DOI:10.13203/j.whugis20260001 文章编号:1671-8860(2026)03-0631-01

光学/SAR遥感影像建筑物损毁检测提取方法研究

张海明 武汉大学测绘遥感信息工程全国重点实验室,湖北 武汉,430079

Research on Building Damage Detection and Extraction Methods Using Optical/SAR Remote Sensing Imagery

ZHANG Haiming State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

中图分类号:P237 文献标识码:D

在灾害发生后迅速评估损害,对于发起有效应急救援行动和调查财产损失至关重要。光学/SAR遥感影像突破了单一传感器限制,可提供多模态、丰富地物属性的互补信息,是遥感对地观测技术的重要数据支撑。然而,对于基于光学/SAR双时相遥感影像的损毁建筑物检测提取这类具体任务,在损毁建筑物目标级检测识别、损毁区像素级分割提取、光学-SAR异源影像损毁区像素级分割提取以及多源影像条件下检测识别和分割提取双任务一体化集成方面仍存在一些待解决问题:(1)已有的变化检测方法多以生成像素级的掩膜为任务导向,而关注损毁建筑物整体位置所在的目标级检测识别方法仍未得到充分研究;(2)地震、战争等应急条件下更容易出现多传感器或多角度成像、天气或气候变化等复杂和多样的光学影像条件,在较恶劣影像条件下有效建模损毁特征、保证建筑物损毁像素级分割提取的模型鲁棒性和精度面临挑战;(3)在灾害应急等特殊情况下,需要联合处理光学和SAR影像,如何充分发挥光学影像数据优势、保持SAR影像原始数据结构、提取异源影像间的一致性损毁特征表示并有效对齐特征等问题有待解决;(4)进行灾害的综合性研究时,需完成损毁建筑物的一体化分析、评估,这要求同时进行检测识别和分割提取工作,在一个模型下统一两项任务,并顾及光学-光学、光学-SAR多源影像条件,存在模型结构合理化设计、跨任务耦合算法创新等技术难点。针对以上问题,该文的主要研究及创新如下:

1)系统梳理了损毁建筑物检测提取任务的特点及主要挑战,从技术和数据层面凝练了需迫切解决的关键难点,基于目标检测和变化检测两个研究大类明确了该研究的定位和价值,在概述国内外研究现状基础上设计了研究思路和框架。

2)针对一般变化检测无法进行损毁建筑物目标级快速检测识别的问题,从目标检测的角度定义了一种新的损毁建筑物变化检测模式,该模式以有效感知变化信息、快速发现损毁建筑物整体目标位置为任务导向;设计了一种目标导向的损毁建筑物检测识别网络模型,它以发现损毁建筑物的矩形框位置为任务驱动,能够通过双路径模块提取双时相影像的基础特征,并在双向金字塔特征聚合模块中深度压缩和建模损毁特征;构建了交叉信息自注意短路增强模块,通过特征自循环的方式对变化感知特征进行高效自注意信息强化,以提高特征对损毁目标区的语义和定位强表征能力;构造了一种全球尺度的损毁建筑物目标检测数据集,以及3种普通变化建筑物的目标检测数据集。与大量目标检测和变化检测方法就模型效率、精度和泛化能力进行了对比,证明了模型和模块的有效性、目标导向变化检测工作模式的可行性以及数据集的价值。

3)针对高分光学影像自身多样性和复杂性给建筑物损毁像素级分割提取造成的特征难建模、精度受限的问题,以人脑对图像的感知和理解过程为依据,设计了一种具备孪生、残差和Transformer学习路径的多端复合型高阶注意力网络模型。模型不同的编码方式模仿人脑不同的思维端,具有强大的数据感知和挖掘能力,可从多种影像组合形态中捕获关键损毁信息。复合解码端汇聚各层语义信息并作统一映射,对目标域信息可分性进行充分建模;设计了一种新的高阶注意力机制,保障各层特征对于损毁信息具有较高的语义一致性,对各编码端的各层进行自适应的特征细化;构造了全球尺度建筑物损毁像素级变化检测数据集。在自制数据集、xBD数据集及4种变化检测数据集上进行了实验,验证了模型及各模块的有效性和模型的实用价值。

4)针对光学-SAR异源影像成像机理和分辨率差异造成的一致性损毁信息难提取、数据结构破坏性大、特征难对齐的问题,引入智能系统多模态感知、数据融合、智能信号提取和处理的思想,设计了一种跨模态、分辨率保持、多层次信息交互与融合的网络模型,网络主体分横向和纵向两个维度,分别进行特征的多尺度分辨率保持和融合以及深度挖掘,能够充分发挥光学影像的数量和分辨率优势,并在保持原有数据结构前提下有效提取SAR影像特征;构建并行化特征交互模块,可充分细化光学和SAR数据特征的一致性表示,收集了地震和战争冲突背景下的光学-SAR-光学遥感影像,制作了两种异源建筑物损毁分割提取数据集。在8种数据集上与10种监督和非监督方法进行了对比分析,结果证实了该模型优异的定性和定量表现。

5)针对目标检测和变化检测难耦合造成的不能同时确定损毁建筑物目标位置和变化细节的问题,设计了一种整合目标检测和变化检测的跨模态、跨任务一体化网络模型,这是一种新型的深度学习双任务架构,一致性编码器可建模双时相影像间的差异性特征关系,分化解码器可并行执行端到端的像素级预测和目标矩形框位置回归;设计了一种双向牵引的跨任务全局注意力聚合模块,可以利用目标级的相对位置信息与像素级的绝对定位信息,进行自注意误差修正和任务间相互促进;构造了5种面向损毁或变化建筑物的双任务数据集。从目标检测、变化检测以及实例分割3个层面,利用18种对比方法进行实验,证明了该模型的显著性能。

作者简介:张海明,2025年6月毕业于武汉大学,获工学博士学位(指导教师:马国锐研究员),研究方向为遥感影像智能化处理。zhanghaiming@whu.edu.cn

引文格式:ZHANG Haiming.Research on Building Damage Detection and Extraction Methods Using Optical/SAR Remote Sensing Imagery[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2026,51(3):631.DOI:10.13203/j.whugis20260001(张海明.光学/SAR遥感影像建筑物损毁检测提取方法研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2026,51(3):631.DOI:10.13203/j.whugis20260001)