

一种基于特征像控库的实景三维更新方法

丁晓龙^{1,2}, 高云龙³, 陈宗强^{1,2}, 曲岳慧^{1,2}, 孙洁^{1,2*}

(1. 青岛市勘察测绘研究院, 山东 青岛 266000; 2. 海陆地理信息集成与应用国家地方联合工程研究中心, 山东 青岛 266000; 3. 武汉大势智能科技有限公司, 湖北 武汉 430079)

摘要:在实景三维城市更新过程中,本底数据利用困难,像控点通常以像控靶标、道路标线为主,变化较大,导致数据利旧风险,两期成果精度难以统一。针对这一问题,提出了基于实景三维本底数据的特征像控库构建的思路,通过利用实景三维本底数据提取关键点的位置及特征信息,构建特征像控库;在更新数据进行空中三角测量过程中,提取特征像控库中的密集数字控制点,提高空中三角测量精度及通过率。通过实验验证及影像、模型特征点提取,构建特征像控库,可有效解决因像控点变化导致的精度不统一问题,显著减少像控点测量及转刺时间,提高了空中三角测量的自动化程度,使实景三维更新工艺流程具有延续性。

关键词:实景三维;特征像控库;密集数字控制点;青岛西海岸

中图分类号:P208

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.09.010

0 引言

实景三维指对一定范围内人类生产、生活和生态空间进行真实、立体、时序化反映和表达的数字空间,是新型基础测绘的标准化产品,是国家重要的新型基础设施,为经济社会发展和各部门信息化提供统一的空间基底^[1]。实景三维技术凭借其准确反映现实世界的优势,在城市规划、智能交通、数字孪生等领域得到了广泛应用^[2-3]。然而,城市是一个动态发展的系统,建筑、道路等要素会随着时间发生变化,因此实景三维数据的时效性成为了一个重要挑战^[4-5]。及时更新实景三维数据对于保持其现实映射能力至关重要。青岛市于 2022 年完成实景三维青岛建设,形成了包括地形级、城市级在内的多张数据底图,并支撑了包括城市规划、自然资源管理等在内的 100 余项重点工作。随着时间的推移,实景三维青岛的现势性逐渐不满足使用需求,为保持数据的生命力,2023 年开展了实景三维青岛数据更新工作。在实景三维更新过程中,需要综合考虑成本、周期、效果等因素,已有实景三维底图数据的利用、更新数据与本底数据的协调一致性等是亟需解决的问题。

本文针对实景三维更新工作中的控制测量问题,提出了基于实景三维本底数据的特征像控库构建的更新思路,可提高城市级实景三维更新效率、降低更新成本。

1 研究方法

实景三维的底图数据利用问题与影像数据类似,曾有学者提出以定向参数已知的原始影像作为约束,可更好地保障定位精度,并成功应用于航空影像定位和 OrbView、WorldView 卫星影像的内方位定标^[6-9];张祖勋院士曾提出“云控制”摄影测量方法,充分利用数字正射影像、数字高程模型、数字线划图等数据代替外业控制点进行影像几何定位^[10],进一步提出了控制片的理论,以产生的空三加密点可作为新影像几何定位的控制点^[11-13],但是这一思路仅用于相机检校及影像处理,并未应用于实景三维生产。

实景三维特征像控库是由一系列包含特征信息和精准三维空间位置的像控点构成的。这些像控点来自于经过空中三角测量处理后,具有精确几何定位参数的影像及其空三加密点信息,因此可作为摄

收稿日期:2025-02-08;修订日期:2025-03-12;编辑:陶卫卫

作者简介:丁晓龙(1988—),男,山东青岛人,高级工程师,主要从事实景三维数据更新工作;E-mail:dingxiaolong317@126.com

*通信作者:孙洁(1987—),女,工程师,主要从事实景三维建模方面研究;E-mail:346404918@qq.com

影测量控制信息的影像数据。相比于传统控制点，其具有如下优势：①通过影像匹配算法自动匹配连接点，具有比较密集的控制信息；②算法可自动滤除掉模型上建模精度不高的点，选择精度较高的控制点，精度可靠；③在采集方面，相对于地面控制点而言，特征像控库仅通过内业即可获取，无需外业作业和人工刺点。

1.1 基于影像及实景三维的特征提取及匹配算法

特征像控库本底数据库的建库和查询阶段均依赖于特征提取及匹配算法，因此本项目基于 Super-

Point+LightGlue 深度学习特征提取及匹配算法，研究多期影像、模型数据特征点提取、同名点匹配算法，以实现特征像控库的快速提取及多期异源数据的快速匹配。SuperPoint 算法能够从图像数据中学习出对平移、旋转、光照变化等保持不变性的特征点，并给出每个特征点的位置和描述子。LightGlue 以 SuperPoint 检测到的特征点对为输入，利用光线几何约束和神经网络加速了传统的配准过程，从而实现了图像之间的精确对极几何估计。整体网络结构如图 1 所示：

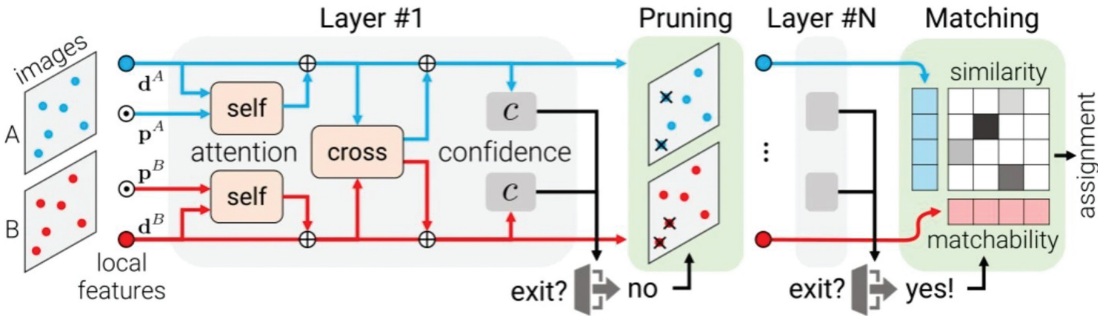


图 1 SuperPoint+LightGlue 整体网络结构示意图

LightGlue 是基于 SuperGlue 的，它预测从图像 A 和 B 提取的局部特征集之间的部分匹配关系。LightGlue 由 L 个相同的层组成，这些层共同处理 2 个特征集合。每个层由自注意力和交叉注意力单元组成，用于更新每个点的表示。一个分类器在每个层次上决定是否停止推理，从而避免不必要的计算。

1.2 实景三维特征像控库构建

实景三维特征像控数据库中的像控点可以看作是对地面控制点的加密，利用稀疏地面控制点生成密集数字控制点。这些密集数字控制点可以作为新影像几何定位的控制点，根据其记录的特征，可将它们匹配至新影像之中，以此完成控制点的自动“转刺”，从中为新影像自由网的加密点获取大量密集的控制信息。其构建流程如图 2 所示：

- (1)数据准备。准备本底三维模型数据、多视角倾斜影像资料、带连接点的空三加密成果。
- (2)特征点提取及特征库构建。基于 1.1 中描述的特征提取算法，对数据进行特征提取，构建实景三维广域像控本底数据库，作为无像控空三、配准、精度检测的依据资料。

1.3 实景三维特征像控库应用

- (1)无地面控制点的精确定向匹配。在新影像上提取特征点，通过自动影像匹配将提取的特征点匹配到周边的影像，从而获取连接点；通过将新影像的连接点与像控网本底数据库中的控制点进行查询匹配，获得新影像的自由网加密点的三维物方坐标，以此完成控制点的自动“转刺”；最后进行控制网空中三角测量，并生成三维模型。
- (2)多时相三维模型数据的精度检测。用高分辨率影像构建实景三维广域像控网本底数据库，可用于对低分辨率影像生成的实景三维模型进行精度评价，评估数据产品的质量和准确性。首先，在待评价数据的影像上提取特征点；通过将待评价影像的特征点与像控网本底数据库中的控制点进行查询匹配，获得待评价影像的特征点的三维物方坐标参考值；将待评价影像特征点在模型上的三维坐标和查询到的三维物方坐标参考值进行对比，得到精度检测结果。

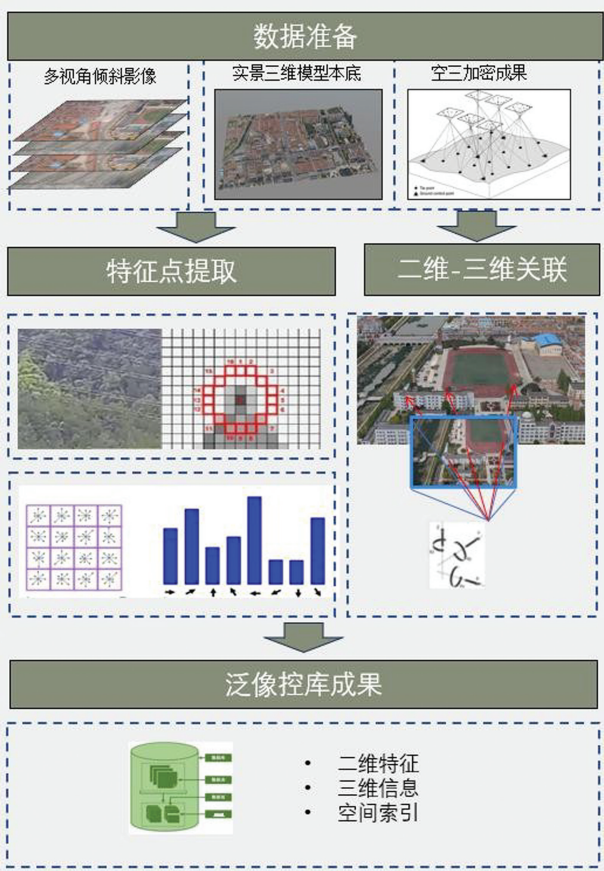


图 2 实景三维广域像控本底数据库构建流程

2 试验验证

选取了青岛西海岸新区泊里新城区域开展试验验证工作,该区域有 2020 年 3 cm 分辨率倾斜摄影数据、空中三角测量及模型成果,2022 年 3 cm 倾斜摄影数据。利用 2020 年数据作为本底数据,进行特征像控库构建,并利用特征像控库对 2022 年倾斜摄影数据进行无地面控制点的精确空中三角测量及建模。试验在配置有 3.8GHz Intel Core i7-9800X 处理器、NVIDIA GeForce RTX 3090 显卡的 Windows 系统上完成。

(1)特征像控库构建。通过读取 2020 年本底数据倾斜航摄影像、空中三角测量成果,构建特征像控库。该区域面积约 6 km²,参与构建特征库照片数量 22 539 张,通过算法提取特征控制点 125 万个如图 3 所示(绿色点位)。

(2)特征匹配及空中三角测量。将查询到的控制点生成刺点文件,直接导入重建大师软件,该软件可支持特征像控库的读取及与新影像的匹配,通过

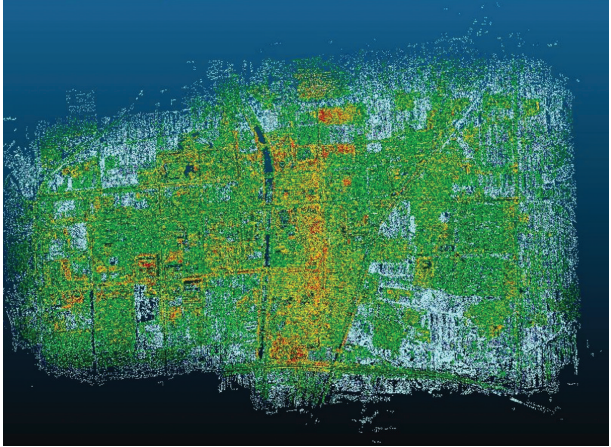


图 3 试验区域特征像控库提取

该软件可进行自动化绝对定向,而不需要进行手动像控点转刺。共查询匹配到可用控制点 2 884 个,并用人工检查点检查精度,具体分布如图 4 所示。基于特征像控点对 2022 年倾斜摄影数据进行无地面控制点的精确空中三角测量及模型重建,空中三角测量效率提升 40% 以上,大量减少了像控转刺、空中三角测量参数调整等问题,总体人工工作量减少了 80%。利用该区域实测的已知点进行精度检查,精度符合《城市测量规范》及项目的精度要求。检查结果如图 5 所示。

3 结语及展望

本文提出了一种基于特征像控库的构建方法、匹配方式以及在实景三维数据更新中的应用思路,通过实验结果表明,通过该方式可在本底影像及模型中提取海量的特征像控点,基于这些特征控制点可对更新数据进行无地面控制点的精确空中三角测量及模型重建,精度情况良好,通过高精度本底特征库的复用,解决了像控点变化大、重复利用难、绝对定向工作量大的问题。

随着实景三维中国建设进程的推进,越来越多的城市会面临实景三维数据更新的问题。在数据更新过程中,如果仍需重新测量控制点,内业花费大量精力进行像控点转刺、空中三角测量等工作,时间及人力投入将与建设阶段无异。如何更高效、更及时、更低成本地实现实景三维数据局部更新,是关乎未来实景三维可持续建设的一个关键命题。本文针对本底数据的利用及更新数据的精度控制而提出的特征像控库的方法,可为其他城市提供借鉴。基于本

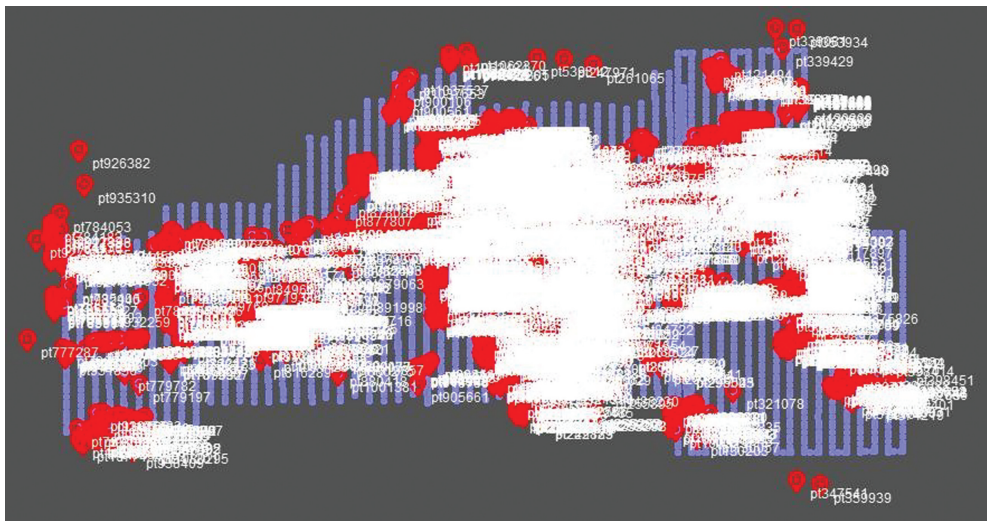


图 4 可用控制点分布

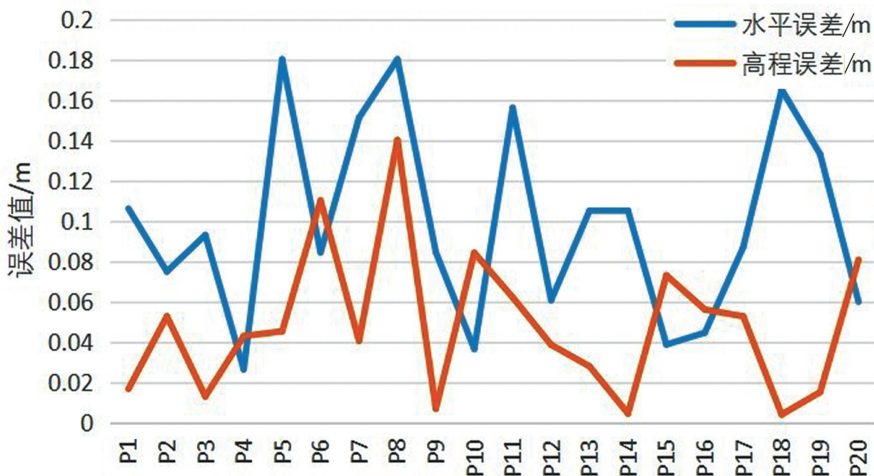


图 5 模型水平及高程误差分布

底数据的特征控制网技术方法不仅能实现控制的自动化,更重要的是新、老三维模型的套合比传统的点控制方法要更加精确,具备较大的推广应用潜力。

参考文献:

- [1] 自然资源部. 自然资源部全面推进实景三维中国建设[EB/OL]. (2022-03-01)[2023-07-01]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-03/01/content_5676226.htm.
- [2] 王瑞幺, 严荣华, 肖建华, 等. 国家新型基础测绘体系建设试点的进展与思考[J]. 地理空间信息, 2023, 21(7): 1-6.
- [3] 吴晓章, 王磊, 刘敏, 等. 多维实景模型动态更新和展示平台建设技术研究[J]. 测绘通报, 2022(S2): 291-296.
- [4] 刘先林. 中国实景三维建设的困境与建议[J]. 发展研究, 2023, 40(9): 1-8.
- [5] 王瑞幺, 肖建华, 严荣华, 等. 实景三维中国建设: 现状、挑战与展望[J]. 测绘学报, 2023, 52(1): 1-12.
- [6] 王瑞幺, 肖建华, 严荣华, 等. 实景三维中国建设: 现状、挑战与展望[J]. 测绘学报, 2023, 52(1): 1-12.
- [7] 王瑞幺, 肖建华, 严荣华, 等. 实景三维中国建设: 现状、挑战与展望[J]. International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, 2004, 35(B2): 34-38.
- [8] MULAWA D. Preparations for the On-Orbit Geometric Calibration of the OrbView 3 and 4 Satellites[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 33(B1): 209-213.
- [9] CHRIS C. DigitalGlobe Geometric Calibration[C]//ASPRS 2019 Annual Conference, Denver, CO, USA, 2019.

[10] 张祖勋,陶鹏杰.谈大数据时代的“云控制”摄影测量[J].测绘学报,2017,46(10):1238-1248.

[11] 张祖勋,段延松,陶鹏杰.从控制点到控制片[J].武汉大学学报(信息科学版),2023,48(11):1715-1723.

[12] 王皎.倾斜影像区块化自动整理方法研究与实现[J].山东国土资源,2020,36(6):63-67.

[13] 凌晓春,张金盈,杨金凤,等.实景三维山东建设关键技术研究[J].山东国土资源,2022,38(8):34-39.

A Real Scene 3D Updating Method Based on Feature Image Control Point Database

DING Xiaolong^{1,2},GAO Yunlong³,CHEN Zongqiang^{1,2},QU Yuehui^{1,2},SUN Jie^{1,2}

(1. Qingdao Surveying and Mapping Institute, Shandong Qingdao 266000, China; 2. National—local Joint Engineering Research Center of Integration and Application of Marine—terrestrial Geographical Information, Shandong Qingdao 266000, China; 3. Wuhan Daspatial Intelligence Technology Limited Corporation, Hubei Wuhan 430079, China)

Abstract: In the process of updating realistic 3D City, it is difficult to utilize background data. Image control points are usually dominated by image control targets and road markings, which vary greatly, leading to the risk of data reuse and difficulty in unifying the accuracy of two phases of results. A concept for constructing a feature image control library based on real scene 3D background data has been proposed. By utilizing real scene 3D background data, the positions and feature information of key points have been to extracted, and a feature image control library has been constructed. During the process of updating data for aerial triangulation, dense digital control points have been extracted from the feature image control library, and the accuracy and pass rate of aerial triangulation have been improved. By experimental verification and extraction of image and model feature points, a feature image control library has been constructed. It can effectively solve the inconsistent accuracy caused by changes in image control points, reduce the measurement and stitching time of image control points significantly, improve the automation level of aerial triangulation, and ensure the continuity of the real scene 3D updating process.

Key words: Real scene 3D; feature image control library; dense digital control points; west coast in Qingdao city