DOI:10.13203/j.whugis20240480 文章编号:1671-8860(2025)03-0616-01

基于亚米级立体卫星影像的三维地形智能提取

郑 志 香港中文大学地理与资源管理学系,香港,999077

Intelligent Extraction of 3D Terrain Based on Sub-meter Satellite Stereos

ZHENG Zhi Department of Geography and Resource Management, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China

中图分类号:P237 文献标识码:D

实景三维中国建设近年来发展迅速,测绘遥感技术是实景三维建设的关键支撑技术,为地形级或城市级实景三维建设提供地理空间基底,如数字表面模型(DSM)和数字高程模型(DEM)等。因而,如何提取高精度三维地形,是确保实景三维准确性的关键问题。

相较于其他遥感数据源,立体卫星影像具有获取成本低、灵活性高、重访周期短、覆盖面积广等独特优势。因此,采用立体卫星影像提取高分辨率、高精度、大范围的三维地形,在效率和经济性方面均具有明显优势。目前由立体卫星影像提取大规模三维地形的基本流程已相对成熟。但在处理算法层面,现有密集点云生成算法和商业软件普遍存在误匹配率较高、特征不明显区域精度较低等问题;DEM提取算法则大多遵循先分类、后内插的处理模式,普遍面临地面点严重缺失区域效果较差和地形复杂区域需反复调整算法参数等问题。深度学习的迅速发展为基于立体卫星影像提取大规模地形带来了新的契机,但现阶段仍面临密集点云生成数据集少、密集匹配网络能力不足、泛化能力差、DEM提取效果不稳定等诸多难点。

围绕"数据集构建-密集匹配网络设计-泛化能力提升-DEM智能提取"的处理思路,系统研究以深度学习算法为处理核心的三维地形智能提取技术。主要研究内容与创新性成果如下:

1)构建纳入语义信息约束的密集匹配数据集。密集匹配数据集一般通过计算三维空间点在立体影像上的投影偏差得到。若立体影像或三维空间点的精度较差,或二者间存在获取时间差异引致的地物变化,都会导致投影误差。通过纳入语义信息约束消除潜在投影误差,可实现密集匹配数据样本的快速增量式扩充。

2)设计基于混合特征的密集匹配网络。传统密集匹配算法普遍存在误匹配率高等问题。提出基于混合特征的密集匹配网络,通过设计差异化特征提取器和高低维交互的代价积聚模块降低误匹配率,有效提升了密集匹配整体性能。其中,差异化特征提取器实现影像结构语义特征的解缠,增强网络表达能力;代价积聚模块快速过滤大量错误匹配并加速网络收敛。

3)提出基于结构对比增强的泛化能力提升方法。深度学习密集匹配算法在跨传感器使用时泛化能力差是限制其应用的主要限制之一。首先通过分析实验明确了影响密集匹配算法泛化能力的主要影响因子,而后引入对比学习策略强化匹配过程的结构一致性特征表达并削弱语义信息差异干扰。将该方法应用于所提密集匹配网络,能有效提升其跨传感器泛化能力。

4)发展基于高程隐式拟合的DEM智能提取技术。将DEM提取问题转换为DSM与DEM的高程残差拟合问题,规避了对地面点数量和分类精度的依赖、缓解了地面点严重缺失区域和复杂地形提取效果不佳问题。通过高程回归网络实现残差隐式表达,突破了传统方法需根据地形反复调整参数的限制。在多重约束下优化初始拟合高程并修正提取不充分和失败区域,可有效提升DEM提取结果平整度。

结合构建的数据集和提出的系列算法,设计了以亚米级立体卫星影像为主要处理对象的三维地形智能提取处理流程并编写软件。在GF7数据上进行了完整流程测试,并对Pleiades、高分多模、WorldView等立体卫星影像开展了应用测试。、方法可以有效降低匹配困难区域DSM生成的误匹配率并提升DEM提取精度,实现高精度三维地形智能提取。

作者简介:郑志,2023年6月毕业于武汉大学,获工学博士学位(指导教师:张永军教授),研究方向为高分辨率卫星影像处理,三维重建和灾害遥感。zhizheng@cuhk.edu.hk

引文格式:ZHENG Zhi.Intelligent Extraction of 3D Terrain Based on Sub-meter Satellite Stereos[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2025,50(3):616.DOI:10.13203/j.whugis20240480.(郑 志.基于亚米级立体卫星影像的三维地形智能提取[J].武汉大学学报(信息科学版),2025,50(3):616.DOI:10.13203/j.whugis20240480.)