doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.02.018

倾斜影像和机载LiDAR融合的城市三维建模技术

张亚红[1]
（1. 中煤航测遥感集团有限公司，陕西 西安 710199）

摘　要：随着新型测绘时代的到来，三维城市建设的步伐也在加快。以某城市中心城区实景三维数据生产项目为例，通过融合倾斜影像和机载激光点云数据，结合自主研发的软件来自动、高效、实时地制作城市实景三维模型。该方法与传统建模方法相比，能够更完整、真实地还原城市面貌，具有更高的精度，是一种高数据质量、高生产效率的技术方法。

关键词：倾斜影像；机载LiDAR；融合；三维建模
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）02-0089-04

Urban 3D Modeling Technology Based on Oblique Images and Airborne LiDAR

ZHANG Yahong[1]
(1. China Coal Aerial Survey and Remote Sensing Group Co., Ltd., Xi'an 710199, China)

Abstract: With the advent of new Surveying and mapping era, the pace of 3D city construction is also accelerating. Take the real scene 3D data production project in the central urban area for example, through the fusion of oblique image and airborne LiDAR data, we used self-developed software to product urban real scene 3D model automatically and efficiently. Compared with the traditional modeling method, this method can restore the urban appearance more completely and truly, and has higher accuracy, which is a technical method with high data quality and high production efficiency.

Key words: oblique image, airborne LiDAR, fusion, 3D modeling

目前我国已经进入新型测绘时代，其重要任务之一是发展适合高层次应用需求的新型地理信息数据成果。城市三维模型作为一种新型地理信息数据，是构建新型基础测绘成果体系基础性、关键性的信息资源，也是城市三维空间信息应用的底板[1]。快速、大面积的进行城市三维建模已经成为研究的热点[2]。倾斜摄影测量技术是测绘遥感领域近年来发展起来的一项新技术，利用该技术可以快速获取地物不同角度的影像，得到更为详尽的物体侧面信息[3]，直观、真实的反映了实际地物特征[4]。目前，房地一体项目多是采用这种建模方式绘制调查底图。但这种建模方式也存在一些不足，例如在一些树木遮挡、阴影等区域，模型会出现扭曲、拉花等现象。机载 LiDAR 技术则是另一种测绘新技术，它具有分辨率高、抗干扰能力强、低空探测性能好等特点[5]，并且具有受气候影响小，数据精度高和生产周期短等优点[6]。随着激光雷达点云数据处理技术的成熟，目前已有大量的研究利用激光雷达技术进行三维建模。但该技术也存在不足之处，由于无法获取物体的顶部数据，导致难以实现对建筑的全方位三维建模。因此将两者融合起来，既能够保证三维模型信息的完整性，又能够修正倾斜实景模型中地物扭曲、空洞等问题，可获取地物全方位的三维模型，是一种行之有效的三维建模方式[7-8]。

1　技术路线及实现方案

1.1　技术路线

本项目选用的三维模型构建方案是采用倾斜摄影和机载三维激光扫描相结合的方式，具体的生产流程如图 1 所示。

1.2　数据获取方案

1）倾斜航空摄影。测区地势西北高东南低，主城区地形较为平坦，海拔在 570 ~ 590 m 之间，航摄范围约 75 km^2。根据测区地形特点，结合航摄设备对环境条件的要求，综合考虑作业效率等因素，选择贝尔 206L-4 搭载多角度倾斜摄影测量系统-MIDAS 执行本次航飞任务，并按照地面分辨率 0.05 m/像素、航向重叠度 70%、旁向重叠 50%、航线东西方向敷设。

2）机载激光雷达扫描。结合主城区地形地貌特征，选择机载激光扫描系统—（ALS60）来完成点云数据的获取。根据 ALS60 系统的技术性能和三维制作

收稿日期：2021-04-20。

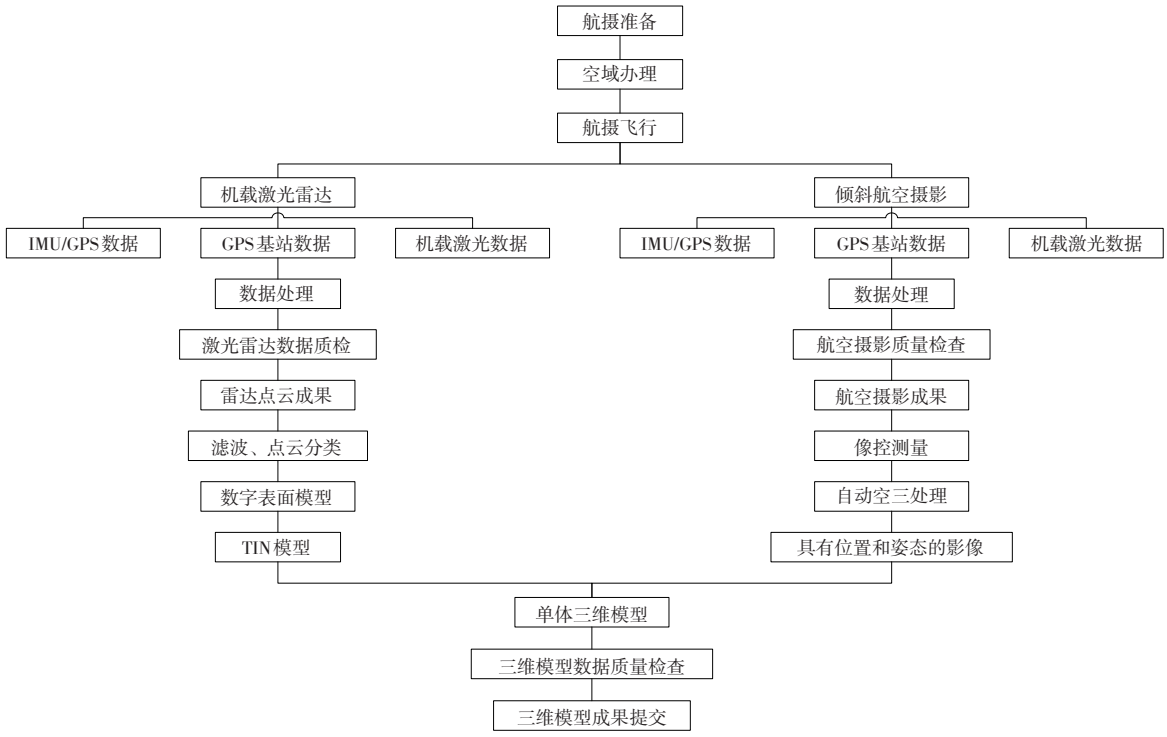


图1 技术路线图

对激光点云提出的要求，按旁向重叠度20%，平均点间距0.63 m左右进行飞行设计。

2 数据处理

2.1 点云数据处理

1）ALS60激光扫描数据预处理。先将空中GPS和地面基站GPS数据进行差分融合处理，然后再把差分融合处理好的GPS数据和IMU数据进行融合，输出**.sol文件，其坐标为WGS84。处理原始激光数据时，同时需要定位定向数据（**.sol）、激光检校数据（**.reg）、原始激光数据和激光强度数据（**.txt），在输出选项里选择需要的激光点云数据格式，选择WGS84坐标及项目所在的UTM坐标带，使激光点云数据获得地理坐标。并输入最大的Range和最小的Range以及使用的扫描角度，以此来滤掉激光噪点，为以后的点云处理提供方便，最后运算得出**.las激光点云数据，其坐标为WGS84。

2）点云数据粗分类。在软件TerraScan中，对预处理过的激光点云数据，通过人工干预去除噪声点，进而获得DSM。然后根据建立的“宏”命令进行房屋、植被的粗分类。实际作业中还要根据区域地物特征调整“宏”中的参数。

3）点云数据细分类。为了生成符合地面形态的DEM，必须通过自动化及少量人工干预的手段，对LiDAR数据中的建筑、道路、桥梁等进行进一步的细分类。在TerraScan模块读入点云数据，在Terraphoto模块读入DOM，两者进行叠加，可以很清楚地判断激光点所属的类别，通过一些自动化的点云分类工具把植被、房子、桥梁、电力线等非地面点云正确地分类出来，在分类效果不佳的位置，再进行一定的人工干预。

根据项目要求，需要将以下几类点云进行细分类：

1）建筑物点。实际作业中，建筑物点和高植被点被放在high vegetation层（高于地面2 m以上的点），通过利用回波强度信息，以最大建筑物尺寸和Z方向的容差就能很好的将建筑物点提取出来，如图2所示。

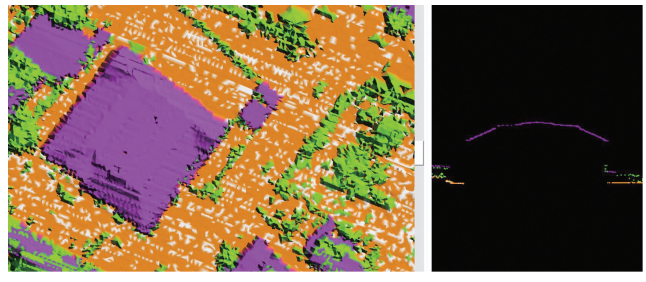


图2 建筑物点LiDAR分类图

2）桥梁点。各种架空的公路桥、立交桥、道桥都属于桥梁。分类时需要注意桥梁的完整性，属于桥体本身的一些附属结构如锁链之类的东西要分到桥梁类，桥梁上有时也会出现雕塑、花坛、路灯、大型车辆等，这些点要分到default层。待桥梁点分类完毕后，还要剔除桥上的车辆、植被等不属于桥梁的点。如图3所示。

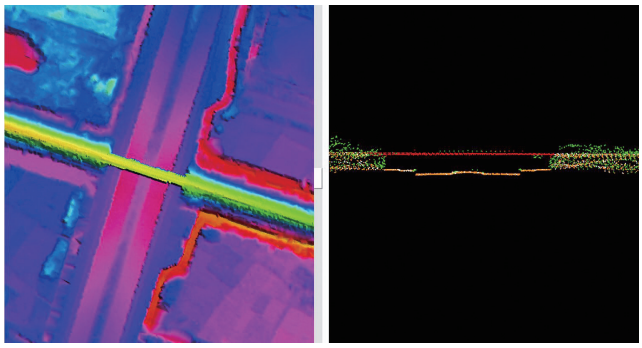


图3　桥梁LiDAR分类图

3）交通附属设施。交通附属设施一般分布于道路两侧一定缓冲区范围内，且与道路、桥梁、地面的差异较大，特征比较明显，采用自动化手段能够较好的完成该类型的点云分类，少量自动处理有困难的区域可以增加少量人工干预。

4）DEM/DSM成果数据输出。激光点云数据按项目要求输出DEM、DSM数据，其中DSM数据即为三维模型自动提取的源数据。

2.2　倾斜摄影数据处理

在倾斜摄影测量系统中根据机载IMU、GPS以及精密星历观测数据，联合解算出影像数据的外方位元素。若出现航线补飞的情况，预处理时要充分考虑补飞航线与相邻航线之间数据的关系。

1）空中三角测量。本项目倾斜影像空中三角测量采用ContextCaptureCenter软件完成。

2）数字微分纠正和变形检查。在LPS数字摄影测量系统中，根据DSM数据点文件，输入相关参数，如地面分辨率，对已确定了外方位元素的像片进行纠正。然后应用ERDAS或GlobalMapper软件，对纠正后的影像进行检查，主要检查影像是否失真、变形；房屋是否有房角拉长、房屋重影以及桥梁和道路是否扭曲变形；还有特殊地貌如悬崖、堤坝、高架立交桥是否变形、扭曲等。

3）匀光、匀色处理。对于需要进行补调色的影像，根据情况分别处理；对于相邻存储单元的正射影像须进行匀光调色处理，保证密度、反差、色调的一致，确保整个摄区正射影像色彩的协调。

4）影像拼接。使用ERDAS软件，对匀色后的影像进行拼接。拼接线可根据地物情况，在重叠范围内任意选择，以保证地物的完整性。如通过房屋或一块稻田时，拼接线可绕过房屋或稻田。拼接线两边的影像应保证密度、反差、色彩一致、和谐。

3　三维模型生产

三维模型数据生产的主要流程包括纹理贴图、模型优化、三维单体模型自动生成和模型输出等生产工艺。

3.1　纹理贴图制作

实景三维生产的纹理均来源于倾斜航空摄影的影像数据，改变传统依靠人工拍照获得纹理的原始方法[7]。影像数据处理严格按照摄影测量工艺进行，可保证纹理的数学精度。

3.2　点云模型优化

三维影像技术融合激光点云数据生成的三维模型以及自主研发的算法，加强了激光点构成的TIN网模型的边缘特征，使建筑物边缘还原本来光滑整齐的形状，提高模型整体质量。同时能自动对同一平面内的点云进行抽稀，减少数据冗余。自动处理有困难的区域时可以增加少量人工干预（尤其对于复杂建筑）。

3.3　单体化矢量数据提取

将建筑点云数据以及精细分类过的其他点云数据，分层导入软件中，构建建筑层精确的DSM，然后进行人工单体化矢量提取，得到建筑物单体范围线；同时可结合其他点云层，提取道路交通边线、路灯路牌、水系边缘等矢量数据，必要时参考纠正后的影像数据。最后再对提取的各类矢量点、线分层导出，分别进行拓扑、外扩、合并等处理，为三维数据生产中的建筑物单体化提供矢量数据支持。

3.4　三维数据解算和单体化

1）数据准备。经过纠正的匀色影像、空三外方位元素和相机文件、边缘增强后建筑物点云数据、分类提取后树木点云数据、各类单体化矢量数据、DEM数据、拼接后的底视正射影像数据等。

2）白模自动解算。利用自主研发的软件，批量生成实景三维模型数据，为三维系统集成提供合格的数据资料。由于利用高精度的激光点云作为模型TIN网构造的主体，生产的模型框体具有非常高的测绘精度，并且精度可靠性强，其整体及局部的高程、平面精度均能够达到1∶1 000成图比例尺的精度标准，且建筑物细部构造间的相对位置非常准确。

3）纹理自动映射。自主研发的软件可在模型自动解算过程中同步进行纹理自动映射，自动采集倾斜影像中对应位置的地物信息，纹理批量映射至生成的三维基础数据表面。

由于倾斜摄影采集、后处理流程中，严格按照摄影测量工艺进行，保证了模型纹理空间位置的精确

性，配合高精度的三维TIN网模型，使得自动纹理映射的结果与真实环境的精度误差非常小，三维影像技术能够保证模型上每一个窗户与实际位置的绝对误差都能控制在有效范围内。

3.5 三维数字产品输出

单体化后，每个建筑物的模型复杂程度及精度能够严格满足《三维地理信息模型产品规范》CH/9015–2012和《三维地理信息模型生产规范》CH/9016–2012中的II级要求，并且模型结构能够与当地现有成果保持一致，保证无缝对接。单体化后的模型如图4所示。

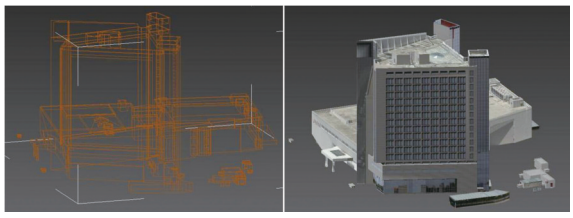


图4 三维线框（左）和贴图后的三维模型（右）

此时得到的三维数字产品可以进行三维场景构建，用于模型的单体检验、场景色彩确定、重点区域街景及小品制作范围确定等。三维场景效果展示如图5所示。



图5 项目三维场景展示图

3.6 质量检查

质量检查贯穿城市三维模型生产的整个环节，包括数据预处理阶段倾斜影像质量的检查，机载LiDAR点云质量检查、倾斜影像纹理检查以及城市三维模型成果检查等[8]。

为了进一步保证城市三维模型的精度，采用软件自动检查、人机交互式检查和外业实地核对检查模型成果数据的平面精度、高程精度、结构质量以及纹理质量。

1）平面精度检查。抽取一定比例的三维模型，利用外业散点或地形图成果与3DRealworld平台上读取的相应的三维模型平面坐标进行比较，统计计算出平面中误差。

2）高程精度检查。抽取一定比例的三维模型，利用外业散点或地形图成果对三维模型顶部高程和基准部高程进行测量，并根据顶部高程和基准部高程计算模型高度，然后分别在3DRealworld平台上及利用3DMax软件采集三维模型的顶部高程和基准部高程，并计算模型高度，最后对两者进行比较，计算统计出高程中误差。

3）结构、纹理质量。选取典型建筑区域，外业实地拍照，在3DMax软件，采用人工判读的方式检查模型建筑物几何现状，建筑主体、侧面及顶部结构是否真实完整；检查模型纹理的正确性，纹理细节的丰富性，且是否具有真实的光影信息。

4 结 语

本文提出的通过融合倾斜影像和机载LiDAR点云数据的三维建模方法，能够按照某城市三维模型的标准完整的还原三维实景，其中建筑物细部构造间的相对位置非常准确，可以构建高精度高可靠性的单体化模型，是一种高数据质量、高生产效率的技术路线，具有以下几点优势：

1）模型由经过边缘增强的点云数据通过优化后自动构成TLN得到，不存在人工建模的过程，能够保证数据的完整性和精度，且生产效率高。

2）在模型自动解算过程中同步进行纹理自动映射，自动采集倾斜影像中对应位置的地物信息，纹理批量映射至生成的三维基础数据表面。

3）地形、地物模型保持统一的精度标准，避免了传统建筑模型与复杂地形DEM间的分离错位。

4）完全通过数学算法实现，是一种高度自动化的生产工艺。

参考文献

[1] 耿丹,李丹彤,尹琴丽,等. 新型基础测绘背景下的城市三维模型构建路径[J]. 工程勘察,2020,48(12):53-57

[2] 何迪. 加快推进智慧城市建设[J]. 智能城市,2019,5(20):26-27

[3] 王树根. 摄影测量原理与应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2009

[4] 孙杰,谢文寒,白瑞杰. 无人机倾斜摄影技术研究与应用[J]. 测绘科学,2019,44(6):145-150

[5] 郭庆华,苏艳军,胡天宇,等. 激光雷达森林生态应用:理论、方法及实例[M]. 北京:高等教育出版社,2018

[6] 耿中元,王凤,刘飞,等. 倾斜航空摄影实景三维模型技术研究及应用[J]. 北京测绘,2017,31(6):28-32

[7] 陈家惠. 基于倾斜影像的三维城市建模影像筛选方法研究[J]. 北京测绘,2019,33(2):153-156

[8] 薄正权,张宇. 倾斜摄影在长春市城市建模中的应用[J]. 城市勘测,2016(3):93-96

作者简介：张亚红（1990—），硕士，研究方向为摄影测量与遥感。