

# 基于无人机航摄的真正射影像图制作方法与实践

陈涛, 王烽, 万阿芳, 潘晓燕妮

湖南省第一测绘院, 湖南 长沙

收稿日期: 2024年3月23日; 录用日期: 2024年4月23日; 发布日期: 2024年4月29日

## 摘要

随着无人机航空摄影的不断发展和成熟, 利用无人机航摄制作高分辨率数字正射影像图在空间信息领域中的应用非常广泛。传统正射影像由于存在投影差导致建筑物倾斜、遮挡严重等问题, 而数字真正射影像图能很好地解决这些问题。本文叙述了采用传统正射摄影和基于倾斜摄影三维模型制作真正射影像图的两种方法和实践, 总结无人机航摄影像制作真正射影像的作业流程和关键技术。

## 关键词

DOM、TDOM、DSM、数字微分纠正、倾斜摄影、密集匹配、三维重建

## Method and Practice of Making True Orthoimage Production Based on UAV Aerial Photography

Tao Chen, Feng Wang, Afang Wan, Xiaoyanni Pan

The First Surveying and Mapping Institute of Hunan Province, Changsha Hunan

Received: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2024; accepted: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2024; published: Apr. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

With the development and maturity of UAV aerial photography, the use of UAV aerial photography to produce high-resolution digital orthophoto is widely used in the field of spatial information. The traditional orthophoto has some problems, such as building incline and block seriously, due to the poor projection, but true orthoimage production can solve these problems well. This

paper describes two methods and practices of making true orthoimage production by using traditional orthographic photography and oblique photography 3D model, and summarizes the operation flow and key techniques of making true orthoimage production by UAV aerial photography.

## Keywords

DOM, TDOM, DSM, Digital Differential Correction, Oblique Photography, Intensive Matching, 3D Reconstruction

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

利用立体视觉原理对无人机航空摄影数据匹配同一地面点在不同影像上的位置, 计算出该点的高程信息, 从而构建出一个连续的三维地表模型, 即 DSM。基于 DSM 对航摄相片数字微分纠正后获得 TDOM。真正射影像图不仅地表面是正射影像, 而且房屋等所有地物也是正射影像[1]。随着测绘科技进步, 真正射影像图制作的方法也出现多种, 传统正射航摄方法基于 DSM 进行数字微分纠正、遮挡处理后生成 TDOM; 倾斜摄影三维模型法基于实景三维模型垂直数据采样生成 TDOM; 还有近年来随着三维激光点云技术进步, 可以基于 lidar 直接生成 TDOM 等等。下面就两种目前主要的方法分析主要的流程和关键技术, 通过实验案例, 进行实践并总结真正射影像制作的流程和需要注意的问题, 对比研究两种方法生产成果的影像质量和数学精度。

## 2. 传统正射航摄方法生产 TDOM

传统真正射影像的制作方法总结起来关键内容大致分为以下几个方面:

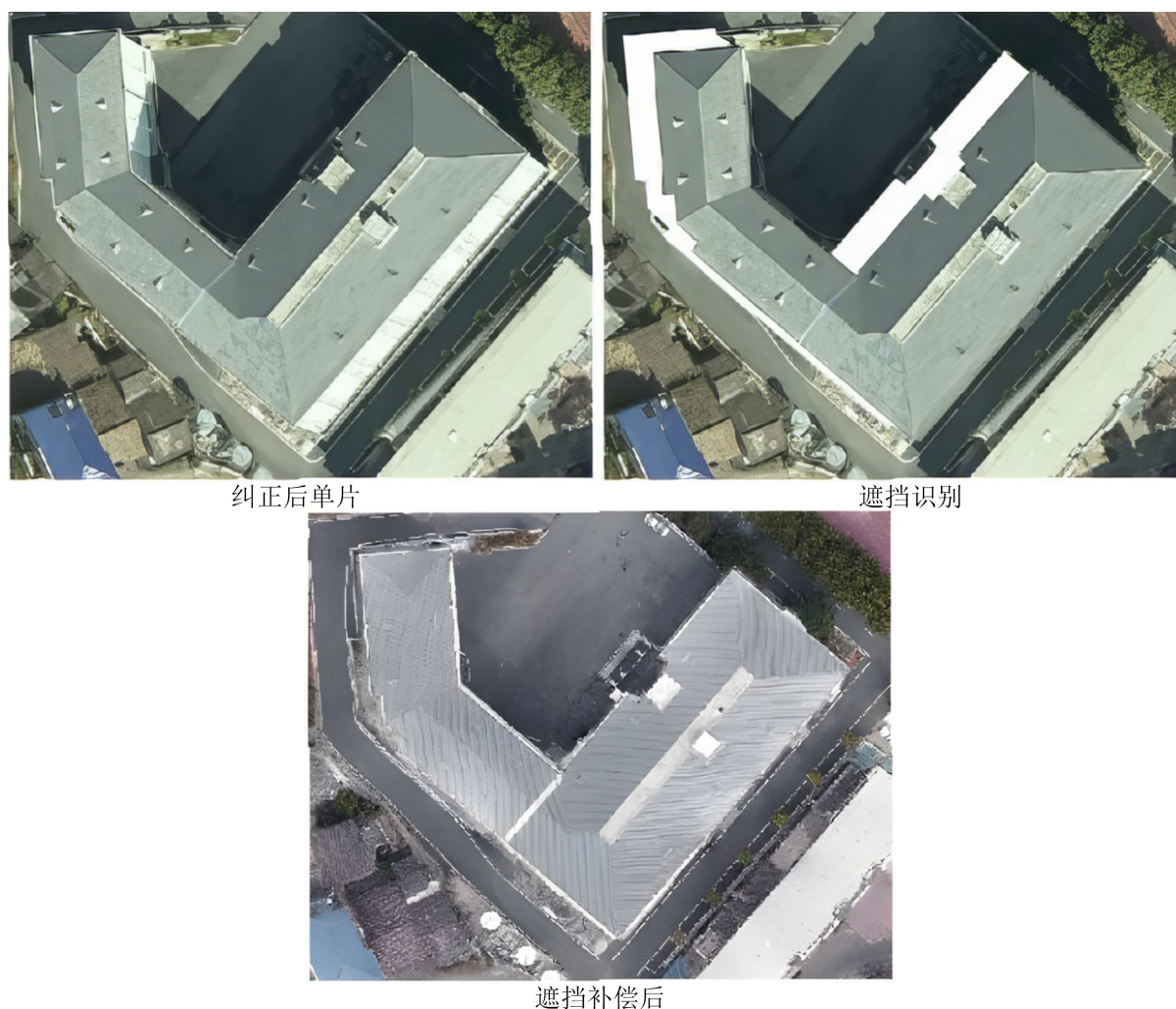
1) 航空摄影。采用摄像平台从垂直角度采集航摄相片, 在满足地面分辨率的要求和相机最小记录间隔时间等前提下, 航线和航向重叠度要尽量大。

2) DSM 获取。不同于 DEM 的获取, DSM 无法通过曲面拟合和内插得到。目前较好的方法主要有两种: 从激光扫描点云(LIDAR)获取 DSM 和全数字多视影像密集匹配获取 DSM。

3) 几何纠正。数字微分纠正法目前发展为利用多核或 GPU 等新技术实现快速的并行化处理, 将原始影像与 DSM 数据进行融合处理。经过微分纠正去除因地势起伏以及地表建筑物高度差等所造成的投影错位, 输出纠正后的正射相片[2]。

4) 遮蔽标识和补偿。因为航摄相机在空中进行摄影形成的是中心投影的相片, 在成像过程中势必存在因高大地物或者建筑物对投影射线上的其他地表形成遮挡。在成果中需要先对这些遮挡区域进行标识, 然后将与该区域相连的其他正射相片上的图像对遮挡区域进行填补[1], 这就要求航摄相片的重叠度要足够大, 以致影像遮蔽能在其他相片上可见[2], 过程如图 1。

随着计算机科技进步和测绘软件优化, 目前主流的真正射影像图制作软件如像素工厂 Pixel Factory、Pix4Dmapper, 瞰景 Smart3D 等等, 均已基本实现自动化、集群化、并行处理等, 大大减少了人工参与的工作量, 使数字表面模型(DSM)和真正射影像(TDOM)这两个产品得以大批量、高精度的生产。



**Figure 1.** Shade identification and compensation  
**图 1.** 遮蔽识别和补偿

### 3. 基于实景三维模型生产 TDOM

1) 倾斜三维摄影及数据预处理。倾斜摄影测量技术通常与无人机结合使用, 通过从五个不同角度(一个垂直和四个倾斜)对地面进行拍摄。预先采用设计软件生成一个飞行计划文件, 该文件包含飞机的航线坐标和每个相机的曝光点坐标[3]。无人机自主飞行并按计划自动曝光拍摄, 从而快速获取所需影像。

2) 多视影像密集匹配和空三解算。多视图像的密集匹配是对倾斜摄影获取的不同角度影像图片通过一定的规则进行匹配同名点, 可以是影像的灰度值、特征或者位置关联等方式。航摄影像加入 POS 位置信息后, 通过相片之间建立的准确拓扑关系, 依据在地面控制点或者以高精度差分 POS, 再以共线方程为依据, 实现了光束的区域网平差, 最终获取每一张相片精确的外方位元素和具有高精度三维坐标的稠密点云数据[4] [5]。

3) 三维重建与纹理映射。使用密集匹配所获得的高密度节点云数据构成不规则三角网, 从而建立白膜的模型, 同时还通过影像自动提取了地物的纹理信息。因为每个影像都具有准确的定位坐标, 所以在进行了纹理信息色彩均衡处理之后, 就能够很迅速的把影像纹理贴合到相应部位的三维建模表面上(图 2), 最后输出纹理清晰的实景三维模型[6]。



**Figure 2.** Irregular triangular meshes and 3D texture mapping  
**图 2.** 不规则三角网和三维纹理映射

4) 真正射影像制作。将获取的三维模型按照合适的格网单元垂直投影采样输出正射影像图。依据正射影像图成果所需的分辨率设置二维采样矩阵，在三维环境中对倾斜摄影密集匹配点逐格网匹配相应的像素值，当格网中有多个值时取高程最大的像素值，最终将二维矩阵输出为图像。

#### 4. 实验案例

##### 案例 1 醴陵市城区正射影像图制作

本案例选择醴陵市城区约 0.8 平方公里范围作为实验区域，采用无人机搭载单镜头相机实施常规航空摄影制作真正射影像。该试验区域处于湖南省东部丘陵和山地结合区域，地形起伏较大，建筑物比较密集，平地较少。2023 年 10 月份采集实验区域航摄影像。

##### 1) 航摄设计及数据预处理

实验采用南方测绘的智航 S700A 四旋翼无人机，搭载南方测绘 S42 单镜头航摄相机采集航摄影像；地面分辨率 2 CM，根据测区已有 2 米格网高精度 DEM 计算平均高程，航线重叠度 80%，航向重叠度 70%，共计飞行航线 24 条，获取 794 张照片，数据量 35.8 GB。无人机内置高精度差分 GNSS 板卡，高精度 IMU 等传感器，提供 PPK、RTK、高精度 POS 等多种高精度传感器的解算、辅助空三、免像控成图功能。

##### 2) 真正射影像图生产

软件：采用 Pix4Dmapper 软件

硬件：计算机 1 台，配置参数：CPU-i9，内存 32 G，显卡 NVIDIA GeForce3070

处理时间：4 小时

### 3) 成果质量

优点：采用单台高性能计算机可以高效完成制作流程；基于原始单片微分纠正后，镶嵌、采样成图，整体色彩鲜明，纹理细致，树叶等细节清晰可见(图 3)。



**Figure 3.** Color and texture quality of achievement image (I)

**图 3.** 成果影像图色彩和纹理质量(I)

不足：地物高度大如高层建筑处，山顶楼房等，因相片重叠度不够，使得成果影像出现拉花，需要牺牲地面分辨率提高航线高度，增加重叠度补飞；基于垂直摄影影像密集匹配生产的 DSM 精度和密度不够，导致屋顶等地物边缘轮廓不够清晰，需要后期 Photoshop 软件修饰(图 4)。



**Figure 4.** Presentation of building edge contours (I)

**图 4.** 建筑物边缘轮廓表现(I)

数学精度：在测区范围内均匀实测 15 个检查点，采用 RTK 实地测量检查点坐标与成果图上量取坐标进行比较计算中误差，来评价真正射影像图精度。根据检查结果该成果平面位置中误差为 0.12 m，其精度符合规范 CHT 9008.3-2010《基础地理信息数字成果 1:500、1:1000、1:2000 数字正射影像图》中规定，平地平面位置中误差小于 0.6 m 的精度要求。

#### 案例 2 临湘市实景三维建模及真正射影像图制作

本案例选择临湘市洋溪村约 1 平方公里单位作为试验区域，采用无人机搭载五镜头相机实施倾斜航空摄影，制作出实景三维模型后，通过三维模型垂直投影输出真正射影像图。试验区域位于湖南省丘陵地带，平均海拔 35 米，2022 年 11 月份采集该区域航摄影像。

##### 1) 航摄设计及数据预处理

实验采用南方测绘的智航 S700A 四旋翼无人机，搭载南方测绘 T53P 五镜头航摄相机采集航摄影像；地面分辨率 2 CM，航线重叠度 80%，航向重叠度 70%，共计飞行航线 25 条，获取 17,750 张照片，数据量约 17 GB。

##### 2) 三维建模

软件：采用瞰景 Smart3D 软件

硬件：计算机 8 台，配置参数：CPU-i9，内存 64 G，显卡 NVIDIA GeForce2080

处理时间：三维模型制作及修饰共计 15 小时

##### 3) 真正射影像输出

在瞰景 Smart3D 软件中，采用模型发布功能，由三维模型提取 TDOM。

##### 4) 成果质量

不足：因为基于三维模型重采样，影像色彩经过两轮提取后产生的颜色失真，采取二维矩阵进行垂直投影重，导致特征地物如屋顶的色彩表达呈颗粒状；另外树木等植被的三维模型在树冠周围形成模糊，造成细节纹理丢失(图 5)。

优点：采用多角度摄影照片进行密集匹配，形成的点云精度密度更高，表现为建筑物密集区域，对于地物边缘轮廓表现清晰，界限分明(图 6)。



Figure 5. Color and texture quality of achievement image (II)

图 5. 成果影像图色彩和纹理质量(II)



Figure 6. Presentation of building edge contours (II)  
图 6. 建筑物边缘轮廓表现(II)

### 5) 精度统计

在测区范围选择施测 15 个检查点，采取 RTK + HNCORS 获取的实地平面坐标与成果图件上量取的坐标进行比较，计算中误差来评定成果精度(见图 7)。

检查点	X	ΔX	Y	ΔY	检查点	X	ΔX	Y	ΔY
JC-1	**61217.942	0.128	**09761.861	0.028	JC-9	**61920.500	-0.022	**10292.895	0.007
	**61218.070		**09761.889			**61920.478		**10292.902	
JC-2	**61400.680	0.11	**09891.693	0.076	JC-10	**61642.600	0.041	**10296.269	-0.01
	**61400.790		**09891.770			**61642.641		**10296.259	
JC-3	**61083.548	0.051	**09927.981	0.066	JC-11	**61227.395	-0.002	**10318.583	-0.04
	**61083.599		**09928.047			**61227.393		**10318.543	
JC-4	**61296.490	0.066	**10021.783	0.055	JC-12	**62040.908	0.044	**10386.903	0.016
	**61296.556		**10021.837			**62040.952		**10386.920	
JC-5	**61405.158	0.017	**10045.499	0.085	JC-13	**62200.572	-0.088	**10484.504	-0.024
	**61405.175		**10045.584			**62200.484		**10484.481	
JC-6	**61627.760	0.166	**10109.907	0.077	JC-14	**61663.955	-0.018	**10509.334	-0.087
	**61627.926		**10109.983			**61663.937		**10509.247	
JC-7	**61003.075	-0.029	**10178.332	0.011	JC-15	**62125.044	-0.038	**10524.704	-0.08
	**61003.046		**10178.343			**62125.006		**10524.623	
JC-8	**61233.725	-0.008	**10218.635	0.005	中误差		0.028		0.012
	**61233.717		**10218.640						

Figure 7. Accuracy of TDOM results by oblique photography 3D model method  
图 7. 倾斜摄影三维模型法制作 TDOM 成果精度

真正射影像图 X 方向中误差为 0.028 m，Y 方向中误差 0.012 m，其精度符合规范精度要求。

## 5. 总结

本文分析了采用常规正射摄影方法和倾斜摄影三维模型法制作真正射影像图的关键原理，通过实验案例进行实践。通过对两个案例的成果质量对比和研究得出：传统正射航摄方法制作真正射影像图软硬件投入少、效率高，植被等细碎地物纹理清晰，但是对于密集的高建筑的边缘轮廓表现一般；采用倾斜三维建模方法，投入的资源和时间相对更多，尽管成果影像对植被等纹理表现差，但对于城区密集建筑

密集且高度较高的区域，地物边界轮廓如屋顶边缘等表现更好。通过对两个案例的数学精度对比研究得出：基于三维模型生产的成果精度更高，采用两种方法都生产 TDOM 达到都能达到 1:500 比例尺正射影像图精度要求。实际生产过程中可根据资源配备、使用需求、地形地物复杂度等等因素选择采用何种方法，以实现最好的效率和应用效果。

## 基金项目

本文系 2023 年度湖南省自然资源科技计划项目“基于低空无人机航空摄影制作数字真正射影像图 (TDOM) 关键技术研究” (项目编号: 20230170CH) 的研究成果之一。

## 参考文献

- [1] 于杰. 面向对象的真正射影像处理方法[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2013.
- [2] 陈济才, 杨武年, 杨鑫. 基于 DEM 和 DBM 的真正射影像制作关键问题研究[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(2): 168-172.
- [3] 何淼. 无人机低空倾斜摄影测量在地籍测量中的应用[J]. 城市勘测, 2019(3): 96-99.
- [4] 齐润冰. 物方三角网约束的多视影像密集匹配[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2014.
- [5] 刘本宁, 黄兵, 张陈锋. 倾斜摄影测量技术在三维建模中的应用[J]. 城市勘测, 2018(1): 37-40.
- [6] 刘增良. 基于倾斜摄影的大规模城市实景三维建模技术研究与实践[J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(2): 187-189, 193.