

doi: 10.6046/zrzyyg.2022013

引用格式: 李晨辉, 郝利娜, 许强, 等. 面向对象的高分辨率遥感影像地震滑坡分层识别[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(1): 74-80. (Li C H, Hao L N, Xu Q, et al. Object-oriented hierarchical identification of earthquake-induced landslides based on high-resolution remote sensing images[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(1): 74-80.)

面向对象的高分辨率遥感影像地震滑坡分层识别

李晨辉¹, 郝利娜^{1,2}, 许强², 王 一¹, 严丽华¹

(1. 成都理工大学地球科学学院, 成都 610059; 2. 地质灾害防治
与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

摘要: 地震滑坡是不可忽视的地震次生灾害, 往往造成极大的人员和财产损失, 遥感识别地震滑坡是震后灾害调查和灾情评估的重要手段。文章以 GF-1 遥感影像为数据源, 采用面向对象的分类方法对九寨沟熊猫海区域进行地震滑坡识别。基于多尺度分割和多条件阈值分类构建地震滑坡分层识别规则集, 旨在充分利用地物特征, 减少光谱相似地物的混分现象, 提高滑坡识别精度。结果表明: 共提取熊猫海景点附近滑坡面积约 2.18 km², 整体识别精度达到 98.11%。该方法可快速获取识别地震滑坡, 且识别精度高、识别规则具有适用性, 为震后灾害应急调查和灾损快速评估提供参考和依据。

关键词: 地震滑坡; 面向对象; 滑坡分层识别; 坡度变率

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-035X(2023)01-0074-07

0 引言

青藏高原东缘位于二三级阶梯交界地带地形地貌复杂、地质构造活跃, 常引发群体性的滑坡灾害。据统计, 2008 年汶川地震, 触发的崩滑流总计超过 10 万处, 造成严重的人员、财产损失^[1]; 2013 年芦山地震, 地震烈度虽然低于汶川地震, 但仍然触发了大量崩塌、滑坡和泥石流, 造成多地受灾和人员伤亡^[2-3]; 2017 年四川省北部九寨沟县发生 7.0 级地震, 触发了数千处崩塌和滑坡地质灾害, 对九寨沟景区内多处景观及道路造成严重破坏, 导致 25 人死亡, 525 人受伤, 76 671 间房屋损坏, 总经济损失达到 1.4 亿元^[4]。由地震诱发的滑坡灾害具有规模大、分布范围广、破坏性强的特点, 给灾后应急救援、灾害快速评估及调查带来了巨大挑战^[5-6]。快速而准确地获取滑坡信息是进行应急救援和灾害分析、评价的基础^[7]。传统的野外调查方法受到灾后道路中断和高山险阻的影响, 且耗时费力获取滑坡信息速度慢。遥感综合识别方法依托遥感影像可在短时间内快速获取滑

坡信息, 因此在灾害应急和灾损快速方面得到广泛的应用^[8]。

影像分类与信息提取是遥感综合识别技术的关键, 影像分类方法主要包括基于像元的方法和面向对象的方法。基于像元的方法以光谱信息为主要依据进行分类^[9-12]。随着高分辨率影像的广泛应用, 地物的纹理、结构等空间信息更加丰富, 面向对象的分类方法被广泛关注。该方法可充分利用影像的多种信息, 先将同质性强的像元集合作为新的对象, 再基于对象进行分类, 从而更契合人类的认知模式^[12]。

近年来, 面向对象的影像分类方法应用广泛, 国内外许多专家学者利用面向对象的方法提取滑坡信息, 对滑坡进行编目。Martha 等^[13-15]采用面向对象的分析技术, 根据分割对象的光谱特征和地形特征, 提出基于多特征组合的滑坡识别方法; 杨文涛等^[16]在分割分类过程中考虑滑坡发生的机理, 提出一种基于地形因子的滑坡分割分类算法; 彭令等^[17-18]以高分辨率遥感影像为数据源, 利用面向对象的方法对汶川县由地震引发的滑坡进行分层识别。上述研究均采用面向对象的方法, 有效提高了

收稿日期: 2022-01-12; 修订日期: 2022-05-04

基金项目: 国家重点研发计划课题“重大崩塌灾害危险源识别指标体系研究”(编号: 2021YFC3000401)、中国博士后科学基金特别资助项目“重大工程背景下黄土高原生态地质环境脆弱性评价”(编号: 2020T130074)和四川省自然资源厅 2021 年四川省地质灾害隐患遥感识别监测项目“川南片区地质灾害隐患遥感识别监测”(编号: 510201202110324)共同资助。

第一作者: 李晨辉(1995-), 男, 硕士研究生, 主要从事地质灾害识别研究。Email: 1281952231@qq.com。

通信作者: 郝利娜(1982-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为遥感地学应用。Email: hao_ln@qq.com。

滑坡识别精度,极大地推进面向对象分类方法在滑坡自动识别的应用。然而,当前方法主要利用影像单一地物的各种特征信息,并未将滑坡与相邻地物看作整体进行有效识别,对明确地物边界的混分问题讨论较少^[13-18],尤其是滑坡分层识别过程中特征相似地物的混分,如水体和阴影的混分问题、滑坡边界上植被与裸土混分的问题等,这类问题是影像分类的难点,也是影响滑坡边界识别的关键问题。而相关地物的识别精度对地质灾害易损性评价具有重要意义^[19],特别是影响评价因素中的物质因素和环境因素^[20]。

因此,本文在深入分析灾害特征及地物相关性的基础上,采用面向对象的分类方法进行影像信息提取,通过多尺度分割和多条件阈值分类方法构建滑坡分层识别规则,分析滑坡对象和周围地物的划分阈值进而实现对地震滑坡的准确提取。探究面向对象的分类方法在地震滑坡快速识别中的适用性,提出适合西南山区地震滑坡的高分辨率影像提取的分层分类方法。

1 研究区概况及数据源

本文选取四川省阿坝藏族羌族自治州九寨沟风景区熊猫海周围山区为研究区,面积约 14.07 km²,如图 1 所示。该区域地处高原向盆地的过渡地带,地形地貌复杂,多为高山峡谷地貌;地势西北高、东南低,最高处 3 825 m,最低处 2 431 m^[21],区域高差大;区域地质构造活跃,地震诱发灾害分布密集。图 1 显示,“8·8”地震导致熊猫海两侧山体引发大量山体滑坡,呈现明显的连片状分布。

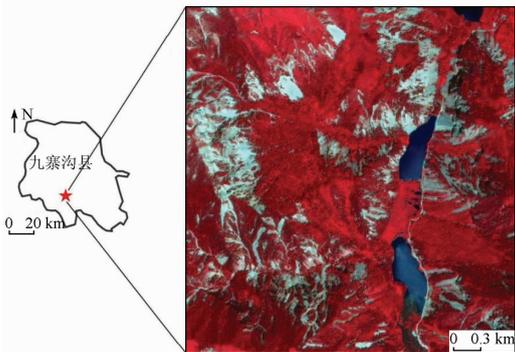


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of the research area

研究选用 GF-1 影像数据,拍摄时间为 2019 年 8 月 16 日,全色和多光谱波段空间分辨率分别为 2 m 和 8 m^[22]。数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据来源于 ALOS 卫星(ASF Data Search,

<https://search.asf.alaska.edu/>),分辨率为 12.5 m,共计 1 景。

2 研究方法

2.1 技术流程

本文以 GF-1 卫星影像为数据源,利用 ENVI 软件对影像进行预处理操作,然后基于 eCognition 平台采用多尺度分割和多条件阈值分类方法,加入地形特征信息,构建滑坡分层识别特征规则集;最后利用构建的规则识别地震滑坡对象并进行精度评价。图 2 为主要方法流程。

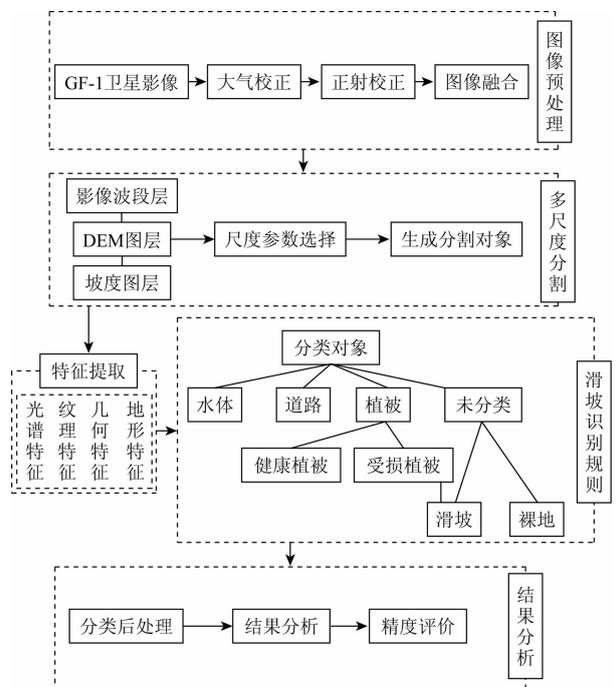


图 2 研究方法流程图

Fig. 2 Flowchart of the research methods

2.2 多尺度分割

影像分析要求分割对象同时具备相似性和不连续性两大特征。相似性是指影像中被划分为同一类的对象内的所有像元,都有某方面的一致性,比如纹理、灰度、色度等特征,而不连续性是指相邻对象的特征具有差异性^[23]。多尺度算法分割是最常用的分割算法之一,其优点是分割结果与地物自然边界比较贴合,它是一种自下而上的区域合并技术,在特定尺度下局部最小化分类对象的异质性^[24]。

分割参数决定着影像分割的质量,影像分割质量越高,影像分类精度越高。本文在进行多尺度分割时,将研究区的高程和坡度信息作为单独的图层加入到多尺度分割过程中,根据不同的地物特征采用不同的分割尺度,经过反复实验得到不同地物的分割参数(表 1)。

表 1 地物分割参数表

Tab. 1 Features segmentation parameter table

分类对象	分割尺度	分割参数		
		异质性标准		
		光谱权重	形状标准	
光滑度	紧致度			
水体	240	0.9	0.5	0.5
道路	70	0.2	0.8	0.2
植被	30	0.9	0.5	0.5
滑坡和裸地	150	0.5	0.5	0.5

2.3 特征提取

地震滑坡通常具有规模大、连片性强等特点,在影像上整体表现为色调较浅、纹理清晰、形状差异明显等特征。研究区植被茂盛,滑坡类型以崩滑为主,滑坡区岩土体充分暴露,为滑坡信息提取提供了良好的条件^[15]。滑坡对象的特征要素包括光谱、几何和地形等特征。本文使用的光谱特征包括近红外波段(NIR)、均值(Mean)、亮度值(Brightness)以及光谱派生特征——归一化水体指数(normalized difference water index, NDWI)和归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI); 几何特征包

含影像对象的形状、大小等信息,适用于区分光谱特征相似而几何形状差异明显的对象,本文主要采用面积(Area)和长宽比(Length/Width); 地形特征有DEM及其派生的坡度、坡度变率等因子,反映影像对象的空间位置信息。

2.4 地震滑坡分层识别规则

由于地震滑坡的特殊性,本文研究对象以植被遭到破坏、岩土裸露的滑坡和崩塌为主体。受地质构造、地形地貌以及强震剧烈能量释放的影响,地震滑坡具有形态复杂多样、区域连片性广、面积规模差异明显等特征,利用单一地物特征规则直接识别难度极大。分层识别规则是将目标对象以外的地物通过特征差异逐层剔除,建立在地物空间相关性上,减少滑坡对象识别过程中与相邻地物边界误分和相似地物混淆的现象,进而提高滑坡识别精度。通过分析研究区 GF-1 影像上不同地物的光谱和形状特征,同时结合地物的内部属性和空间关系,选择光谱、形状、纹理、地形等特征参数,利用多条件阈值分类建立地震滑坡分层识别规则集(图 3)。

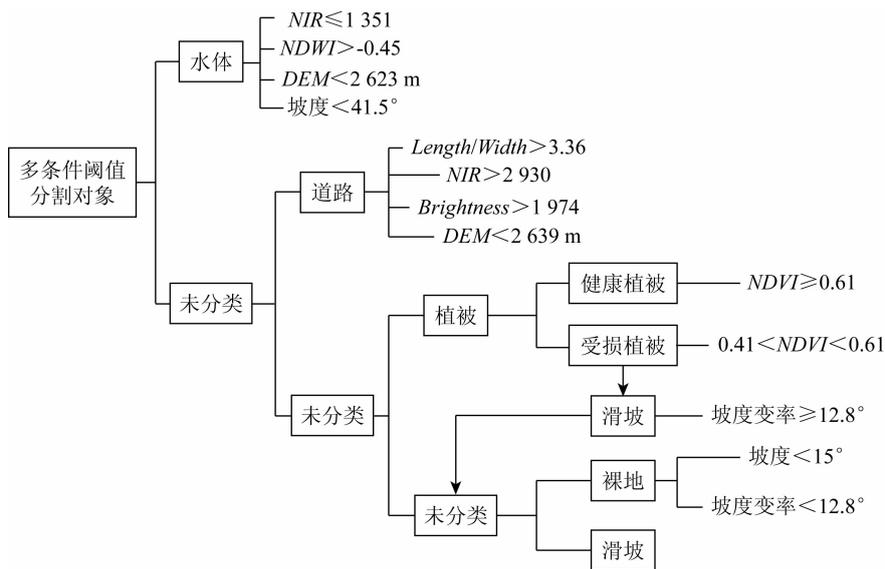


图 3 地震滑坡分层识别规则集

Fig. 3 detection of landslide set of rules

3 滑坡分层识别过程

分层识别方法以目标地物(滑坡)与其他地物的相关性为依据,将其他地物逐层剔除最终获得目标地物,可以有效利用地物相关性和影像信息,提高识别精度。本文先将与滑坡相关性较低的水体、道路剔除,提出利用分割尺度和地形特征解决水体和阴影混分问题;再利用植被特征将植被分为健康植被和受损植被,受损植被再次参与分类,目的是解决植被与滑坡边界重叠、难以区分的问题;最后将裸

地、河漫滩等与滑坡光谱特征相似的地物剔除,最终获得地震滑坡对象。

3.1 阴影混分和水体识别

研究区水体以面状湖泊为主,其光谱特征虽然具有很高的辨识度,但水体和阴影光谱特征相似,容易混分而影响地物边界提取。经过多次实验发现,当尺度分割参数为 240 时,分割对象即保证水体边界真实准确,又最大限度地减少小规模阴影的混分。在相同的阈值条件下,分割尺度越小,水体和阴影的混分现象越严重。构建水体识别规则的特征变量选取 NDWI 和 NIR,同时加入地形特征 DEM、坡度和

山体阴影参与分类,最终得到无阴影错分的水体信息,结果如图 4 所示。

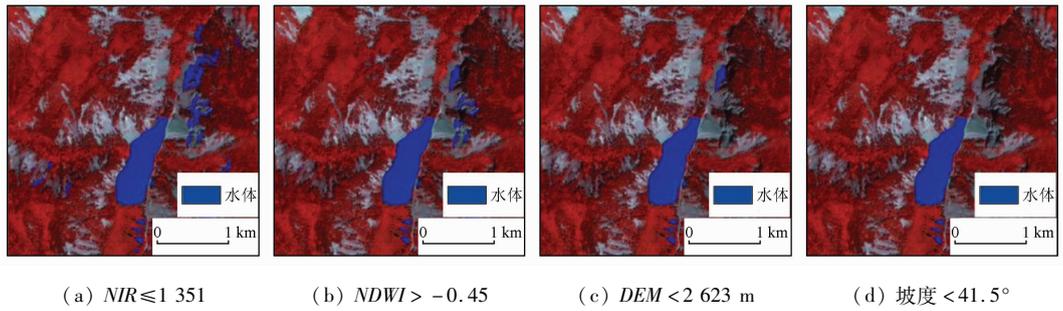


图 4 水体识别规则过程
Fig. 4 Water identification process

3.2 提取道路

与其他研究者采用滑坡分层识别方法时,将植被置于道路之前提取不同^[15-17],本文在提取水体之后,选择道路作为第二个分类对象。影像分析显示,研究区道路两侧植被茂密,可能出现植被覆盖路面,造成道路的光谱特征被植被光谱代替的情形,因此导致道路提取不完整。如果先进行植被识别,容易将部分道路混分为植被,故先提取道路信息。由于道路和滑坡的光谱特征接近,但其形状为长条带状,且长度远大于宽度,曲率也有一定限制,因此可以通过形状特征和亮度特征先提取道路。将未分类的对象重新分割,分割尺度为 70,形状权重为 0.9、紧致度权重为 0.5,选取光谱特征 NDVI、NIR 以及亮度值,同时结合长宽比和 DEM 完成道路提取。

3.3 区分健康植被和受损植被

由于研究区植被茂密,多数滑坡直接表现为植被受损导致岩土裸露,故两者的空间位置相关性最高。为尽可能精细地分割植被,以提高植被与滑坡接触边界的准确度,对未分类对象采用分割参数为 30 的小尺度进行分割,植被的特征变量选择 NDVI 指数。分析研究区内植被光谱特征发现,当 $NDVI \geq 0.61$ 时,植被完整茂密且附近无滑坡、崩塌等裸露地表,将这类植被称为健康植被;当植被 NDVI 值介于 $0.41 \sim 0.61$ 之间,且多分布在裸露地表周围时,主要为滑坡破坏的植被,称为受损植被(图 5)。因此,利用 NDVI 特征值分别提取健康植被和受损植被,而受损植被用于后续滑坡提取。

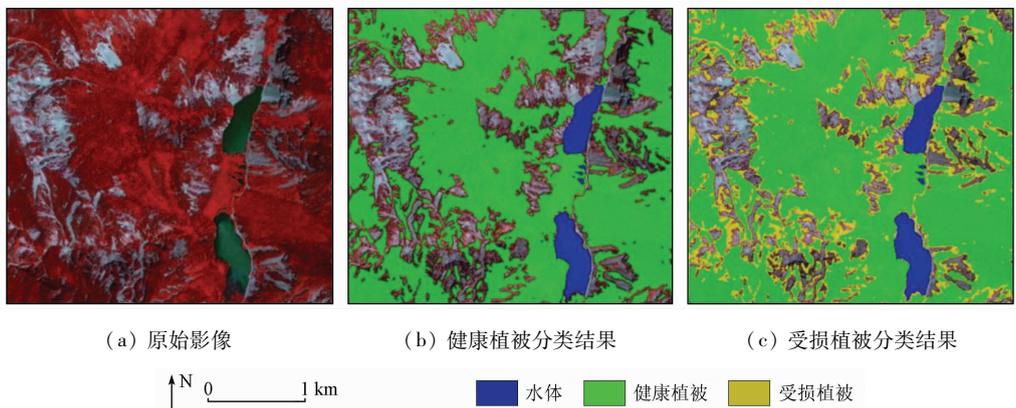


图 5 健康植被和受损植被提取结果
Fig. 5 Extraction results of healthy vegetation and damaged vegetation

3.4 识别地震滑坡

研究区受损植被对象主要分布在滑坡边缘坡度变化较大的狭长区域,这些区域仅依靠坡度因子不能满足对滑坡的提取。结合滑坡发生学及地形地貌特征,创新性地加入地形特征因子——坡度变率,利用坡度突变信息来优化边界提取难以提取的问题,将受损植被中的滑坡提取出来。将包含滑坡的未分

类对象和受损植被中得到的滑坡合并再分割,选择分割尺度 150,形状权重为 0.5,紧致度权重为 0.5。通过分析研究区影像,发现道路周围水土流失造成的裸地以及紧邻河湖的沙石漫滩亦在待分类对象中,在阈值分类过程中加入坡度因子,将与滑坡光谱、纹理等特征相似而空间分布不同的地物剔除,最终得到地震滑坡对象如图 6 所示。

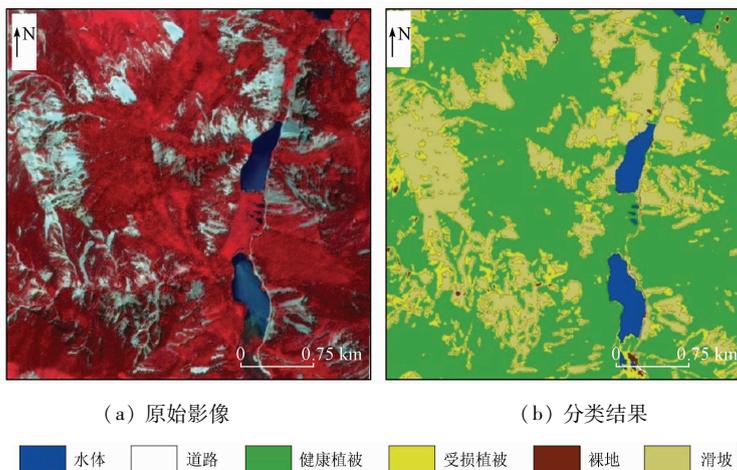


图 6 地震滑坡对象识别结果

Fig. 6 Seismic landslide identification results

3.5 实验结果及分析

基于上述方法,共提取熊猫海景点附近滑坡面积约 2.18 km^2 ,其中提取最大滑坡面积为 0.48 km^2 ;主要分布在熊猫海西侧山地和研究区东北部,道路两侧山体受损比较严重。通过与目视解译的结果对比分析,漏分面积约 0.013 km^2 ,错分滑坡面积为 0.029 km^2 ,整体识别精度达到 98.11% 。与野外调查该区域的 18 个滑坡灾害点结果相比,所有灾害点均在已识别滑坡范围内,也充分验证多条件阈值分类方法快速识别地震滑坡的可行性。漏分滑坡主要位于道路东侧山体阴影区域,缺少光谱信息导致滑坡无法被识别。错分的滑坡集中在道路西侧靠近水体的区域。由于该处裸地地势起伏较大,因此未能通过地形特征区分出来,这说明山区地形复杂,现有分辨率的 DEM 不能完全满足滑坡识别的需求。

4 结论与讨论

本文采用多条件阈值分类构建滑坡分层识别规则,针对山区水体提取和阴影混分的现象,提出增大分割尺度,利用地形和形状特征阈值差异,最大限度减少或消除混分现象,以解决阴影和水体光谱、纹理特征相似无法区分的难点。根据地物的空间相关性,将道路置于植被之前提取,解决部分道路被植被压盖的问题,有利于提取较完整的道路对象。分析滑坡和植被空间位置关系,将边界不明确区域划分为受损植被,加入地形特征——坡度变率,根据坡度突变提取滑坡边界。通过以上方法的创新和改变,有效提高滑坡识别精度。

尽管上述方法解决了部分影像分类问题,但仍无法识别阴影中地物类型而导致滑坡对象漏分的现象。对于和滑坡特征相似的裸地(包括河漫滩等),

只通过地形特征进行区分,对现有 DEM 数据精度是挑战,也是滑坡识别的主要误差所在。多条件阈值分类方法需要多次重复实验确定地物阈值,而高效准确地选取特征并确定阈值范围并未实现。这些问题,在今后的学习工作中有待进一步研究。同时,实验证明该方法在滑坡识别领域具有较高的识别精度,构建地震滑坡分层识别规则的思路具有推广性和适用性,可为山区突发大规模地质灾害提供方法借鉴,促进高分辨率遥感影像分类在地质灾害识别领域的应用。

参考文献(References):

- [1] 许强,黄润秋. 5·12 汶川大地震诱发大型崩塌灾害动力特征初探[J]. 工程地质学报,2008,16(6):721-729.
Xu Q, Huang R Q. Kinetics characteristics of large land-slides triggered by May 12th Wenchuan earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(6): 721-729.
- [2] 裴向军,黄润秋. “4·20”芦山地震地质灾害特征分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2013,40(3):257-263.
Pei X J, Huang R Q. Analysis of characteristics of geological hazards by “4·20” Lushan earthquake in Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2013, 40(3): 257-263.
- [3] 崔鹏,陈晓清,张建强,等. “4·20”芦山 7.0 级地震次生山地灾害活动特征与趋势[J]. 山地学报,2013,31(3):257-265.
Cui P, Chen X Q, Zhang J Q, et al. Activities and tendency of mountain hazards induced by the M_s 7.0 Lushan earthquake, April 20, 2013 [J]. Journal of Mountain Science, 2013, 31(3): 257-265.
- [4] 董秀军,许强,余金星,等. 九寨沟核心景区多源遥感数据地质灾害解译初探[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(3):432-441.
Dong X J, Xu Q, She J X, et al. Preliminary study on interpretation of geological hazards in Jiuzhaigou based on multi-source remote sensing data [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan U-

- niversity, 2020, 45(3): 432 - 441.
- [5] 许冲,戴福初,徐锡伟. 汶川地震滑坡灾害研究综述[J]. 地质论评, 2010, 56(6): 860 - 874.
Xu C, Dai F C, Xu X W. Wenchuan earthquake - induced landslides: An overview[J]. Geological Review, 2010, 56(6): 860 - 874.
- [6] 黄润秋,裴向军,李天斌. 汶川地震触发大光包巨型滑坡基本特征及形成机理分析[J]. 工程地质学报, 2008, 16(6): 730 - 741.
Huang R Q, Pei X J, Li T B. Basic characteristics and formation mechanism of the largest scale landslide scale landslide at Da-guangbao occurred during the Wenchuan earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(6): 730 - 741.
- [7] 殷跃平. 汶川八级地震滑坡特征分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 29 - 38.
Yin Y P. Features of landslides triggered by the Wenchuan earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 29 - 38.
- [8] 葛大庆. 地质灾害早期识别与监测预警中的综合遥感应用[J]. 城市与减灾, 2018, 123(6): 53 - 60.
Ge D Q. Comprehensive application of remote sensing in early identification, monitoring and early warning in geological disasters [J]. City and Disaster Reduction, 2018, 123(6): 53 - 60.
- [9] 吴一全,曹照清,陶飞翔. 基于 Contourlet 变换和 ICA 的多时相遥感图像变化检测[J]. 地球物理学报, 2016, 59(4): 1284 - 1292.
Wu Y Q, Cao Z Q, Tao F X. Change detection of multi - temporal remote sensing images based on contourlet transform and ICA [J]. Journal of Geophysics, 2016, 59(4): 1284 - 1292.
- [10] 郝立贞,白世彪,徐红波,等. 基于 CBERS - 02 卫星数据的地震滑坡识别——以青川县为例[J]. 防灾科技学院学报, 2010, 12(4): 46 - 52.
Hao L Z, Bai S B, Xu H B, et al. Landslide identification after earthquake based on CBERS - 02 remote sensing data; The case of Qingchuan[J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2010, 12(4): 46 - 52.
- [11] 吴一全,陶飞翔,曹照清. 基于 Shearlet 变换和 KPCA 的多时相遥感图像变化检测[J]. 应用基础与工程科学学报, 2014, 22(5): 1030 - 1040.
Wu Y Q, Tao F X, Cao Z Q. Change detection of multi - temporal remote sensing images based on Shearlet transform and KPCA [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2014, 22(5): 1030 - 1040.
- [12] 张群,赵超英. 基于面向对象的高分遥感数据甘肃黑方台黄土滑坡半自动识别[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 210 - 215.
Zhang Q, Zhao C Y. Semiautomatic object - oriented loose landslide recognition based on high resolution remote sensing images in Heifangtai, Gansu [J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(3): 210 - 215.
- [13] Martha T R, Babu G K, Vinod K K. Damage and geological assessment of the 18 September 2011 M_w 6.9 earthquake in Sikkim, India using very high resolution satellite data[J]. Geoscience Frontiers, 2015, 6(6): 793 - 805.
- [14] Martha T R, Kamala P, Jose J, et al. Identification of new landslides from high resolution satellite data covering a large area using object - based change detection methods [J]. Research Article, 2016, 44(4): 515 - 524.
- [15] Martha T R, Kerle N, Jetten V, et al. Characterising spectral spatial and morphometric properties of landslides for semiautomatic detection using object - oriented methods [J]. Geomorphology, 2010, 116(1): 24 - 36.
- [16] 杨文涛,汪明,史培军,等. 基于地形因子分割、分类的面向对象滑坡快速识别方法[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(4): 1 - 6.
Yang W T, Wang M, Shi P J, et al. Object - oriented rapid identification of landslides based on terrain factors segmentation and classification [J]. Journal of Natural Disasters, 2015, 24(4): 1 - 6.
- [17] 彭令,徐素宁,梅建军,等. 资源三号卫星在汶川震区滑坡快速识别中的应用方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(1): 185 - 192.
Peng L, Xu S N, Mei J J, et al. Research on Wenchuan earthquake - induced landslides rapid recognition from ZY - 3 imagery [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2018, 33(1): 185 - 192.
- [18] 彭令,徐素宁,梅建军,等. 地震滑坡高分辨率遥感影像识别[J]. 遥感学报, 2017, 21(4): 509 - 518.
Peng L, Xu S N, Mei J J, et al. Earthquake - induced landslide recognition using high - resolution remote sensing images [J]. Journal of Remote Sensing, 2017, 21(4): 509 - 518.
- [19] 杨柳,牟鑫亮,李晨,等. 延安市宝塔区地质灾害风险评价[J]. 山地学报, 2020, 38(5): 679 - 690.
Yang L, Mou X L, Li C, et al. Risk assessment of geological hazards in Baota District, Yan' an City, Shaanxi, China [J]. Journal of Mountain Science, 2020, 38(5): 679 - 690.
- [20] 吴润霖,党星海,周兆叶,等. 岷县地质灾害易损性模糊综合评价[J]. 地理空间信息, 2021, 19(3): 86 - 89.
Wu R L, Dang X H, Zhou Z Y, et al. Fuzzy comprehensive evaluation of the vulnerability of geological disasters in Min County [J]. Geospatial Information, 2021, 19(3): 86 - 89.
- [21] 戴岚欣,许强,范宣梅,等. 2017年8月8日四川九寨沟地震诱发地质灾害空间分布规律及易发性评价初步研究[J]. 工程地质学报, 2017, 25(4): 1151 - 1164.
Dai L X, Xu Q, Fan X M, et al. A preliminary study on spatial distribution patterns of landslides triggered by Jiuzhaigou earthquake in Sichuan on August 8th, 2017 and their susceptibility assessment [J]. Journal of Engineering Geology, 2017, 25(4): 1151 - 1164.
- [22] 陈文倩,丁建丽,王娇,等. 基于高分一号影像的土地覆被分类方法初探[J]. 干旱区地理, 2016, 39(1): 182 - 189.
Chen W Q, Ding J L, Wang J, et al. Classification method of land cover based on GF - 1 image [J]. Arid Land Geography, 2016, 39(1): 182 - 189.
- [23] 黄志坚. 面向对象影像分析中的多尺度方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2014: 38 - 40.
Huang Z J. Research on multi - scale methods in object - based image analysis [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2014: 38 - 40.
- [24] 关元秀,王学恭. eCognition 基于对象影像分析教程[M]. 北京: 科学出版社, 2019: 40 - 43.
Guan Y X, Wang X G. Object based image analysis tutorial [M]. Beijing: Science Press, 2019: 40 - 43.

Object – oriented hierarchical identification of earthquake – induced landslides based on high – resolution remote sensing images

LI Chenhui¹, HAO Lina^{1,2}, XU Qiang², WANG Yi¹, YAN Lihua¹

(1. School of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu 610059, China)

Abstract: Earthquake – induced landslides are unnegligible secondary earthquake disasters and tend to cause severe casualties and property loss. Remote sensing identification of earthquake – induced landslides is an important means of the investigation and assessment of post – earthquake disasters. With GF – 1 remote sensing images as a data source, this study identified the earthquake – induced landslides in the Xiongmaohai area in Jiuzhaigou using the object – oriented classification method. Specifically, the rule set for hierarchical identification of earthquake – induced landslides was constructed based on multi – scale segmentation and multi – conditional threshold classification. The aim is to fully utilize the features of ground objects, reduce the mixing of ground objects with similar spectra, and improve the identification precision of landslides. The identification results show that about 2.18 km² of landslide area was extracted near the Xiongmaohai scenic spot, with a general identification accuracy of up to 98.11%. Therefore, the method proposed in this study can quickly identify earthquake – induced landslides, with high identification accuracy and applicable identification rules, and, thus, can be used as a reference and basis for the emergency investigation and rapid loss assessment of post – earthquake disasters.

Keywords: earthquake – induced landslide; object – oriented; hierarchical identification of landslides; slope variability

(责任编辑: 张 仙)