

# 城市级实景三维模型构建及精度分析

杨 婷

江苏省测绘工程院, 江苏 南京

收稿日期: 2022年8月20日; 录用日期: 2022年9月20日; 发布日期: 2022年9月29日

## 摘 要

本研究采用无人机倾斜摄影测量技术, 以镇江市中心建成区和南山风景区为试验区, 结合Context Capture软件, 对无人机获取的多架次影像数据进行分析和处理, 构建了城市级实景三维模型, 并对模型场景做了多粒度融合及匀光匀色处理研究, 基于外业实测的特征点位, 内业在模型成果中量取对应同名点的平面和高程值, 分别计算统计检测点的平面精度和高程精度。经计算统计, 模型的平面位置中误差为:  $\pm 0.090$ 米; 高程中误差:  $\pm 0.108$ 米, 符合精度要求。结果表明, 无人机倾斜摄影测量技术在城市级实景三维模型建设中具有可行性, 精度可靠, 能够为政府制定城市整体发展战略、城市安全运行管理等全局性宏观决策提供全空间地理信息服务。

## 关键词

无人机, 倾斜摄影, 三维模型, 精度评价

# Construction and Accuracy Analysis of Real-Time 3D Model of City-Level

Ting Yang

Jiangsu Province Surveying and Mapping Bureau, Nanjing Jiangsu

Received: Aug. 20<sup>th</sup>, 2022; accepted: Sep. 20<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 29<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

In this study, the UAV oblique photogrammetry technology is used, and the built-up area of Zhenjiang City Center and Nanshan Scenic Area are used as experimental areas, combined with Context Capture software, to analyze and process the image data of multiple flights obtained by UAV, and construct a the city-level real scene 3D model is based on the characteristic points measured by the field. In addition, the multi-granularity fusion and uniform light and color processing research were carried out on the model scene and the internal industry measures the plane and elevation

values corresponding to the points with the same name in the model results, and calculates the plane accuracy and elevation accuracy of the statistical detection points respectively. After calculation and statistics, the error in the plane position of the model is  $\pm 0.090$  meters, the error in the elevation is  $\pm 0.108$  meters, which meets the accuracy requirements. The results show that the UAV oblique photogrammetry technology is feasible and accurate in the construction of city-level real 3D models, and can provide full-spatial geographic information services for the government to formulate overall urban development strategies, urban safety operation management and other overall macro decisions.

## Keywords

UAV, Oblique Photography, 3D Model, Accuracy Evaluation

Copyright © 2022 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

随着大数据、大智慧、云计算技术推动,人们利用计算机识别事物空间地理位置的需求从三维模拟地图上升到了实景三维模型,实景三维是对人类生产、生活和生态空间进行真实、立体、时序化反映和表达的数字虚拟空间[1] [2] [3] [4]。它综合利用遥感测绘、大数据、云计算、智能感知等新技术,对地形地貌、地表覆盖、建构筑物、城市部件等物理世界进行数字重建,具有直观、精度高、可量测、信息丰富、沉浸感强等特点,是新型基础测绘标准化产品,是国家新基建的重要组成部分,为经济社会发展和各部门信息化提供统一的空间基底[5] [6] [7] [8] [9]。实景三维通过在三维地理场景上承载结构化、语义化、支持人机兼容理解和物联实时感知的基础地理实体,在自然资源管理、国土空间规划、城市治理、生态环保、应急救援等诸多领域有广阔的应用前景,是新型智慧城市建设和“新基建”推进实施的重要新型空间数据基础设施[10] [11] [12]。

## 2. 研究区域概况与数据源

本项目示范区位于北纬  $32^{\circ}07'07''\sim 32^{\circ}14'22''$ , 东经  $119^{\circ}21'57''\sim 119^{\circ}30'19''$ 。以西靠扬溧高速、北临长江南岸、东沿禹山路 - 谷阳路 - 官塘桥路 - 沪蓉高速、南接长香大道为范围围成的不规则形状区域,东西方向最宽跨度为 13.1 km, 南北方向最长跨度为 13.4 km, 区域面积约  $102.0 \text{ km}^2$ 。该区域为镇江市中心建成区,区域内涉及城市主城区、丘陵、重要水系、森林、交通枢纽等地物地貌,具有较好的典型性,适合开展实景三维建设试点。

本研究获取生产的三维模型数据精度参考 OGC City Geography Markup Language (City GML) Encoding Standard (Version: 2.0.0)按照细节层次(LOD)分为 LOD1 (简单模型)、LOD2 (主体模型)、LOD3 (标准模型)、LOD4 (精细模型)。不同细节层次模型表达要素以及纹理等特征具体如下:

### 1) 简单模型(LOD1)

简单模型着眼于区域内基础地理实体群的边际特征,单个基础地理实体信息无需关注,无需进行纹理映射,所以简单体块模型就可以胜任。可用于城市空间构架分析等应用方向。

### 2) 主体模型(LOD2)

主体模型关注点在于地理实体之间的关系特征,如群体内有哪些成员,群体周边邻接哪些成员等,需要知道群体成员的简单几何特征和纹理信息。可用于自然资源监测等应用方向。

### 3) 标准模型(LOD3)

标准模型注重地理实体单元的单体外部特征,如该地理实体单元的位置、形状、高度、顶部特征、外部纹理等信息。需要较精确的几何特征和较高分辨率的纹理特征。典型应用是区域网格管理。

### 4) 精细模型(LOD4)

精细模型采用倾斜摄影和贴近摄影相结合的方式获取数据,以倾斜摄影三维模型构建的方式,按部件外部特征进行精细化建模,重点表现地理实体单元的结构特征并对部件表面进行全方位纹理映射。其典型应用有不动产权属登记等。

本研究共获取镇江市实景三维数据建设区域 102 km<sup>2</sup> 的无人机遥感影像。模型建设范围如图 1 所示,图示区域内包括镇江市中心建成区 82.5 km<sup>2</sup> 和南山风景区 19.5 km<sup>2</sup>。其中中心建成区内实心线范围为精细模型区域、横线内为标准模型范围,斜线内为南山风景区主体模型范围。



Figure 1. Model construction scope

图 1. 模型建设范围

采用固定翼无人机 + 倾斜五相机的方式实施主体模型建模区域倾斜影像数据获取,固定翼无人机采用纵横 CW-15 大鹏垂直起降固定翼无人机,倾斜相机采用睿铂 RIY-DG4 Pros 五镜头倾斜相机,共获取影像 464,835 张,无人机航拍 17 天,飞行 43 架次。由于南山风景区为山体,所以在无人机航摄参数设置上也有区别,具体相机参数设置见表 1。

Table 1. UAV camera parameters

表 1. 无人机相机参数

	主体模型	标准模型
航行高度/m	444	267
相机焦距/cm	40	40
航向重叠度	80%	80%
旁向重叠度	80%	80%
成像分辨率	4.8	4.8
影像单元尺寸/um	4.5	4.5
地面采样分辨率/cm	5	3

结合野外实地 GPS-RTK 测量方式获取了共 211 个像片控制点, 经过空中三角测量加密后, 构建区域 TIN, 密集匹配生成该区域的密集点云数据。根据得到的对应各个面的纹理数据, 将其映射到建筑物的几何框架模型完成纹理贴图, 在大场景内融合各个标准的模型, 最终生成整个城市的实景三维模型。

### 3. 数据处理与结果分析

本研究采用 Context Capture 4.4.11 作为数据处理软件, 利用此软件对数据 464835 张影像和 211 个控制点进行三维模型的构建, 并进行空中三角解算, 通过点云加密生成密集点云, 将密集点云进行网格化和纹理映射, 利用像控点数据, 生成对应坐标系统下的具有真实坐标的三维模型, 流程见图 2。

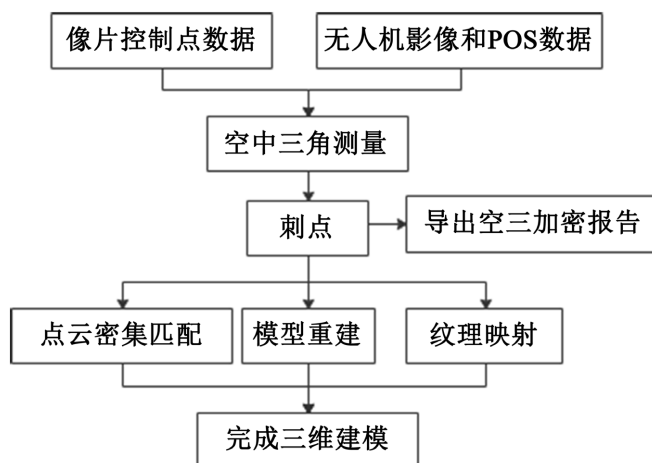


Figure 2. Data processing flow chart  
图 2. 数据处理流程图

#### 3.1. 三维模型构建

空中三角测量在软件 Context Capture 中完成, 该软件能自动识别影像的焦距、相机参数和位置参数等信息, 在空中三角测量步骤前, 要对影像进行检查, 核对照片质量和数量以及能否完整打开, 导入相机参数之后提交第一次空中三角测量, 任务完成后, 在 3D view 中查看点云及空三结果, 主要看是否跑平, 本研究中的任务没有分层和点错乱等现象, 下一步导入野外测量的像片控制点, 利用第一次空三的结果, 匹配像控点所对应的照片, 进行像控点刺点工作。

刺点主要是借助 GPS-RTK 外业实测的控制点坐标, 通过人工手动选取控制点所在的影像进行对比选刺, 是提高空中三角测量质量的一个重要步骤, 对照影像和像控点之记, 可以准确刺得控制点在影像中的准确位置。每个控制点 5 个方向分别选取 5 张及以上的影像进行刺点, 这一项完成之后, 再一次提交空三任务, 二次空三结束后在 3D view 中查看点云及空三结果是否跑平, 并查看精度报告, 本研究中的任务没有分层和点错乱等现象, 控制点的偏差也符合本项目设计规范。

第二次空三成果符合限差后, 三维模型的构建仍在 Context Capture 软件中进行, 通过影像密集匹配, 密集点云构建 TIN 模型, 最后进行纹理映射。输出三维坐标系为 CGCS2000, 输出模型为 OSGB 与 OBJ 格式。生产模型过程中, 软件算法以及地物类型的局限性, 生成的三维模型水面部分可能会存在空洞, 需要在 DP-Modeler 软件里进行人工模型修饰。

#### 3.2. 多粒度三维模型融合

本次航摄生成的三种不同粒度模型: 主体模型、标准模型、精细模型, 需经过融合, 才能通过搭建

的三维地理大场景将不同粒度三维模型进行整合表达。通过本次研究初步解决了三维 GIS 平台多粒度三维数据融合问题，提高空间数据的使用效率。多粒度模型融合流程如图 3 所示。

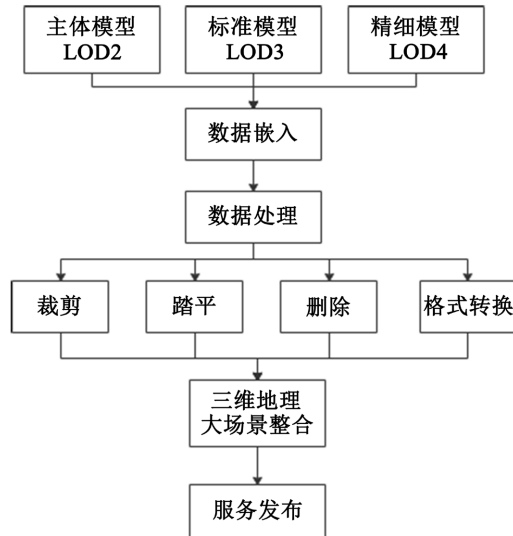


Figure 3. Multi-granularity data fusion flow chart  
图 3. 多粒度数据融合流程图

本研究对不同粒度倾斜模型数据进行分类管理，具体如图 4 所示。



Figure 4. Multi-granularity real-world 3D model in the study area  
图 4. 研究区多粒度实景三维模型数据

其中主体模型的航摄分辨率为 0.05 m，标准模型的航摄分辨率为 0.03~0.05 m，精细模型的航摄分辨率为 0.02 m。针对不同粒度的倾斜摄影三维模型，以覆盖范围最广的粒度较粗的倾斜摄影三维模型为整个场景建设的基底，通过对模型的裁剪、踏平、删除、格式转换等操作，完成对原有基底数据的清理，同时整合进粒度较精细的高精倾斜摄影三维模型、贴近摄影三维模型，实现对不同粒度模型的融合。融合后的三维场景效果如图 5 所示。



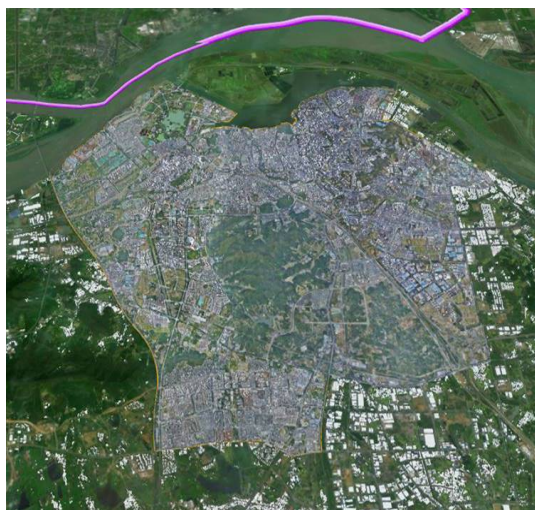
**Figure 5.** The effect of fusion of different granularity models  
**图 5.** 不同粒度倾斜模型融合效果图

### 3.3. 三维模型匀光匀色处理

由图 5 融合后的大场景效果可以看出，本研究中多粒度三维模型数据的不同区域的影像数据集，色调差异呈现出不一样的明暗度，因此需要对融合后的数据进行匀光匀色处理。本研究提出一种对影像灰度值做均值处理的匀光匀色算法，即不同区块不同架次色调不一的影像数据集求取平均灰度值，作为各数据集的灰度值，数据集之间再求取均值，作为整个区域的影像灰度值，达到去除色差平衡色调的效果。具体算法如下：

$$D_j = \sum_{j=0}^n \frac{L_i}{n} \quad (1)$$

其中  $i$  为不同影像数据集的平均灰度值， $n$  为数据集个数， $D_j$  为数据集之间的灰度值求取的均值。具体步骤通过 Python 语句编程实现。



**Figure 6.** Effect map of geographic scene after color equalization  
**图 6.** 匀色后地理场景效果图

图 5 和图 6 对比分析可见, 图 6 经过匀光匀色处理之后整体色彩更加均衡, 虽然本研究提出的均值算法对图 5 处理后没有完全消除色差, 但整体三维场景在视觉上已经得到了较大的改善。

### 3.4. 模型精度评价

本研究中的模型精度检验通过外业实测的特征点点位较差反映, 采用外业 GPS-RTK 测量的像片控制点与三维模型中的同名控制点的 X、Y、Z 坐标进行对比分析, 模型取点在 Acute 3D view 软件中进行量测。本研究将镇江市实景三维建设区域分成了 8 个大区, 16 个子区进行三维建设, 模型精度检测共在各个子区均匀选取了 67 个检测点与实地像控点做了比对分析, 分别计算统计检测点的平面精度和高程精度, 中误差的统计公式见式(1):

$$m = \sqrt{\frac{\sum(\Delta)^2}{n}} \quad (2)$$

实景三维数据检测情况一览见表 2, 经计算统计, 模型的平面位置中误差为:  $\pm 0.090$  米; 高程中误差:  $\pm 0.108$  米, 符合模型精度要求。

**Table 2.** List of real 3D data detection  
**表 2.** 实景三维数据检测情况一览表

区块	面积(km <sup>2</sup> )	平面精度(m)		高程精度(m)	
		检测点数	中误差	检测点数	中误差
202101_001	5.80	7	0.094	7	0.116
202101_002	4.73	4	0.088	4	0.147
202102	0.94	2	0.118	2	0.103
202103	3.81	5	0.046	5	0.085
202104_001	3.07	4	0.094	4	0.087
202104_002	7.86	7	0.065	7	0.093
202104_003	5.59	4	0.113	4	0.108
202104_004	6.76	5	0.093	5	0.113
202104_005	6.49	5	0.076	5	0.113
202104_006	5.57	4	0.050	4	0.082
202105	7.27	7	0.105	7	0.111
202106	3.44	3	0.062	3	0.137
202107	19.04	3	0.126	3	0.104
202108_001	5.2	3	0.119	3	0.092
202108_002	6.17	2	0.084	2	0.073
202108_003	10.3	2	0.056	2	0.135

模型平面精度中误差:  $\pm 0.090$  米; 高程中误差:  $\pm 0.108$  米

## 4. 结果与讨论

通过本研究中镇江市示范地区城市级实景三维数据建设, 探索和总结不同尺度的三维模型数据生产

和集成的生产技术流程, 利用研发的一套实景三维数据成果管理与应用系统, 实现大场景下模型的整合与表达。将示范区域不同粒度实景三维数据集成到一张三维底图中, 实现了地形级三维大场景、城市级三维模型和基础地理实体的全面整合, 以三维形式展现了城市级自然资源地理场景。推动实景三维数据建设与自然资源管理和国土空间规划等业务和自然资源大数据应用需求对接, 为政府制定城市整体发展战略、城市安全运行管理等全局性宏观决策提供全空间地理信息服务。

## 参考文献

- [1] 田超, 王书阳. 基于无人机倾斜摄影测量技术的三维建模及其精度分析[J]. 资源信息与工程, 2019, 34(1): 125-126.
- [2] 李星宇, 赫念学, 魏英波, 等. 复杂环境倾斜摄影与实景三维建模技术应用[J]. 测绘通报, 2020(S1): 20-24.
- [3] 成李博, 李佳, 段平, 等. 顾及控制点均匀性的无人机实景三维建模精度分析[J]. 全球定位系统, 2021, 46(1): 20-27.
- [4] 毕洪基, 杨荣帮. 基于低空无人机影像的城市三维建模精度评价[J]. 北京测绘, 2019, 33(5): 513-517.
- [5] 刘建程, 王冠智, 金泽林, 等. 倾斜摄影测量面向城镇实景三维建模及精度分析[J]. 测绘通报, 2021(S1): 16-19.
- [6] 刘丹丹, 刘江, 白阳, 等. 倾斜摄影测量三维建模及精度分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(7): 1-4.
- [7] 周悌慧, 陈海鹏, 陈宇恒, 等. 倾斜摄影实景三维模型的质量检查分析[J]. 测绘通报, 2021(S1): 33-36.
- [8] 闻彩焕, 王文栋, 王晓东, 等. 实景三维模型空间信息采集像控点布设分析[J]. 测绘通报, 2021(S1): 1-5.
- [9] 李伟, 张红月, 孙衍建, 等. 地区级实景三维模型色彩均衡方法实验[J]. 山东国土资源, 2021, 37(7): 86-90.
- [10] 徐思奇, 黄先锋, 张帆, 等. 倾斜摄影测量技术在大比例尺地形图测绘中的应用[J]. 测绘通报, 2018(2): 111-115.
- [11] 尚浩, 宋晓帅, 李虎, 严姗姗. 济南泉域岩溶地区多源多尺度数据三维耦合模型及应用[J]. 地质学刊, 2019, 43(3): 385-392.
- [12] 向泽君. 重庆全市域多源多尺度实景三维模型建设[Z]. 重庆: 重庆市勘测院, 2019-03-07.