

DOI: 10.12265/j.gnss.2020092502

# 倾斜摄影技术的单体塔式建筑物三维重建方法

王晓东<sup>1</sup>, 岳军红<sup>2</sup>, 陈兴芳<sup>1</sup>

(1. 西宁市测绘院, 西宁 810001;

2. 陕西铁路工程职业技术学院, 陕西 渭南 714000)

**摘要:** 针对塔式单体建筑物形状不规则导致三维模型构建失败, 提出倾斜摄影技术的塔式单体建筑物三维重建方法. 选用消费型多旋翼无人机搭载单镜头的相机, 通过环线拍摄的方式获取多视影像数据, 通过 ContextCapture 软件对获取的多视影像数据进行处理, 构建塔式建筑物的实景三维模型, 利用外业控制点、纹理细节信息对生成的三维模型精度评定. 试验表明: 环线航拍获取多视影像数据构建三维模型, 精度较高、模型纹理信息缺失少、完整度高.

**关键词:** 倾斜摄影技术; 塔式建筑物; 环线航拍; 三维重建

中图分类号: P228; P231

文献标志码: A

文章编号: 1008-9268(2021)02-0086-07

## 0 引言

为满足再现地理场景的需求, 需利用现有数据构建实景三维模型用于地籍测量、智慧城市建设和灾害评估等领域<sup>[1]</sup>. 地理场景中存在一类形状不规则、高大、纹理单一的塔式建筑物, 增加了实景三维模型构建的难度, 制约着三维地理场景构建的发展<sup>[2]</sup>. 常用的建筑物三维建模可以通过手动、半自动人机交互以及全自动方法实现<sup>[3]</sup>. 虽然利用 3DMAX、AutoCAD 软件手动构建建筑物三维模型精度高, 但是耗时长、成本高、覆盖区域小, 适合城市重点区域精细化三维模型构建应用场景. Heo Joon 等<sup>[4]</sup>利用激光扫描仪获取点云数据构建建筑物三维模型, 该方法采集成本高且获取三维模型缺少纹理信息, 需要后期补拍影像以获取三维模型的纹理信息; 张文春等<sup>[5]</sup>利用无人机拍摄影像数据与激光雷达 (LiPAR) 获取点云数据融合构建三维模型, 能进一步提高复杂建筑物三维模型精度, 但该类方法增加了三维建模的难度与成本; 基于倾斜无人机摄影测量的三维模型自动构建技术<sup>[6-8]</sup>, 通过不同视角获取多视影像数据构建实景三维模型效果较好, 其精度有待进一步提高. 塔式建筑物相对常规建筑物具有单独特征: 外形结构复杂、纹理丰富、影像数据变形较大, 因此建模复杂难度增加. 采用常规倾斜无人机采集数据, 航高与摄影倾斜角固定容易出现拍摄盲区导致获取的影像信息不全<sup>[9]</sup>; 塔式建筑物一般高度较高, 需要多次采集, 造成数据冗

余、建模效率低等问题, 同时也可能因影像重叠度不足导致三维模型构建失败<sup>[10]</sup>. 因此, 目前依然缺少一种适合塔式建筑物的三维模型构建方法.

本文针对单体塔式建筑物建筑外形结构复杂、纹理丰富、影像数据变形较大的特点, 提出一种倾斜摄影技术的单体塔式建筑物三维模型构建方法. 该方法利用多旋翼无人机平台搭载单镜头相机作为数据采集设备, 通过环线航拍规划模型生成环绕式的航路, 实现高效率对塔式单体建筑物多视角、多高度、三维立体自动航拍, 以获取高质量的影像数据, 进而提高构建实景三维模型质量与建模效率; 通过建模效率、建模质量两方面对实景三维模型构建方法进行评价.

## 1 倾斜无人机单镜头三维模型构建方法

### 1.1 倾斜无人机系统

经纬 M600 Pro 无人机是大疆创新科技有限公司自主研发的垂直起降多旋翼无人机, M600 Pro 搭载专业级 A3 Pro 飞控系统, 配备三套惯性测量单元 (IMU) 与全球卫星导航系统 (GNSS) 模块, 配合软件解析冗余实现 6 路冗余导航系统; 安装避震设计处理, 数据更精确, 能有效地保障飞行器稳定可靠与精准操控. 在六轴或八轴飞行器出现动力故障时, 容错控制系统可以确保飞行器稳定飞行, 确保飞行安全;

收稿日期: 2020-09-25

通信作者: 王晓东 E-mail: wangxd\_85@163.com

具有可悬停拍摄、对起飞和降落环境要求低以及获取高精度的航测数据等优势. 多旋翼无人机如图 1 所示 (搭载禅思 H20 变焦相机), 具体参数如表 1 所示.



图 1 经纬 M600 Pro 无人机

表 1 经纬 M600 Pro 飞行平台参数

名称	参数
导航卫星	GPS: L1+L2 (20 Hz); 北斗:B1+B2(20 Hz)
飞控系统	A3 Pro
载重重量	6.0 kg
对称电机轴距	1 133 mm
续航时间	35 min
巡航速度	65 km/h
爬升速度	5 m/s
悬停精度	水平1.5 m; 垂直0.5 m
最大起飞海拔高度	2 170 R桨: 2 500 m 2 195 R桨:4 500 m
起飞方式	无遥控器垂直起降
禅思H20相机	光圈f/2.8-f/11; 2 000 万像素; 程序自动曝光; 影像大小: 5 184像素 × 3 888像素

### 1.2 环线航线规划

首先计算建筑物最小外包矩形, 以矩形的底面中心点为球心, 构建包含最小外包矩形的半球面; 然后在半球面外侧构建一个同心面作为无人机航线范围, 通过设置无人机航摄平台的相对航高与半径, 使其能够围绕单体塔式建筑物飞行; 利用地面控制系统进行调整, 使相机镜头始终朝向球心, 实现对同一建筑物多角度拍摄以避免出现拍摄盲区.

环线航摄模型输入参数包含: 塔式建筑物最小外界矩形参数、相对航高、航向重叠度、旁向重叠度、相机焦距、影像成像分辨率、相机垂直、水平视场角度. 环线航摄模型的输出参数包含: 每条环线航拍的绝对航高、环线航拍的视场角度、环线航拍的半径. 采用单向螺旋上升线的形式, 环绕航线上每点的航高实时变化对地面控制系统要求较高, 同时可能会存在在下一条螺旋线点影像的航向重叠度不能满足规定要求. 为了保证航线间影像重叠度, 采用固定航高的拍摄方式获取影像数据. 为了保证采集塔式建筑物信息完整性, 在规划环线航摄路线时需要考虑同一环线航向影像重叠度和相邻环线航拍间影像重叠度. 影像重叠度设置错误会导致三维模型构建失败或增加数据冗余度, 降低数据处理质量. 环线规划航拍的模型流程如图 2 所示.

步骤 1: 首先依据塔式建筑物的长、宽、高, 计算塔式建筑物最小外接矩形长、宽、高; 然后构建最小外接矩形对应的最小外包半球面; 根据影像空间分辨率、相机像素大小以及相机焦距参数, 计算相机中心相对被拍摄建筑物的距离, 结合半球面球心参数构建一个半球面作为飞行线路, 即两个半球面的半径差为相机中心到被拍摄建筑物的距离, 从而确定规划航线的球面半径大小.

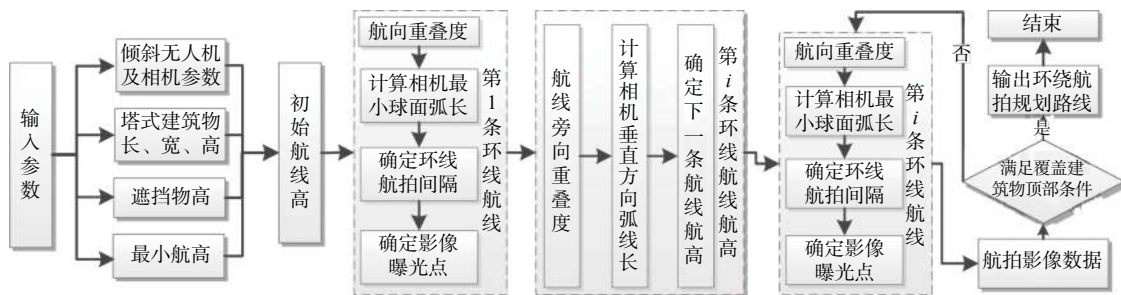


图 2 环线规划摄影模型流程图

步骤 2: 初始航高的确定. 图 3(b) 为塔式建筑物最小外接矩形、最小外包半球面以及航线规划半球面的垂直截面, 以  $C_3$  和  $C_4$  表示倾斜无人机在规划航线半球面上不同航高的两条环线上的相机位置,  $O$  为塔式建筑物的最小外接矩形圆心,  $OC_3$ 、 $OC_4$  为相机

中心与球心的连线的中轴线,  $\theta$  为相机垂直方向的视场角大小,  $P_7$ 、 $P_8$ 、 $P_9$ 、 $P_{10}$  为垂直方向视场角与最小外包半球面的交点. 假设相机中轴线与水平地面的夹角为相机倾角  $\alpha$ , 可以获得该点的航高. 为保证塔式建筑物信息的完整性, 初始航高一般取中轴线与建筑物

底部的角点上,但考虑建筑物底部周围可能存在的遮挡物(限制航高),故取初始航高与限制航高的最大值

作为最终的初始航高。

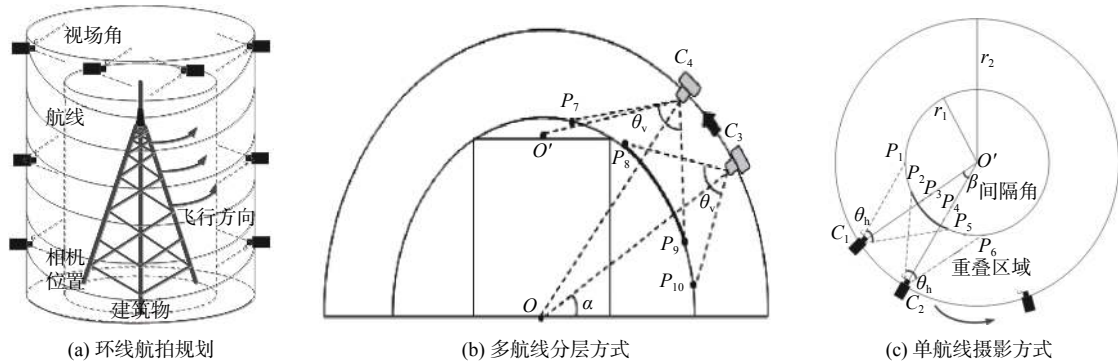


图 3 环线规划摄影方式

步骤 3: 根据航向重叠度计算航线内拍摄间隔角度. 如图 3(c) 所示,  $C_1$ 、 $C_2$  为同一航线上相邻相机拍摄位置,  $O'$  为环绕航线的圆心,  $\beta$  为相邻相机拍摄点在环线上的夹角,  $\theta_h$  为相机在航线上的水平方向的视场角大小,  $P_3$  和  $P_4$  为相机中轴线与最小外包半球面的交点, 过  $P_3$  或  $P_4$  点做平行环线的水平截面,  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_5$ 、 $P_6$  为  $C_1$ 、 $C_2$  点相机水平视场角边点与该水平截面的角点. 将计算相机  $C_1$ 、 $C_2$  航向重叠度问题转换为计算两点在水平方向重叠区域弧长与水平弧长的比值, 即计算弧长  $\widehat{P_2P_5}$  与弧长  $\widehat{P_1P_5}$  或弧长  $\widehat{P_2P_6}$  的比值. 假设相机  $C_1$  和  $C_2$  位置航高为  $h$ , 航向重叠度  $O_c$ ,  $r_1$  为最小外包球面的半径,  $r_2$  为航线上半径大小, 依据相机的水平视场角  $\theta_h$  反算出  $\beta$ , 如式 (1):

$$\beta = 2\arctan \left( \frac{\sqrt{r_1^2(r_2 - h)^2 - r_2^2(r_2 - r_1)^2 \tan^2 \left( \frac{\theta_h}{2} \right)}}{r_2(r_2 - r_1) \tan \left( \frac{\theta_h}{2} \right)} \right) (1 - O_c). \quad (1)$$

步骤 4: 判断当前航高相机垂直视场角的最低点是否覆盖塔式建筑物的顶部, 若相机垂直方向最低视场角覆盖塔式建筑物的顶部, 则终止计算并输出每条环绕航路的航高、每条环绕航线的半径和每条环绕航路的拍摄间隔角, 否则执行步骤 5. 如图 3(b) 所示, 假设  $C_4$  为当前环线航拍线路的下一个环线航拍的相机位置, 则相机垂直视场角最低点覆盖建筑的判断条件为:  $\angle P_7 C_4 O > \angle P_7 C_4 P_9$ .

步骤 5: 根据航向旁向重叠度计算下一条环线航高. 如图 3(c) 所示, 航线旁向重叠度计算与航向重叠度的计算原理相同, 将旁向重叠度计算问题转为垂直方向弧线比值的计算问题. 假设输入旁向重叠度为  $O_s$ ,

相机垂直方向的视场角  $\theta_v$ ,  $C_3$  航线的航高  $h_1$ , 依据式 (2) 与  $C_3$  相邻的航线  $C_4$  航线航高, 即为下一条航线的航高. 计算公式如式 (2):

$$h_2 = r_2 \sin \left( \arcsin \left( \frac{h_1}{r_2} \right) + \arcsin \left( \frac{r_2 \sin \left( \frac{\theta_v}{2} \right)}{r_1} \right) \right) - \theta_v - 2O_s \left( \arcsin \left( \frac{r_2 \sin \left( \frac{\theta_v}{2} \right)}{r_1} \right) - \frac{\theta_v}{2} \right). \quad (2)$$

步骤 6: 参考步骤 3 的计算方法计算该航高下环线拍摄的间隔角度, 并跳转至步骤 4.

### 1.3 多视影像数据处理

利用地面控制系统规划单镜头倾斜无人机采集塔式建筑物的环线飞行航线, 通过单镜头无人机倾斜系统采集建筑物多视影像数据, 结合成熟的多视影像处理系统构建塔式建筑物实景三维模型. 具体多视影像实景三维重建流程如下: 首先, 利用多视影像数据、影像对应的姿态数据进行多视影像匹配处理生成影像间稀疏同名点坐标, 通过对极几何约束、比例尺约束以及视差约束等多种约束策略剔除初始同名点存在明显错误的点对<sup>[11]</sup>; 其次, 进行光束法区域网平差算法计算连接点的物方空间坐标以及每张影像精确的外方位元素信息; 再次, 通过多视影像密集匹配算法获得多视影像的同名点坐标, 依据多片前方交会算法计算多视同名点的物方空间坐标生成物方密集点云数据, 并计算每个点云的法向量、构建不规则三角网 (TIN)<sup>[12]</sup>; 最后, 利用纹理自动映射技术, 对每个 TIN 选择最优的影像面片, 生成最终的塔式建筑物实景三维模型<sup>[13-14]</sup>. 具体多视影像数据处理流程如图 4 所示.



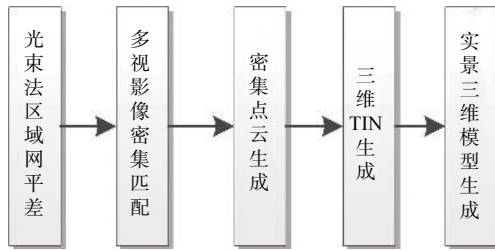


图 4 多视影像数据处理流程

#### 1.4 精度验证

为了验证采用环线航拍获取多视影像数据构建实景三维模型的精度, 文中从纹理细节信息、控制点误差以及整体模型复杂程度等方面进行验证。其中, 纹理细节信息能较好地表现模型完整性, 从而验证纹理相对几何关系和纹理缺失情况; 控制点误差能较好地反映构建三维模型的绝对精度, 采用式 (3) 计算控制点的点位误差; 依据三维模型复杂规范《三维地理信息模型数据产品规范》<sup>[15]</sup>, 通过三维模型的旋转和缩放对实景三维模型纹理、颜色、完整度进行定性评价的方法评估三维模型复杂程度。

$$\begin{cases} u_x = \sqrt{\frac{(\sum X_{RTK} - X_m)^2}{n}} \\ u_y = \sqrt{\frac{(\sum Y_{RTK} - Y_m)^2}{n}} \\ u_z = \sqrt{\frac{(\sum Z_{RTK} - Z_m)^2}{n}} \\ m = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2} \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $u_x$ 、 $u_y$  与  $u_z$  为模型上量测坐标与外业采集控制点坐标在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  方向的误差;  $n$  为控制点点数;  $(X_{RTK}, Y_{RTK}, Z_{RTK})$  与  $(x_m, y_m, z_m)$  分别为外业控制点坐标与三维模型量测坐标;  $m$  为控制点的中误差。

## 2 环拍实验

为了验证本文论述方法的可行性, 选择韶关市的某塔作为试验对象, 该塔曾为岭南名胜“曲江二十四景”之一, 在塔西南方向曾出土过大量的青砖、瓦片和砖制构件, 该文物具有建筑考古价值。此塔位于呈椭圆的小岛上, 东西最宽处约 36 m, 南北最长处约 68 m, 面积约 1 680 m<sup>2</sup>。

### 2.1 数据采集

针对塔式建筑物高、纹理丰富、拍摄影像局部变形较大的特征, 采用大疆公司开发的飞控软件 DJI

GS Pro 设计环线, 输入环线参数为: 设置最低航高为 15 m、最高航高为 70 m、相机水平视角 45°、垂直视角 25°、旁向重叠度 85%、航向重叠度 60%, 规划生成 23 条航线、最小外接球半径 70 m、影像拍摄分辨率 2 dpi, 共采集 1 027 张影像数据, 环线规划图如图 5 所示。



图 5 环线规划示意图

### 2.2 三维建模

由于拍摄影像数据存在几何变形, 依据拍摄时相机与塔式建筑物的距离关系, 首先, 将影像投影到固定距离面上, 以减少影像几何变形的影响; 其次, 对多视影像数据利用尺度不变特征变换 (SIFT) 算法计算影像初始匹配同名点, 通过对极几何约束、比例尺约束以及视差约束等多种约束策略剔除初始匹配同名点的误匹配点对获取定位精度较高的同名点对; 再次利用 ContextCapture Center Master 三维建模软件进行空三处理获取同名点的物方空间坐标以及精细化后的影像姿态数据。影像空三处理后, 塔式建筑物周围存在噪声与冗余的点云数据, 由于采用环绕航拍塔式建筑使得中心区域点云密集生成三维模型效果较好, 通过手动剔除周围噪声点云, 确定空三后的稀疏点云数据; 然后, 采用三维多视角立体视觉算法 (PMVS) 生成高密度的密集点云, 通过直线段检测算法 (LSD) 检测点云上的线特征并以特征边为约束构建 TIN, 确保塔式建筑物的边缘信息完整; 最后, 对生成的不规则三角网进行纹理自动映射生成最终塔式建筑物的实景三维模型, 整体三维模型如图 6(a) 所示。



图 6 实景三维模型

### 2.3 三维模型精度验证

#### 1) 模型精度分析

为了验证生成三维模型的精度, 利用实时动态 (RTK) 与全站仪采集外业控制点坐标, 并在生成的三维模型上量测对应点的空间坐标, 通过对比两套坐标的差异统计控制点的点位误差. 将外业采集的控制点左边以及量测的三维空间坐标统一转换到 WGS84\_UTM\_49N 带高斯投影面上, 控制点外业测量结果与三维模型量测结果如表 2 所示 (为了保密需要采用 \*\*表示前几位坐标), 其中,  $D_x$ 、 $D_y$ 、 $D_z$  为两个坐标的差值. 利用式 (3) 计算控制点的误差并统计  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  方向的中误差, 由表 2 可知每个控制点的均方根误差 (RMSE) 都在厘米级别, 其中,  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  方向的最大误差分别为 0.037 m、0.043 m、-0.045 m; 最小误差分别为 0.011 m、-0.014 m、0.029 m;  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个方向的中误差分别为 0.023 m、0.029 m、0.037 m, 没有出现明显的过大或过小误差整体满足 1:500 比例尺三维模型精度需要, 检查点具体误差分布如图 7 所示; 实验表明采用环线航拍模式获取多视影像数据, 通过影像匹配、空三处理、密集匹配、不规则三角网生成、纹理自动映射等步骤数据处理, 构建单体塔式建筑物三维模型精度较好.

表 2 控制点坐标误差统计

点号	类型	$X$	$Y$	$Z$	$D_x$	$D_y$	$D_z$	m
Check01	外业	**289.138	**121.579	**12.403	-0.015	0.043	0.039	
	模型	**289.153	**121.536	**12.364				
Check02	外业	**306.135	**126.867	**12.415	0.023	0.036	0.036	
	模型	**306.112	**126.831	**12.379				
Check03	外业	**312.629	**118.078	**11.941	0.011	-0.025	-0.045	
	模型	**312.618	**118.103	**11.986				
Check04	外业	**273.809	**125.609	**12.501	-0.022	-0.014	0.038	
	模型	**273.831	**125.623	**12.463				
Check05	外业	**263.506	**119.589	**11.797	-0.025	0.021	0.029	
	模型	**263.531	**119.568	**11.768				
Check06	外业	**254.992	**130.241	**21.015	0.019	-0.023	0.032	
	模型	**254.973	**130.264	**20.983				
Check07	外业	**256.336	**137.488	**46.936	0.037	0.032	-0.039	
	模型	**256.299	**137.456	**46.975				
$X_{RMSE}$		0.023	$Y_{RMSE}$	0.029		$Z_{RMSE}$	0.037	

#### 2) 模型细节

文中选取 3 个代表性的局部细节信息, 以评价生成模型的细节质量, 由图 6(b)~(d) 3 组细节模型可知: 塔式建筑物的局部人物构建细节清晰, 能清楚地

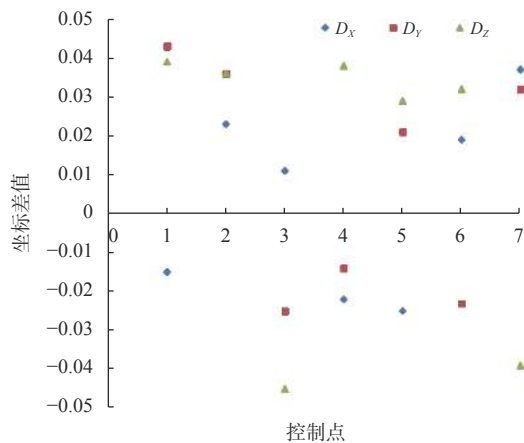


图7 检查点误差分布图

表达人物的微妙形象;在塔式建筑物的塔尖、围栏区域没有存在变形,线特征明显、细节信息完整;整体模型完整性较好、各模型细节表达清晰没有出现明显的纹理信息缺失区域;整体贴图色调均匀,没有出现明显的拉花或变形现象,能够较好的反应古塔的表面真实信息、空间位置信息以及属性信息.总体来说,整个实景三维模型能够完整准确真实地对古塔进行三维重建,模型细节表达完整.

### 3 结束语

针对塔式建筑物构建三维模型容易失败问题,采用环线航拍的方式获取塔式建筑物的多视影像数据,弥补由于建筑物周围地物遮挡以及自身结构特点导致的拍摄盲区,增加采集数据的有效性;通过利用成熟的三维建模软件能够构建定位精度较高、纹理清晰、细节完整的实景三维模型,有效地提升塔式古建筑物的保护工作.但文中缺少规划不同半圆球半径采集多视数据构建三维模型实验,将是下一步工作研究的重点.

#### 参考文献

- [1] 李德仁,李明. 无人机遥感系统的研究进展与应用前景[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(5): 505-513, 540.
- [2] 姚永祥,李佳,段平,等. 面向塔式建筑物的无人机环拍三维建模方法研究[J]. 地理与地理信息科学, 2019, 35(6): 38-43.
- [3] 单杰,李志鑫,张文元. 大规模三维城市建模进展[J]. 测绘

学报, 2019, 48(12): 1523-1541.

- [4] HEO J, JEONG S, PARK H-K, et al. Productive high-complexity 3D city modeling with point clouds collected from terrestrial LiDAR[J]. *Computers environment and urban systems*, 2013(41): 26-38. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2013.04.002
- [5] 张文春,范洪洋,刘永吉,等. 三维激光点云联合无人机影像的古建筑重建[J]. 测绘通报, 2019(11): 130-133, 144.
- [6] 张春森,张卫龙,郭丙轩,等. 倾斜影像的三维纹理快速重建[J]. 测绘学报, 2015, 44(7): 782-790.
- [7] 张春森,张奇源,郭丙轩,等. 倾斜影像自适应初始物方面元优化匹配算法[J]. 测绘学报, 2020, 49(1): 108-116.
- [8] 张小宁. 消费型倾斜无人机用于三维重建[J]. 北京测绘, 2020, 34(4): 477-480.
- [9] 刘春,曾劲涛,张书航,等. 面向单体异形建筑的无人机单相机实景三维建模[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2018, 46(4): 550-556, 564.
- [10] 周晓腾,周政,张书航,等. 面向单体建筑精细化建模的无人机三维航线规划[J]. 地矿测绘, 2017, 33(2): 24-27.
- [11] 赵红蕊,陆胜寒. 基于特征尺度分布与对极几何约束的高清影像快速密集匹配方法[J]. 测绘学报, 2018, 47(6): 790-798.
- [12] 雷江涛,刘清,潘婵玲,等. 矢量切割倾斜摄影三维模型的单体化技术研究[J/OL]. (2020-08-24)[2020-11-14]. 测绘科学. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4415.P.20200824.1006.002.html>
- [13] 谢梓威,范冲,张云生. 一种结合纹理择优算法的影像三维重建方法[J]. 测绘科学, 2017, 42(1): 101-106.
- [14] 吴斌,孙显,王宏琦,等. 一种三维建筑物模型自动纹理映射方法[J]. 遥感信息, 2017, 32(2): 66-70.
- [15] 国家测绘地理信息局. 三维地理信息模型数据产品规范: CH/T9015-2012[S/OL]. 北京: 中国测绘出版社, 2012. <https://max.book118.com/html/2018/1207/8103072055001136.shtml>

#### 作者简介

**王晓东** (1985—),男,硕士研究生,工程师,研究方向为测绘工程、地理信息系统技术、遥感技术等.

**岳军红** (1982—),男,硕士研究生,讲师,研究方向为RS与GIS应用.

**陈兴芳** (1988—),女,硕士,高级工程师,研究方向为测绘工程、地理信息技术等.



### 3D reconstruction method of single tower building based on tilt photography

WANG Xiaodong<sup>1</sup>, YUE Junhong<sup>2</sup>, CHEN Xingfang<sup>1</sup>

(1. *Xining Surveying and mapping Institute, Xining 810001, China;*

2. *Shaanxi Railway Institute, Weinan 714000, China*)

**Abstract:** Aiming at the failure of building three-dimensional model due to irregular shape of single tower building, a three-dimensional reconstruction method of tower single building based on inclined photography technology is proposed. First, the consumption type multi rotor unmanned aerial vehicle equipped with a single lens camera is selected to obtain the number of multi view images by loop shooting. Then, the multi view image data is processed by ContextCapture software to construct the real three-dimensional model of tower building. Finally, the accuracy of the generated three-dimensional model is evaluated by using the field control points and texture details. The experiment shows that; the loop line aerial photography used to obtains the multi view image data to construct the three-dimensional model has high accuracy, less missing texture information and high integrity.

**Keywords:** tilt photography technology; tower building; loop shooting; three-dimensional reconstruction

上接第 61 页

### Research on the difference of noise characteristics before and after earthquake based on GPS time series analysis

YANG Dengke

(*China Railway Design Corporation, Tianjin 300142 China*)

**Abstract:** According to the fact that there is no enough research of the noise characteristics in the study of earthquake prediction, this paper analyze the influence of large earthquake on the noise characteristics of time series. Focusing on the large earthquake and the corresponding station nearby, the GPS time series were separated to five periods, before the earthquake 4~3 years, 3~2 years, 1~0 years, after the earthquake 0~1 years and 1~2 years. The spectral index of each period. Noise analysis was implemented using different noise model combination. Analysis results shows that, the change of spectral index, velocity field, amplitude and phase before and after the earthquake is very big, and the noise characteristics of GPS time series are significant to seismic response; For part of the stations the spectral index, velocity field and anniversary amplitude before and after the earthquake is consistent compare with results of the 1~0 years before the earthquake. In earthquake incubation period, the proportion of flicker noise + white noise(FN+WN) increased. And the noise component FN in flicker noise + random walk noise+ white noise(FN+RWN+WN) increased among all the noise components. All the ratio decreased after the earthquake, which is in consistent of the earthquake energy release and restoration of the site more meat situation to normal status after the earthquake.

**Keywords:** GPS time series; earthquake prediction; time series span; noise characteristics; earthquake precursor