DOI:10.13203/j.whugis20260105 文章编号:1671-8860(2026)05-1071-01

滑坡灾情无人机轻巧感知系统

陈琳 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 战新产业研究院,四川 成都,610072

Flexible and Lightweight Perception System for Landslide Hazard Using Unmanned Aerial Vehicles

CHEN Lin PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu 610072, China

中图分类号:TP237 文献标志码:D

地震或强降雨引发的滑坡通常会导致大范围路桥损毁,尤其是交通中断严重阻碍了救援行动的开展。尽管无人机倾斜摄影测量技术因低成本、便携、高时效等优势被广泛应用于应急测绘任务中,但当前灾情解译需生成数字正射影像后再进行半自动化交互,这种离线作业方式任务链条长、耗时,且依赖高性能工作站,难以满足动态滑坡快速应急决策需求。因此,快速、精准地提取滑坡边界、规模及方量等关键灾情信息对抢险保通至关重要。为此,该文设计并研制了滑坡灾情无人机轻巧感知系统FLASH,实现了从影像拍摄到关键灾情信息提取的全流程自动化。主要研究内容如下:

1)提出环境感知的无人机滑坡样本定向生成式增强方法。针对现有开源滑坡数据匮乏、分辨率低,且现有滑坡生成方法存在随机、无序的局限,构建了涵盖21个不同地质条件的无人机滑坡数据集;在此基础上,提出基于稳定扩散模型框架的环境感知定向样本生成模型。模型训练阶段利用语义掩膜引导和参考影像语义向量约束,零样本自监督训练即可激活模型的定域编辑与风格调节能力;推理阶段引入地形约束,确保滑坡生成方向与地形逻辑一致,最终实现在易混淆场景中定制化生成"区域-风格-方向"可控的逼真滑坡样本,为滑坡高精度分割提供多样化数据基础。

2)提出融合局部与非局部注意力特征的滑坡语义分割模型。针对现有方法难以兼顾全局与局部信息提取,导致裸土与滑坡光谱混淆及分割掩膜空洞的问题,在残差网络中嵌入非局部与局部特征提取模块,通过自适应权重融合实现浅层高分辨率特征与深层语义特征的跨尺度协同,缓解了领域差异造成的精度下降问题。此外,构建了数据-算法协同增强策略,将分割掩膜反馈至样本生成模块形成迭代优化,解决了因"领域差异"导致模型泛化性骤降的问题。该方法在无人机影像提取上性能突出,在0.8 m分辨率的卫片上仍保持85.22%的分割精度,具备跨分辨率泛化能力。

3)提出顾及空间信息的轻量非对称式滑坡实时提取方法RepFlash。针对现有模型计算复杂度高、难以部署于边缘设备的问题,采用结构重参数化主干网络,解耦训练与推理阶段,兼具大模型的高精度表征能力与小模型的低延迟推理速度;设计线性复杂度$O(n)$的全局特征提取模块替代传统自注意力机制,大幅降低计算开销。该方法在保持高精度的同时,将无人机影像推理延迟降至78.88 ms,实现了边缘设备端无人机滑坡实时提取,支撑了"边飞-边提"的应急响应模式。

4)研制了FLASH系统,硬件采用模块化感算一体化设计,集成了视觉、边缘计算等多传感器模块,载荷峰值功率为25 W,质量仅500g;算法部分,深度集成部署了轻量分割、语义检索与靶向重建算法,构建了机上"采集-分割-重建-解译"全流程自动化。系统利用深度语义关联图约束智能甄选关键影像,实现了影像毫秒级推理、滑坡体秒级三维重建及关键灾情信息高效量化(位置、规模、方量),探索了"边飞-边提"应急新范式的工程化实践,并在松潘滑坡落地验证。

作者简介:陈琳,2025年6月毕业于西南交通大学,获工学博士学位(指导教师:朱庆教授),研究方向为无人机智能感知、边缘计算、滑坡识别。chenlin@my.swjtu.edu.cn

引文格式:CHEN Lin.Flexible and Lightweight Perception System for Landslide Hazard Using Unmanned Aerial Vehicles[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2026,51(5):1071.DOI:10.13203/j.whugis20260105.(陈琳.滑坡灾情无人机轻巧感知系统[J].武汉大学学报(信息科学版),2026,51(5):1071.DOI:10.13203/j.whugis20260105.)