

# 浅析两种基于倾斜摄影的实景三维自动建模技术

张昊 周林 胡美芳

中国四维测绘技术有限公司, 北京, 100048;

**摘要:** 传统三维建模技术的局限性导致以往的三维数据无法大规模推广应用的弊端。这种情况直到倾斜摄影技术逐步成熟, 自动匹配技术在地形 (Digital Surface Model, DSM) 生成中有了突破性进展, 以及逐步尝试将 LiDAR 数据应用到实景三维建模中后, 才有所改观。

纯倾斜摄影匹配的实景三维自动建模技术国内外已经研究多年, 这种方式基于传统摄影测量原理, 从大重叠度的倾斜影像立体像对中, 利用同名点匹配方式, 通过数学运算生成三维点云, 在此基础上快速构建城市实景三维模型。这种技术路线的特点是人工干预少, 自动化程度高, 真实性强, 但近距离浏览数据时往往会发现一些瑕疵, 三角网的精度也有所欠缺。

基于 LiDAR 获得地物空间形状, 实现激光点云与倾斜影像的自动融合, 是另一种实景三维生产技术路线, 能够解决匹配方式的部分技术瓶颈。

本文探讨了倾斜影像匹配方式的技术瓶颈和其产生原因, 简述了 LiDAR 结合倾斜自动化建模的技术路线和特点, 通过一种新的质量检验方式, 对两种成果的精度和结构进行比较后, 能够得出结论——LiDAR 融合倾斜影像获得实景三维数据的技术路线是一种更适合政府等专业用户的工程级解决方案。

**关键词:** 遥感; 倾斜摄影; LiDAR; 实景三维

**DOI:** 10.64216/3080-1508.26.03.048

## 引言

自 2005 年 Google Earth 发布, 三维地理信息技术进入快速发展阶段。但很长时间以来, 三维技术一直被建设周期长、缺乏真实完整数据, 且精度无法保障行业应用需要的传统手工建模方式主导。传统三维建模技术的局限性导致以往的三维数据无法大规模推广应用的弊端。这种情况直到倾斜摄影技术逐步成熟, 自动匹配技术在地形 (Digital Surface Model, DSM) 生成中有突破性进展, 以及逐步尝试将 LiDAR 数据应用到实景三维建模中后, 才有所改观。

倾斜摄影提供的是地物的纹理。倾斜摄影技术是国内测绘领域近些年发展起来的一项新技术, 它颠覆了以往正射影像只能从垂直角度拍摄的局限, 通过在同一飞行平台上搭载多台传感器, 同时从一个垂直、四个倾斜等五个不同的角度采集影像, 获取并提供完整的地物纹理, 从而将用户引入符合人眼视觉的真实直观世界。

影像自动匹配技术和 LiDAR 数据提供的都是 DSM 这类地物形状信息。自动匹配生成的 DSM 近几年出现了突破性进展。以往技术匹配出的 DSM 在城市地形中,

地物大多是极度变形的、不完整的。例如, 大多数建筑物失去了棱角, 看起来像土包。但近年来, 一些先进的匹配算法已能在有限的时间内生成大量的形状逼真的建筑物, 而因此达到了实用水平, 特别是在影像分辨率达到 3 厘米甚至更高的情况下, 能够较大幅度的减少明显的的数据问题。LiDAR 数据由于其高精度、一致性、完整性和可靠性, 目前已被业内广泛认可、接受和采用, 以往一般作为其它地形数据的参照和标准, 而近年出现一种基于 LiDAR 形成地物结构的实景三维建模技术, 能够发挥出 LiDAR 数据本身的优势, 解决自动匹配技术中的一些瓶颈。

## 1 倾斜匹配技术简述

仅利用倾斜摄影的实景三维自动建模技术国内外已经研究多年, 在其发展初期, 主要目的是为快速获得一个地区, 甚至全球的真实三维场景, 并应用于导航、电子沙盘领域, 由于不单纯针对城市, 所以对数据精确性、可靠性要求不高。国外厂商大多采用基于倾斜影像匹配原理的技术路线, 这种方式基于传统摄影测量原理, 从大重叠度的倾斜影像立体像对中, 利用同名点匹配方

式,通过数学运算生成三维点云,在此基础上快速构建城市实景三维模型。

这种数据解决方案的特点是人工干预少、自动化程度高、真实性强。根据以往项目经验,底视0.08米分辨率的倾斜影像平均处理速度约为每天(24小时)1000张图,核算下来每平方公里约需4小时,100平方公里需要17天左右时间,且过程中基本只需要人工刺点等简单干预,输出的实景三维数据视觉效果整体比较美观,特别是在远距离观看时,即使模型中的地物有一些问题,但看起来并不难受,这是其吸引人的主要因素。

虽然有种种优势,但是由于匹配技术本身的技术瓶颈,导致实景三维场景中存在大量的空洞和缺失,近距离浏览数据时往往会发现一些瑕疵,同时匹配出来的三角网不能满足相应比例尺定位精度的要求,更无法进行局部修改,这些原因都使得该技术难以解决专业应用部门的需求。

匹配技术必须对倾斜影像进行严格的空三加密处理,但受到噪声干扰或影像特征点不明显等原因,匹配的结果具有很大的不确定性、随机性。例如,一般的道路很平整,但其纹理高度重复会给匹配造成致命困难,匹配出来的道路往往高低不平、上下起伏。在实景三维模型构建的过程中匹配结果往往会出现10%-25%的不可预知问题区域,表现形式一般是模型破碎、纹理拉花等现象。这些问题在倾斜影像中出现摄影死角、运动物体或大面积的纯色区域时会更加明显,多会出现在水体、密集高楼区、立交桥、植被密集处的建筑物、路面等区域。<sup>[1]</sup>

在近距离观看数据时,能明显发现变形和缺失。仅通过肉眼观察,变形的距离受影像分辨率的影响,范围从几十厘米到几米不等。根据大量工程实践证明,如果要把树木的形状保持好,就要牺牲房屋的干净程度(墙面的平整度),它们是不可兼顾的一对矛盾。虽然底视

分辨率优于5厘米的实景三维模型在1:1000甚至1:500比例尺显示时视觉效果较好,但其背后的三角网并不能满足其相应比例尺的定位精度标准(例如,1:1000比例尺,XY:0.3米,Z:0.2米),特别是在建筑物边缘等高程突变区域,精度误差会更大。

在需要对匹配技术生成的实景三维数据进行修改时,由于匹配技术生成的三角网、纹理均来源于影像,因此三角网与纹理之间有严格对应的关系,任何大范围的编辑、改动都会破坏其三角网和纹理之间的对应关系。

如果对原始倾斜影像进行修改,改动的部分必然会破坏和三角网之间的对应关系,从而引起周围其他位置出现更多问题。所以从目前的工程实践中,多是在实景模型生成后,通过三维编辑软件或插件针对模型数据进行局部调整。但由于三角网结构不规整、面数多,多数出现问题的区域采用压平后人工重构的方式,代价反而会更小,但已经失去自动建模的特有优势。

以上是匹配点云本身造成的技术问题,而由于目前国内工程项目中,多数应用的是国外的成套软件,核心技术受制于人,难以在匹配点云生成阶段对数据进行分层分类,导致匹配出的实景三维成果难以在数据加工的过程中进行单体化,只能在成果出来后再进一步加工。目前的工程项目中,一般通过人工局部重构、矢量线裁切、虚拟单体化三种方式实现,技术上各有利弊,工作量和成本上也有较大弹性,很难说是一种标准化的解决方案。

## 2 倾斜结合 LiDAR 技术简述

基于LiDAR获得地物空间形状,实现点云与倾斜影像的自动融合,同样能够保证实景三维建模的精度和效率,目前经过北京、成都、深圳等城市近一万平方公里的工程项目考验,整体技术路线已经趋于成熟,具体生产流程如下图1。

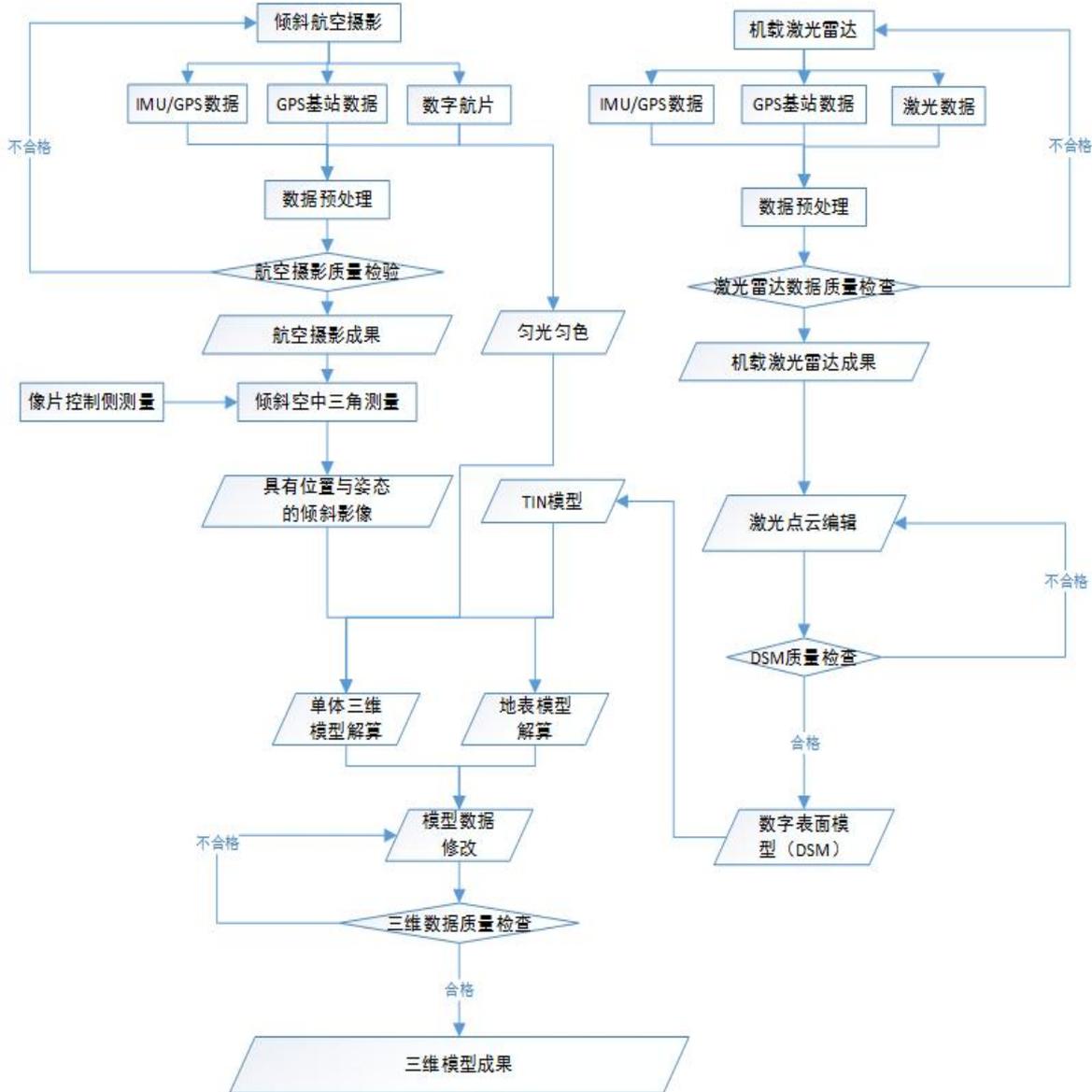


图 1 倾斜结合 LiDAR 实景三维数据生产流程图<sup>[2]</sup>

从效果上讲，LiDAR 是一种物理扫描，与数学运算生成的点云不同，能够保证地物的形状结构不会有大的变形，与倾斜影像结合后，能够真实的还原城市形态。

从精度上讲，该技术基于 LiDAR 获得地物空间形状，大量理论研究表明，机载 LiDAR 系统在行高 1000 米的角点定位精度在 0.3 米，而在一些工程实践中表明，应用常见的机载 LiDAR 系统生产的 DEM 产品，通过野外实测检测点统计，其中误差为±0.12 米。<sup>[3]</sup>LiDAR 数据本身的精度能够保证由其生成的实景三维模型的结构精度。

从结构上讲，在上述生产流程图的激光点云编辑阶段，可以通过成熟的点云滤波处理，以较高的效率区分地面、植被、建筑物、桥梁等地物，并利用人工检查避

免分类错误，最终的实景三维成果能够实现数据分层，建筑物能够实现单体 max 格式文件输出。

从效率上讲，虽然在影像匀光匀色、点云去噪分类，以及各步骤质检修改等阶段需要人工干预，但最关键的建模和纹理映射步骤自动化程度较高，以《北京城市副中心及周边地区真三维单体化模型数据采集项目》为例，合同面积 305 平方公里，后处理过程共用时 55 天，折合每 100 平方公里约需要 18 天。

### 3 精度分析

两种技术是国内目前比较主流的自动化实景模型生产方式，两者最大的差异就是几何精度，而几何精度会直接影响实景三维模型数据的形状。从结论来说，数学运算获取的点云和物理扫描获取的点云相比，可靠性

不足，特别是在建筑边缘等高程突变较大的区域，两者存在较大差异。

总体的检验思路是在同区域，将 LiDAR 形成的 DSM 与匹配软件计算获得的 DSM 进行高程比较，获得 DSM 统计误差特性。

首先在山西晋中匹配数据中随机选取一个范围 Tile\_4\_1\_3\_028，约 110 米\*130 米。

然后导出该区域匹配点云共 22828 个，形成 DSM 备用。

下一步准备同区域的 LiDAR 点云数据，统计下来共约 23000 个点（点间距约 0.7 米），并形成 DSM 备用。首先视觉上已经能够发现，激光生成的 DSM 形状较为规整，特别是建筑物边缘形态更为贴近实际情况。

利用 ArcView 中 3D Analyst 和 Spatial Analyst 相关工具进行高程差比较，第一次设计高程差 0.2 米以内（1:1000 比例尺高程精度要求，RMSE 在 66.7% 范围内），以绿色显示，其他颜色表示高程差大于 0.2 米。

通过统计可知高程差范围已经达到 -12.777 米至 8.26 米，有比较明显的差异，特别是在建筑物边缘有大量的红色区域。

再次进行高程比较，设计高程差 0.4 米以内（1:1000



图 2 左侧为激光结合倾斜效果，右侧为倾斜匹配效果

这种结构上的问题是当前普遍使用的高程精度检测手段检查不出来的，但它们又是在实景三维中广泛存在的。关于结构的度量，目前业内还没有具体的标准和相应的检测手段，但随着三维城市建筑模型的大量生产，对于结构的度量和检测的需求就变得越发紧迫。

根据目前实际项目中的作业经验，未来应当推广人机立体交互的质量检查手段，并且开发对应的点线面检测工具进行辅助，以保证模型成果（特别是建筑）中面

比例尺高程精度要求，RMSE 在 95% 范围内），以绿色显示，其他颜色表示高程差大于 0.4 米。

按照 1:1000 比例尺高程精度的要求，95% 以内的点的高程误差应该小于或等于 0.4 米（或以 RMSE 讨论，66.7% 以内的点的高程误差应该小于或等于 0.2 米）。但通过统计发现，高程差大于 0.4 米的点已经占 30% 以上，显然匹配生成的 DSM 难以真正满足 1:1000 比例尺的高程精度要求。

在失去精度保障后，匹配技术更适合解决“有没有”、“在哪里”等定性问题，作为数据展示能够发挥自身成本低、真实性强的特点；而 LiDAR 结合倾斜的实景三维技术精度更高，结构能够分层和单体化，更适合解决“有多少”、“有多远”等定性问题。

#### 4 结构分析

上面分析对比的是高程精度，下面要分析对比的是结构。匹配生成的三维模型高程精度在提升影像分辨率后，还是能够一定程度解决问题，但它的某些结构却会与真实建筑物相去甚远。

而利用激光形成的建筑结构则会避免很多类似的问题，具体可见下图 2 中同样一个建筑物，两种技术路线的立面效果对比。

平、线直、角 90 度的基本结构要求。

#### 5 总结

本文中的两类产品虽然都是倾斜摄影技术的延伸发展，但加入 LiDAR 技术后，能够从根本上改善倾斜影像匹配技术数据精度没有保障、数据不方便单体化和修改的问题，在具体的应用方向上能够有较大的拓展，更适用于精细化的管理要求。

具体来说匹配技术数据生产速度相对较快,比较适用于公众展示和互联网应用,原因是这类应用要求保证大范围数据生产的效率,且对数据精度要求不高。

通过倾斜影像结合 LiDAR 技术生产的实景三维数据则严格按照航空摄影测量的技术规范,每一个生产步骤均是自主可控的,不会出现大量、大面积重新制作或返工的情况。能够保证数据效果的同时,其组织结构能够满足 GIS 系统的要求,更为适合作为“实景中国”中各大城市的工程级空间载体,提供给自然资源、公安应急等政府管理部门进行专业的三维空间分析。

综上所述,我们不难看出实景三维场景构建的过程中,技术路线能够决定最终数据的测绘精度和应用方向。虽然实景三维技术正在向精度更高、应用更广的方向发展,但不同的用户还应从实际情况出发,分析实景三维数据的需求范围、服务对象等因素,统筹把握数据产生的经济、社会效益,做到科学投资,选择适合自身情况

的技术路线,以提高国家和社会资源的投资回报率。

#### 参考文献

- [1]《基于倾斜摄影测量技术的“数字资阳”三维建模及精度评定》,张平,刘怡,蒋红兵,《测绘》2014年6月37卷第3期,P115.
- [2]《基于全景真三维技术的新型智慧城市时空信息基础设施探索》,任超,霍文虎,张茜,张旻,《地理信息世界》2017年4月总第124期,P8.
- [3]《机载激光扫描数据分割的三维数学形态学模型》,吴杭彬,李楠,刘春,施蓓琦,杨璇,《遥感学报》2011年06期,P5.

作者简介:张旻(1985.09.25-),男,汉,天津市和平区,中国四维测绘技术有限公司,本科,工程师,遥感测绘与地理信息。