与像点坐标观测值的联合平差时,以像点坐标、GPS摄站坐标和IMU姿态角为观测值,将物点地面坐标、影像外方位元素以及各种系统误差改正参数作为待定参数。按照泰勒级数展开至一次项,便可得到POS系统误差方程的矩阵形式:

$$\begin{cases} V_X = Bx + A_X t + Ss - L_X E \\ V_G = A_G t + Rr + D_G d_G - L_G P_G \\ V_I = A_I + Mm + D_I d_I - L_I P_I \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $V_X$ ,  $V_G$ ,  $V_I$  分别为像点坐标、GPS摄站坐标和IMU姿态角观测值改正数量;

$x = [\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$  为待定点坐标未知数增量向量;

$t = [\Delta \varphi \ \Delta \omega \ \Delta \kappa \ \Delta X_S \ \Delta Y_S \ \Delta Z_S]^T$  为影像外方位元素未知数量增量向量;

$s = [s_1 \ s_2 \ s_3]^T$  为自检校参数向量;

$r = [\Delta \mu \ \Delta \nu \ \Delta \omega]^T$  为GPS偏心分量增量向量;

$d_G = [a_x \ a_y \ a_z \ b_x \ b_y \ b_z]^T$  为GPS定位漂移误差改正参数向量;

$m = [\Delta \varphi_I \ \Delta \omega_I \ \Delta \kappa_I]^T$  为IMU视准轴误差增量向量;

$d_I = [a_\varphi \ a_\omega \ a_\kappa \ b_\varphi \ b_\omega \ b_\kappa]^T$  为IMU测姿漂移误差改正参数向量;

$B$ ,  $A_X$ ,  $A_G$ ,  $A_I$ ,  $S$ ,  $M$ ,  $D_G$ ,  $D_I$  为相应未知数的系数矩阵,即各观测方程对未知数的一阶偏导数;

$L_X = \begin{bmatrix} x - x^0 \\ y - y^0 \end{bmatrix}$  为像点坐标观测值残差向量  $x^0$ ,  $y^0$  为未知数近似值按式(1)计算的像点坐标值;

$$L_G = \begin{bmatrix} X_G - X_G^0 \\ Y_G - Y_G^0 \\ Z_G - Z_G^0 \end{bmatrix} \text{ 为GPS摄站坐标观测值残差向量,}$$

$X_G^0$ ,  $Y_G^0$ ,  $Z_G^0$  为由未知数近似值按式(2)计算的无人机GPS天线相位中心坐标值;

$$L_I = \begin{bmatrix} \varphi' - \varphi_0' \\ \omega' - \omega_0' \\ \kappa' - \kappa_0' \end{bmatrix} \text{ 为IMU姿态角观测值残差向量,}$$

$\varphi_0'$ ,  $\omega_0'$ ,  $\kappa_0'$  为由未知数近似值按式(4)计算的IMU姿态角值;

$P_G = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_{GPS}^2} E$  为GPS摄站坐标观测值权矩阵。其中,  $\sigma_0$  为像点坐标量测精度;  $\sigma_{GPS}$  为GPS定位精度;

$P_I = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_{IMU}^2} E$  为IMU姿态角观测值权矩阵,  $\sigma_{IMU}$  为IMU测姿精度。

当区域网中有  $m$  张图像,并在图像上量测了  $n$  个像点,通过POS辅助光束法区域网平差理论,可以得到  $2n+6m$  个形如式(5)误差方程。若依照像点坐标、POS系统提供的GPS摄站坐标及IMU姿态角的测量精度,分别给三类观测值赋予不同的权,则可用最小二乘平差方法解算出物点的三维地面坐标和影像的外方位元素的最值。

### 2.3. 无地面控制点POS辅助光束法区域网平差的解算过程

从POS辅助光束法区域网平差理论可知,内方位元素将作为已知参数,POS提供的GPS摄站定位数据、IMU姿态参数、以及同名像点坐标作为观测数据,像片的外方位元素以及待求地面点坐标作为未知参数,计算过程实际上是一个不断迭代的过程。无地面控制点光束法平差的具体解算过程如下:

(1) 确定已知参数,如摄影比例尺  $1/m$ , 平均航高  $H$ , 像片的内方位元素  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $f$  [15];

(2) 对待求点进行像点的坐标量测,并获取POS观测值,目前该项过程可以通过计算机完成;

(3) 确定未知数的初始值。光束法平差必须给定待参数的初始值,如像片的外方位元素初始值可以等于POS观测值,待定点物方空间坐标初始值可以有空间前方交会求得;



(4) 以像片为单位, 计算像片的旋转矩阵 $R$ 、并逐点(同名像点) 计算误差方程式的系数和常数项, 组成误差方程式;

(5) 计算法方程的系数矩阵和常数项矩阵, 组成法方程式, 计算未知参数的平差值;

(6) 检查平差是否收敛。若不满足限差要求, 则重复(4)~(6), 直到平差值满足相应限差要求, 完成迭代计算。

### 3. 乡村实景模型的建立流程

#### 3.1. 试验场地

本次试验场地为南京市江宁区淳化街道茶岗社区小花区村庄人员居住区, 该乡村人员居住区域约100亩, 建筑群成Y型分布, 地属丘陵地区。



图4 百度地图中的小花区村庄的平面图。

#### 3.2. 航拍工具

本次飞行所采用的工具是大疆MIN2无人机, 该无人机的主要技术参数如下:

表1 MIN2无人机主要参数。

型号	起飞重量	展开尺寸	对角线轴距	飞行时间	抗风等级	卫星导航系统	影像传感器	镜头
MIN2	<249g	245×289×56 mm (长×宽×高)	213 mm	30min	8.5 m/s 至 10.5 m/s (5 级风)	GPS	1/2.3 英寸 CMOS 有效像素 1200 万	视角: 83° 等效焦距: 24 mm 光圈: f/2.8 焦点范围: 1 m 至无穷远

MIN2为消费级轻型无人机, 携带方便, 方便进行户外试验。MIN2无人机内置导航系统和IMU姿态模块, 有了这对黄金组合, MIN2每张拍摄的照片都能自动获取GPS摄站点坐标和IMU姿态角参数, 有了这6个已知参数就可以通过光束法平差求得摄影中心的3个位置元素 $X_S$ 、 $Y_S$ 、 $Z_S$ , 以及像片的3个角度元素 $\varphi$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$ 。

#### 3.3. 试验过程

本次航飞日期为2021年9月11日, 天气晴朗, 微风, 30℃, 适合MIN2无人机航飞。



图5 左为飞控操作台, 右为无人机。

本次航拍飞行高度为70m, 采用倾斜摄像方法, 镜头拍摄角度约为30-45度, 整个飞行航线为Z字型。



图6 无人机飞控台展示照片。

从无人机飞控台可以精确的控制飞行高度、拍摄角度, 以及查看无人机续航时间。从飞控台清晰的看到目前的卫星数量, 当天与无人机、飞控台联系的卫星数量有18个。卫星数量越多定位越精确。

本次试验的没有增加地面控制点, 意在验证无地面约束的POS空三技术三维实景模型的相对量精确测量的可能性。本次航行时间约25min, 共采集到157张照片, 照片重叠度达到80%以上。

#### 3.4. 基于Smart3D的后台处理

Smart3D是一款优秀的三维建模软件, 自动化程度较高。首先对多视影像进行大量特征点的计算提取[16], 对获取的特征点采用多基线多特征匹配技术自动匹配同名点, 然后采用光束法区域网平差方法进行整体平差计算。Smart3D进行光束法区域网平差计算时, 会自动剔除粗差点[17], 反复进行平差计算、点位调整, 直到空三测量结

果满足要求, 从而得到每张影像精确的外方位元素, 以供后续三维重建使用。图7为基于Smart3D的无地面控制点的三维建模流程。

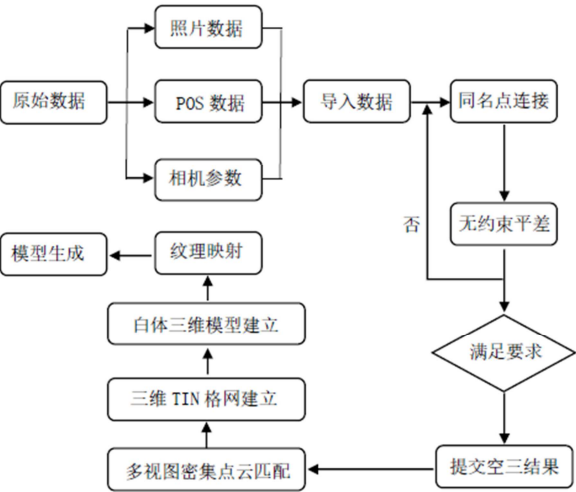


图7 无地面控制点的三维建模流程图。

首先是导入157张照片, 以下是部分图片信息:



图8 部分图片信息。

查看图片POS信息, 如图9 (图片来源于Smart3D软件)。



图9 照片POS信息预览图。

从POS信息预览图中可以看到, 目前线元素是基于国际通用的WGS84经纬坐标系, Smart3D提供了不同坐标系系统转换功能, 可以将WGS84转换成UTM zone 50N, 即(XYZ形式)。角元素是以旋转矩阵R形式出现的, 旋转矩阵可以实现像空间坐标系到像空间辅助坐标的转换。

导入照片后Smart3D会进行自动空三运算, 本次试验无地面控制点, 即无刺点环节。自动空三运算中含有大量的算法运算过程, 如同名像点识别、图像匹配、以及光束法区域网平差等。自动空三运算完后, 可以清楚看到稀疏点云模型与无人机之间的相对位置关系, 如图10 (图片来源于Smart3D软件)。

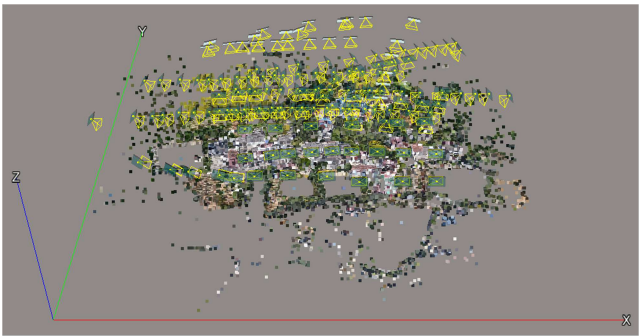


图10 稀疏点云模型与无人机的相对位置关系图。

自动空三完成后, 进行三维实景建模流程, 主要过程有密集点云匹配、三维TIN格网模型建立、白体三维模型建立、纹理映射、生成实景3D模型, 如图11 (图片来源于Smart3D软件)。此过程运行时间较长, 对电脑配置要求较高。本次试验电脑配置如表2。



表2 电脑配置。

系统	CPU	主板	内存	显卡	硬盘
WIN10 64位	英特尔 Core i5-10400F @ 2.90GHz 六核	华硕 TUF GAMING B460M-PLUS	16 GB (2666MHz)	Nvidia GeForce GTX 1650 (4 GB)	WDS500G2B0C-00PXH0



图11 三维实景模型图。

4. 三维实景测量及数据分析

本次数据测量仅对三维实景模型的边长和高度进行测量，用来研究在无地面控制点的前提下，POS空中三角测量技术的应用前景。外业工作主要选取明显地物点，如拐点或转角处。外业测量用到的工具有钢尺和测距仪，本次外业测量对19个建筑物，如图12（图片来源于Smart3D软件），进行了46组数据的测量工作，其中水平距离数据23组，垂直距离数据23组。



图12 三维实景模型点位图。

三维实景模型数据测量，是基于Smart3D平台进行的。选取地物点，如拐点、转角等。三维实景模型测量操作如图13（图片来源于Smart3D软件）。

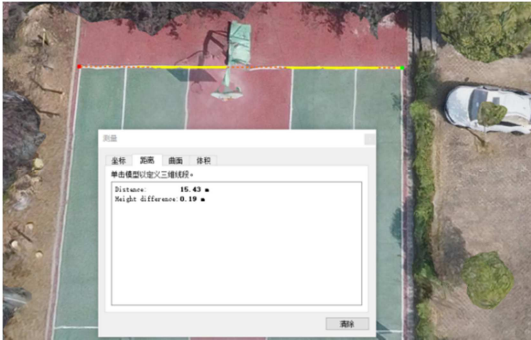


图13 三维实景模型测量操作图。

对46组数据进行对比分析，边长中误差为4.1cm，边长极限误差为8cm，高度中误差为6.1cm，边长极限误差为9cm。边长数据满足城市测量规范（CJJT 8-2011）5cm的数据采集要求，高度数据也接近了5cm的数据采集要求。数据详见表3、表4、表5。模型放大后进行选点工作，放大后的模型拐点及转角略显模糊，这也是造成误差的主要原因，后期可以通过优化算法和改善试验工具来提高模型的分辨率，从而减少误差。

表3 实测边长与3D模型边长数据对比。

位置	实测边长（m）	模型边长（m）	误差（m）
01—1	15.4	15.43	0.03
01—2	24.91	24.87	-0.04
01—3	16.29	16.31	0.02
01—4	24.93	24.91	-0.02
01—5	17.13	17.15	0.02
02—1	7.95	7.87	-0.08
03—1	6.9	6.86	-0.04
04—1	8.55	8.5	-0.05
05—1	11.38	11.39	0.01
06—1	7.48	7.42	-0.06
07—1	11.58	11.55	-0.03
08—1	8.9	8.82	-0.08
09—1	13.6	13.58	-0.02
10—1	9.23	9.18	-0.05
12—1	11.1	11.12	0.02
13—1	5.9	5.87	-0.03
13—2	5.8	5.81	0.01
14—1	4.85	4.82	-0.03
15—1	7.8	7.78	-0.02
16—1	7.25	7.26	0.01
17—1	10.52	10.58	0.06
18—1	10.3	10.27	-0.03
19—1	7.1	7.04	-0.06

表4 实测高度与3D模型高度数据对比。

位置	实测高度（m）	模型高度（m）	误差（m）
02—1	8.28	8.22	-0.06
02—2	6.66	6.61	-0.05
03—1	8.28	8.22	-0.06
03—2	6.74	6.66	-0.08
04—1	8.49	8.5	0.01
04—2	6.78	6.77	-0.01
05—1	6.57	6.5	-0.07
05—2	6.82	6.76	-0.06
06—1	3.68	3.64	-0.04
08—1	9.1	9.01	-0.09
08—2	7	6.91	-0.09
09—1	8.67	8.71	0.04
10—1	3.86	3.83	-0.03
11—1	6.05	5.99	-0.06
12—1	6.65	6.59	-0.06
12—2	6.6	6.53	-0.07
12—3	6.43	6.39	-0.04
14—1	9.58	9.49	-0.09
15—1	6.1	6.04	-0.06
16—1	7.59	7.54	-0.05
17—1	5.9	5.81	-0.09
18—1	6.35	6.31	-0.04
19—1	6.62	6.57	-0.05

表5 中误差与最大误差。

边长中误差 (m)	高度中误差 (m)	边长最大误差 (m)	高度最大误差 (m)
0.041	0.061	-0.08	-0.09

5. 结论

乡村发展是现在以及未来国家的重点工作, 本次试验是将摄影测量学与乡村结合, 探索智慧乡村、信息乡村的方法。本次试验的外业工作是基于消费级无人机的低空航拍以及实地对象的测量。由于三维模型地物点的坐标偏差较大[18], 本次试验不对模型的坐标进行数据分析和研究, 仅研究相对量如长度、高度等研究。本次试验的内业工作是基于Smrat3D软件的乡村三维模型的建立以及三维实景模型的数据对比分析。经分析, 无地面控制点的POS辅助空中三角测量可以实现三维模型的1: 1建立, 模型上面相关高度、长度乃至体积、面积等数据都具有较高精度, 未来通过三维模型进行房屋和土地确权登记等将成为可能。同时在场址限制、地形条件制约的场景下, 无地面控制点的POS辅助空中三角测量具有应急抢险应用价值, 面对乡村地质灾害监控有一定的现实意义。通过三维实景模型, 可以直观的观察到乡村全貌, 方便进行乡村的环境综合治理, 省时省力。同时通过三维实景模型, 将有助于乡村文化宣传展示。未来, 随着全球定位系统精度的提高、IMU设备精度的提升以及空中三角测量算法的优化, POS辅助空中三角测量精度将会进一步提高, 该技术将会有更广阔的应用前景, 能够为乡村自然灾害监控、乡村自然灾害监控、乡村土地资源及宅基地管理、乡村文旅发展、乡村环境综合治理等乡村治理问题提供可靠技术支撑。

参考文献

[1] 赵树凯.乡村治理的百年探索:理念与体系[J].山东大学学报(哲学社会科学版),2021(4):11-28. DOI:10.19836/j.cnki.37-1100/c.2021.04.002。

[2] 郑太雄,黄帅,李永福,冯明驰.基于视觉的三维重建关键技术研究综述[J].自动化学报,2020,46(04):631-652。

[3] 常成.人工智能技术及应用/主编常成[M].西安电子科技大学出版社,2021。

[4] 张川,赵志国,赵向东,丛凤波.POS辅助空三数据建立立体模型及精度检测[J].测绘与空间地理信息,2018,41(02):171-173。

[5] 白洪伟,吴满意.POS辅助空中三角测量的技术现状概述[J].赤峰学院学报(自然科学版),2015,31(24):27-29。

[6] 鲁艺玲. POS辅助空中三角测量中的定权研究[D].西南交通大学,2013。

[7] Zhou Yilin, Rupnik Ewelina, Faure Paul-Henri, Pierrot-Deseilligny Marc. GNSS-Assisted Integrated Sensor Orientation with Sensor Pre-Calibration for Accurate Corridor Mapping. [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2018, 18 (9).

[8] 王利民,刘佳,杨玲波,陈仲新等.基于无人机影像的农情遥感监测应用[J].农业工程学报,2013,(18):136-145。

[9] 徐振亮,李艳焕,闫利,晏磊.共线方程线性化的矩阵模型[J].北京大学学报(自然科学版),2016,52(03):403-408。

[10] 唐旭.近景摄影测量在边坡监测中的应用研究[D].南京理工大学,2016。

[11] 袁修孝.POS辅助光束法区域网平差[J].测绘学报,2008(03):342-348。

[12] 张岩,朱大明,申辽,于佳慧,宰春旭,刘致远.解析空三航带法区域网平差程序设计[J].软件,2020,41(06):112-116。

[13] 王智超,刘尚国,郑硕.独立模型法点云拼接在建筑倾斜监测中的应用[J].测绘地理信息,2021,46(02):79-82。

[14] 王建梅,朱紫阳.利用已有像控点的多期航空影像光束法区域网联合平差[J].测绘学报,2010,39(01):22-27。

[15] 王明山. 机载LiDAR DSM深度影像与航空影像配准方法研究[D].西南交通大学,2013。

[16] 周杰.基于倾斜摄影测量技术构建实景三维模型的方法研究[J].价值工程,2016,35(25):232-236。

[17] 林志东.基于Smart3D的倾斜摄影空中三角测量优化研究[J].资源信息与工程,2020,35(5):94-96。

[18] 周思怡.GPS/INS辅助空中三角测量技术研究及应用[D].东华理工大学,2016。