

# 基于无人机机载激光雷达的海岛建筑物高度测算技术

杭 芬<sup>1,2</sup>

(1. 信息工程大学, 郑州 450000; 2. 河南建筑职业技术学院, 郑州 450000)

**摘要:** 当前技术在测量海岛建筑物高度时, 得到的激光点云数据质量差, 测算结果不准确; 为了解决上述问题, 基于无人机激光雷达研究了一种新的海岛建筑物高度测算技术; 利用无人机自动控制技术对海岛建筑物进行多点多角度照片拍摄, 拍摄方案有两种, 分别是折线形飞行方案和环绕型飞行方案; 在海岛建筑物的不同位置和不同高度设置多个地面影像控制点, 通过航拍得到各个海岛区域的特征图像, 利用 Smart3D 建模软件完成建模, 将建立的三维模型从图像空间坐标系转换到大地空间坐标系, 从而得到海岛建筑物高度; 与传统测算技术进行实验对比, 结果表明, 基于无人机激光雷达的海岛建筑物高度测算技术测算精度高, 对于海岛管理有很好的促进作用。

**关键词:** 无人机; 机载激光雷达; 海岛建筑物; 高度测算

## Height Measurement Technology of Island Buildings Based on UAV Airborne Lidar

Hang Fen<sup>1,2</sup>

(1. Information Engineering University, Zhengzhou 450000, China;

2. Henan Technical College of Construction, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** When the current technology measures the height of an island building, the obtained laser point cloud data is of poor quality and the measurement result is not accurate. In order to solve the above problems, a new sea-island building height measurement technique is studied based on the UAV laser radar. UAV automatic control technology is used to make multi-point and multi-angle photo shooting of island buildings. There are two shooting schemes, namely, a linear flight scheme and a surround flight scheme; multiple locations at different locations and different heights of island buildings. The ground image control point obtains the feature images of each island area through aerial photography, and uses Smart3D modeling software to complete the modeling, and converts the established 3D model from the image space coordinate system to the geospatial coordinate system to obtain the height of the island building. Compared with the traditional measurement technology, the results show that the calculation accuracy of the island building height measurement technology based on the UAV laser radar is higher than the traditional technology, which has a good promotion effect on island management.

**Keywords:** UAV; airborne lidar; pirate building; height measurement

### 0 引言

我国对于海岛有着明确的监管方式, 但是由于海岛众多, 且远离大陆, 很难及时准确地掌握海岛信息, 因此对海岛进行监视监测是一项至关重要的任务。测算海岛建筑物高度数据是海岛监视的任务之一, 通过海岛建筑物高度数据, 可以构造出完整真实的三维海岛模型图<sup>[1]</sup>。近年来, 遥感技术飞速发展, 在各个领域都得到了广泛的应用, 目前使用的测算方式多是利用遥感技术设计的, 但是在测量海岛建筑物高度时, 依旧存在着一定的局限。目前的海岛建筑物高度测算遥感技术拥有的弊端主要是访问周期长、时效性差、分辨率低, 尤其是在多雾天气, 雷达难以拍摄到分辨率高的影像资料, 难以完成高度测算<sup>[2]</sup>。

无人机包括机体、动力系统、导航和控制系统等电子

设备, 具有很高的自动化程度, 花费成本低, 操作过程简单, 在航空拍摄、巡视侦查、灾害搜救等领域发挥着重要的作用<sup>[3]</sup>。无人机机载激光雷达可以利用遥感技术测算海岛建筑物的高度, 获取海岛的动态, 为查询海岛信息、制定决策提供有效的资料来源, 通过无人机机载激光雷达进行海岛建筑物高度测算, 不仅可以实现安全运行的自动化, 同时可以确保调度决策的自动化<sup>[4]</sup>。

当前国内已经有部分研究所针对海岛建筑物高度测算进行研究, 但是却鲜少有利用无人机实际开展测算的报导<sup>[5]</sup>。本文基于无人机机载激光雷达研究了一种新的海岛建筑物高度测算技术, 利用无人机拍摄遥感影像, 分析遥感影像建筑物的图像, 建立三维模型, 将建立的三维模型从图像空间坐标系转换到大地空间坐标系中, 根据与岛上建筑物实际高度的对比结果, 判断测算的精确度。通过实验验证该测算技术的有效性, 本研究对于更好地实现海岛管理和海岛开发工作有重要意义, 设计的测算技术可以为各项工作提供理论支撑。

收稿日期: 2019-08-23; 修回日期: 2019-09-23。

作者简介: 杭 芬(1986-), 女, 河南郑州人, 硕士, 讲师, 主要从事无人机影像处理三维建模等方向的研究。

## 1 海岛建筑物高度测算关键技术

本文研究的基于无人机机载激光雷达的海岛建筑物高度测算技术主要使用了两种关键技术，分别是无人机自动控制技术和三维重建技术。

在海岛建筑物高度测算中，无人机自动控制技术占据着核心地位，在无人机内部搭载云台和摄像头，无人机通过云台和摄像头在高空获取不同位置的地面影像图。在自动获取地面影像图时，无人机很可能受到人为干扰，产生误差，无人机自动控制技术可以很好地解决这一问题，降低拍摄难度<sup>[6]</sup>。通过遥控器将地面站规划的飞行任务传给无人机，无人机根据固定地轨迹飞行，拍摄照片，通过控制飞行速度来把握拍照速度，使无人机可以自动获取海岛建筑物影像，实现测量<sup>[7]</sup>。

三维重建技术是计算机视觉的延伸技术，主要负责处理航空摄影测量得到的照片数据，利用立体摄影测量原理在多张具有重叠度的照片中找出相同特征点，并对这些特征点实施追踪，进而分析出测量目标的三维空间坐标，根据确定的三维空间坐标合成三维模型。在海岛建筑物中设立控制点，根据相似变换的方法将图像空间坐标系的三维模型提取出来，放置到大地空间坐标系中。无人机具有很强的记录能力，在进行摄影测量时，拍摄每张照片的相机位置和云台姿态都能很好地被记录下来，这些信息可以有效提高数据处理精度，使得到的三维重建模型更加精准，从而提高解析速度和测量质量。

## 2 基于无人机机载激光雷达的海岛建筑物高度测算

在利用无人机机载激光雷达进行海岛建筑物高度测算时，通常无人机航拍任务需要飞行 5 架次。首先设计测量方案，然后准备测绘需要的材料，接着进行无人机外业飞行，通过无人机获取多点多角度照片，对拍摄的照片进行筛选，根据筛选的结果构建三维模型，在完成三维模型修正之后，输出测算数据，实现测算工作。从无人机飞行拍摄到三维模型修正的过程中，地面都需要布设控制点<sup>[8]</sup>。

本文选用的无人机为拓普康猎鹰 8 号八旋翼无人机，该无人机结构如图 1 所示。



图 1 拓普康猎鹰 8 号八旋翼无人机结构

观察图 1 可知，拓普康猎鹰 8 号八旋翼无人机呈“V”字型，具有监控、测绘等多方面功能，无人机内部加入了顶级传感器、自主减震装置、IMU 惯导系统，使用的拍摄

相机是由索尼公司生产的  $\alpha 7R$  高分辨率数码相机，该相机可以实现  $360^\circ$  全方位、无死角拍摄，从多个维度和多个视角获得海岛建筑物照片。拓普康猎鹰 8 号八旋翼无人机自身重量仅为 940 g，轻便灵活，可以载荷的任务重量为 1 200 g，最高可以飞行高度为 1 000 m，在环境风力  $\leq 6$  级的情况下，该无人机的飞行时间可以达到 20 分钟。

### 2.1 海岛建筑物多点多角度照片拍摄

由于海岛建筑物地形复杂，所以无人机每次飞行的轨迹也不同，为了更好地适应海岛环境，设置了两种不同的飞行拍摄方案，分别是折线形飞行方案和环绕型飞行方案，如图 2 所示。

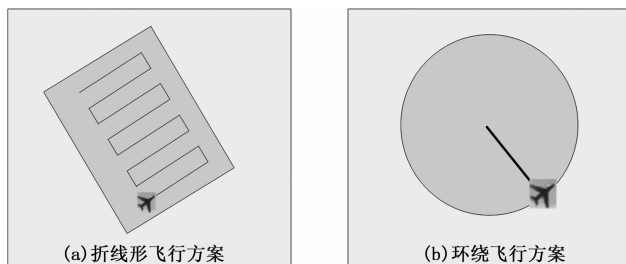


图 2 无人机测算飞行方案

如图 2 所示，折线形飞行方案的无人机飞行轨迹为折线，在整个测算过程中，无人机的机头朝向始终保持在一个方向上，航向的重叠率为 65%，旁向的重叠率为 50%，每隔 2s 无人机完成 1 次拍摄。通过 5 次航行执行拍摄任务，每次航行相机的角度都不同，第一次航行相机的镜头角度为竖直向下角度；第二次航行相机的镜头角度为向前倾斜  $45^\circ$ ；第三次航行相机的镜头角度为向后倾斜  $45^\circ$ ；第四次航行相机的镜头角度为向左倾斜  $45^\circ$ ；第五次航行相机的镜头角度为向右倾斜  $45^\circ$ 。

环绕型飞行拍摄方案无人机的飞行轨迹为弧形，在飞行拍摄过程中，飞机的机头始终对着岛屿的正中心，轨迹旁向重叠率高于折线形飞行方案的旁向重叠率，可以达到 60%，拍摄的时间间隔为 2 s。5 次飞行过程，无人机内部的相机镜头始终面向与竖直方向和水平方向呈现  $45^\circ$  的岛屿中心，不同拍照间隔得到的图像集为岛屿环绕图像集。环绕型飞行的摄影原理为倾斜摄影原理，倾斜摄影可以从多个视点和多个视角获得影像，使侧面信息更加详尽<sup>[9]</sup>。

无论是使用折线形飞行方案，还是环绕型飞行方案，无人机都会记录下飞行高度、飞行速度、航向重叠、旁向重叠、坐标等重要参数，利用这些参数建立三维模型，从而实现测算。

### 2.2 基于无人机机载激光雷达的海岛建筑物三维建筑模型

由于海岛建筑物环境复杂，所以需要不同位置和不同高度设置多个地面影像控制点，本文的测量技术选择了 5 个位置，并对每个位置的 GPS 坐标和相对高度进行记录。地面影像点布置的方位如图 3 所示。

布设的像控点必须与平高区域的网航线保持一致，当平面点和高程点不在一个位置时，要联测成平高点，设置

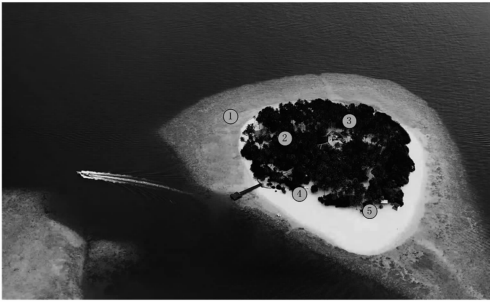


图 3 地面影像点布置方位



图 5 海岛建筑物三维模型

的布控标志必须要清晰明了,使无人机在高空可以直接观测到,黑白反差度小的区域也不可以作为布控点。

无人机外业成员通过航拍得到各个海岛区域的特征图像。通过采集的照片特征数据建立三维建筑模型,所得到的照片必须要具备极高的分辨率、重叠度和清晰度,并且得是在光照条件好的情况下拍摄的。针对海岛建筑物建立三维模型,建筑物的每一个部位都要有都要有 3 个以上的视点,得到的影像资料重叠度要大于 80%,旁向重叠要大于 50%,如果局部位拍摄不全,还要进行补拍。下图为海岛建筑物中的某一建筑物,针对这一建筑物进行影像拍摄,拍摄过程如图 4 所示。

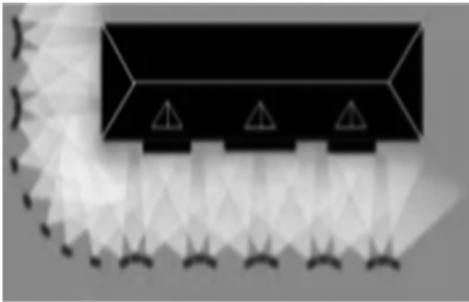


图 4 筑物拍摄过程

在得到目标建筑物的影像信息后,利用 Smart3D 建模软件进行建模,该软件是一款全自动软件,可以实现高清建模,内部的人机交互界面十分方便友好,除此之外,Smart3D 建模软件具有强大的数据兼容性和数据运算能力,对于硬件的配置要求较低,操作简单,建立的三维场景模型生动逼真,分辨率高,与真实信息十分接近。Smart3D 建模软件可以将无人机硬件中的各种原始数据采集到数据库中,利用这些原始数据进行还原,打造最为真实接近的海岛建筑物模型。软件处理后得到 osbg 格式的模型,对周边建筑物进行矢量信息化处理,从而加快测量速度,提高测量精度。

在利用 Smart3D 建模软件完成建模后,通过设定地面影像控制点对后期制作的三维模型进行修正,去除模型中的杂质边缘、孔洞和不连续点,使建立的三维模型更加生动逼真。得到的海岛建筑物三维模型如下图 5 所示:

分析照片中特征点的经纬度,根据分析结果建立将建立的三维模型从图像空间坐标系转换到大地空间坐标系中,

通过图 3 中的影像控制点对模型实现进一步修正。对于特征较弱的建筑区域可以直接过滤,利用图 6 地面测量控制点靶标图像修正海岛建筑物的三维模型。当三维模型的分辨率可以达到 0.25 m 时,测算出来的海岛建筑物高度与精度要求相同。

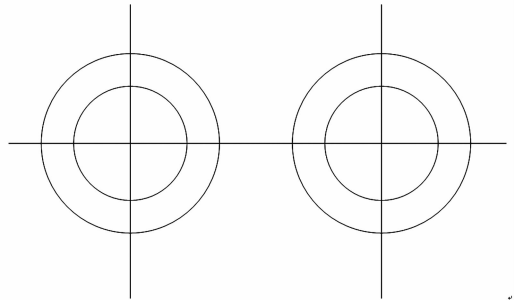


图 6 地面测量控制点靶标图像

### 3 实验研究

#### 3.1 实验目的

为检测基于无人机机载激光雷达研究的海岛建筑物高度测算技术的测算精度,与传统海岛建筑物测算技术进行实验对比。

#### 3.2 实验参数设计

选用的机载激光雷达型号为 GL—70,参数如表 1 所示。

表 1 实验参数

项目	参数
激光测量的最大距离	1000m
脉冲频率	600kHz
激光分散角度	0.6mrad
激光等级	一级
最大扫描视角	320°
雷达重量	15kg
拍摄影像分辨率	4200 万像素
处理的位置精度	3cm
雷达翻滚角精度	0.03°
雷达激光扫描精度	2.12cm
航向角精度	0.05°

#### 3.3 实验结果与分析

根据上述实验参数进行实验,同时选用传统的测算技

术以及加入本文研究的基于无人机机载激光雷达的测算技术对 10 个海岛建筑物高度进行测算，比较得到的数据质量，分析测算精度，得到的实验结果如下：

#### 1) 激光点云数据质量测试。

无人机机载激光雷达的激光点云数据质量对于后期测算建筑物高度有着重要的影响，通常完整性强、匹配能力高的激光点云数据建模更加容易，得到的测算结果精确度也更高。对比传统测算技术和本文研究的测算技术的激光点云数据最大密度和平均密度，得到结果如表 2 所示。

表 2 激光点云数据质量测试结果

建筑群 编号	传统测算技术		本文测算技术	
	最大密度 (点/m <sup>2</sup> )	平均密度 (点/m <sup>2</sup> )	最大密度 (点/m <sup>2</sup> )	平均密度 (点/m <sup>2</sup> )
1	18	8~10	20	11~13
2	17	7~9	19	11~12
3	19	10~11	22	12~14
4	18	8~11	19	11~13
5	17	9~12	21	10~12
6	16	7~10	19	10~11
7	15	6~8	20	12~13
8	18	8~11	22	13~14
9	17	8~10	20	12~13
10	19	7~9	22	13~14

分析上表可知，基于无人机机载激光雷达的海岛建筑物高度测算技术的激光点云数据最大密度和平均密度高于传统测算技术得到的激光点云数据最大密度和平均密度。传统测算技术通常仅是针对某一种特定的区域研发，适应性差，在解决复杂的海岛建筑物高度信息数据提取这一问题时，能力不强，尤其是面对复杂区域，这一局限更加明显，利用无人机激光雷达研究的测算技术可以通过滤波技术将非建筑物中的地表信息数据从原始的点云数据中清除，从而确保了数据的连续性，剔除掉异常数据后，激光点云信息将与真实信息更加接近。

#### 2) 测算精度测试。

由图 7 可知，本文研究的测算技术测得的建筑物高度与海岛建筑物的实际高度相似度高，在测算建筑物 2、建筑物 8 和建筑物 10 时，都能得到与真实值完全相符的测算结果，而传统的测算技术测算能力远远低于本文研究的基于无人机激光雷达的海岛建筑物高度测算方法，误差极大。

### 3.4 实验结论

海岛是一个特殊的地理结构，四面环水，地处偏僻，土地面积较小，因此测量海岛上的建筑物高度变得更加困难。目前使用的海岛建筑物高度技术多是利用单景卫星遥感影像进行测算的，测算误差大，且激光点云数据最大密度和平均密度过小，很难保证测量精度。

无人机机载激光雷达作为一种新型遥感技术具有方便灵活的特点，可以利用拍摄地遥感影像分析建筑物的各项信息，根据分析结果在图像空间坐标系中进行建模，在地

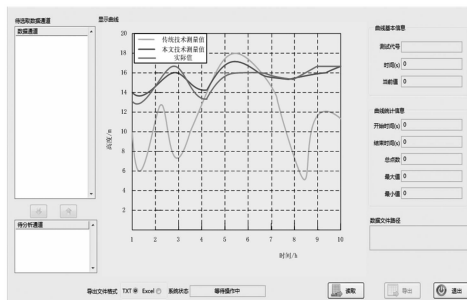


图 7 控制时间测试结果

面上布控地面影响点，将建立的三维模型从图像空间坐标系转换到大地空间坐标系中，从而得到更加精准的测算结果。本文研究的海岛建筑物测算技术不仅消耗成本低，而且测量速度快，测量精度高，能够结合多种测算方法，完成三维可视化综合性测算。

## 4 结束语

无人机机载激光雷达是一种实用性很强的遥感技术，可以帮助无人机拍摄高分辨率、高质量图像。本文基于无人机机载激光雷达研究了一种针对海岛建筑物高度的测算技术，对无人机获取的多视影像图进行叠加，从而解决图像失真问题，利用 Smart3D 建模软件完成建模，将建立的三维模型从图像空间坐标系转换到大地空间坐标系，从而得到海岛建筑物高度。本文研究的高度测算技术可以在低成本的条件获取高精度的测算结果，在保护海岛建筑物、评估海岛灾害、海岛应急指挥、监测海岛环境等方面都有着重要的意义。

### 参考文献：

- [1] 唐学哲, 刘昌军, 胡小青, 等. 基于无人机载激光雷达数据的建筑物自动提取算法 [J]. 中国防汛抗旱, 2018, 21 (5): 67-71.
- [2] 潘才官, 陆远, 赵志冲. 无人机激光雷达系统数据采集与滤波处理分析 [J]. 港口科技, 2017, 22 (8): 37-41.
- [3] 舒斯红. 不同载具下激光雷达在地形测量中的应用 [J]. 低碳世界, 2018, 11 (4): 44-45.
- [4] 孙苗, 张宏晔, 张峰. 基于高分遥感影像的海岛建筑物高度测算研究 [J]. 海洋通报, 2018, 37 (4): 110-116.
- [5] 冉琼, 迟耀斌, 王智勇, 等. 基于“北京一号”小卫星影像阴影的建筑物高度测算研究 [J]. 遥感信息, 2018, 11 (4): 18-21.
- [6] 白健, 徐常青. 基于卫星影像建筑物阴影计算建筑物高度的可行性分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2017, 38 (9): 140+143.
- [7] 陈茂荣, 曹向林, 韩啸. 新建建筑物控制高度的计算 [J]. 中国化工贸易, 2017, 03 (11): 130-130.
- [8] 禄丰年. 航测像控建筑物高度的精确测算及精度分析 [J]. 测绘通报, 2018, 17 (12): 22-23.
- [9] 刘怀鹏, 安慧君. 基于同名点 RMS 的城市建筑物高度反演研究 [J]. 科学技术与工程, 2017, 13 (13): 3744-3748.