DOI:10.13203/j.whugis20260112 文章编号:1671-8860(2026)06-1283-01

集成多源数据与地学知识的数字高程模型质量提升方法

张鑫港 南京大学地理与海洋科学学院,江苏 南京,210023

Digital Elevation Model Quality Improvement Methods Integrating Multi-source Data and Geographic Knowledges

ZHANG Xin'gang School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China

中图分类号:P237 文献标识码:D

数字高程模型(digital elevation model, DEM)是地球表面三维地形的数字化表达,是自然资源三维表示的核心基础数据。现有主流开源DEM产品存在以下3个方面的质量问题:(1)数据伪影问题,如镶嵌边界处的阶梯状不连续、雷达阴影区的数据空洞以及非系统性异常凹凸等,这些伪影常与真实地形特征混淆,严重削弱了DEM对地貌形态的真实刻画;(2)垂直精度不足,如黄土高原先进星载热发射和反射辐射计V3的垂直误差可达±15 m,并且各个开源DEM在不同地理位置的误差不一致性尚未量化;(3)空间分辨率受限,当前普遍采用的1 rad(约30 m)分辨率DEM难以捕捉微地貌单元的地形特征,限制了其在精细化地学应用中的效用。针对上述问题,该文研究了DEM质量提升的关键技术与方法,构建了集成多源数据与地学知识的DEM质量优化系统方案,在黄土高原全域开展了"智能化伪影检测—最优地形集成—超分辨率重建"系统性研究与应用。主要创新点如下:

1)针对传统DEM伪影检测方法智能化不足的瓶颈,构建了集成多类地貌特征的分析体系,提出集成多类地貌特征的TanDEM-X伪影智能检测方法,克服了传统方法在识别精度和自动化水平上的局限性。通过融合地表粗糙度、曲率特征、几何方位等12类定量化指标,建立了基于机器学习的伪影识别模型,实现了对阶梯状不连续、数据空洞等典型伪影的自动化检测。方法采用CatBoost分类算法,在TanDEM-X系列产品中取得96.8%的检测精度,较传统方法提升显著。实验表明,高分辨率TDX30(TanDEM-X 30 m EDEM)数据较TDX90(TanDEM-X 90 m DEM)导致伪影区域增加近80%,揭示分辨率提升与伪影生成的正相关特性。通过构建卫星观测参数与地形特征的耦合模型,发现伪影集中分布于35°~55°坡度区间,且东西向坡面出现频率较南北向高,这与TanDEM-X的极地轨道参数及右侧观测模式存在显著关联。

2)针对现有DEM垂直精度不足、已有方法高程可溯源性不足的局限,提出融合多源DEM的自适应最优地形检索方法,将星载LiDAR高程基准的动态标定功能与多源DEM局部精度优势相结合,构建了最优地形自适应融合体系,有效改善了复杂地形区域的精度缺陷。建立的考虑空间距离的逐像元误差统计模型,提高了无激光雷达覆盖区域的精度估计可靠性。通过多源DEM数据的优势互补实现了逐像元的最优融合,生成了OTRDEM(optimal terrain retrieved DEM)产品,在黄土高原区域的平均绝对误差和均方根误差分别降低了25.71%和25.40%。相较于现有最优产品,尤其在地形复杂和植被密集的区域,改进效果尤为显著。该策略不仅提高了DEM融合精度,更为数据可信度和完整性提供保障。

3)针对DEM超分辨率依赖高分辨率样本约束的共性难题,提出了地学知识引导的深度自监督重建方法,通过耦合地形物理规律与深度学习先验知识,构建了具有完全自主迭代能力的编码器-解码器架构,成功实现无需参考样本的分辨率提升。该方法构建了地形梯度约束与深度先验融合的编码器-解码器架构,通过完全自我迭代学习的机制,在黄土高原区域成功将OTRDEM数据的分辨率从30 m提升至10 m,并生成了SR-OTRDEM(super-resolved OTRDEM)。此外,在全球不同区域(落基山脉、阿尔卑斯山脉、雅鲁藏布江流域)开展了5 m、10 m和30 m的2倍、3倍和4倍超分辨率实验。实验结果表明,使用该方法生成的10 m分辨率DEM在地形细节的表达上具有显著改善,其效果与传统的全监督方法相当,为DEM超分辨率重建提供了新的技术路径。

作者简介:张鑫港,2025年6月毕业于南京大学(指导教师:杜培军教授、郭山川副研究员),研究方向为地理大数据与空间智能。zhang_xg@smail.nju.edu.cn

引用格式:ZHANG Xin'gang.Digital Elevation Model Quality Improvement Methods Integrating Multi-Source Data and Geographic Knowledges[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2026,51(6):1283.DOI:10.13203/j.whugis20260112.(张鑫港.集成多源数据与地学知识的数字高程模型质量提升方法[J].武汉大学学报(信息科学版),2026,51(6):1283.DOI:10.13203/j.whugis20260112.)