

引用格式:Liu Chen,Liu Xiuguo,Chen Qihao,*et al.* Impact of DEM Spatial Resolution on Landslide Extraction Using Object-Oriented Methods[J]. Remote Sensing Technology and Application,2014,29(4):631-638. [刘辰,刘修国,陈启浩,等.面向对象滑坡信息提取中 DEM 空间分辨率影响分析[J].遥感技术与应用,2014,29(4):631-638.] doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2014.4.0631

面向对象滑坡信息提取中 DEM 空间分辨率影响分析

刘 辰,刘修国,陈启浩,高 伟

(中国地质大学信息工程学院遥感科学系,湖北 武汉 430074)

摘要:数字高程模型(DEM)是识别滑坡的重要特征,而在实际应用中通常难以获取研究区的高分辨率 DEM 数据。为分析 DEM 分辨率对滑坡提取的影响并确定满足应用的分分辨率要求,将原始 10 m 分辨率 DEM 重采样为空间分辨率不同的 15、20、30、50、75、100 m,采用 DEM 及其衍生数据辅助高分遥感影像的面向对象滑坡信息提取方法进行实验。实验结果表明:当 DEM 分辨率小于 30 m 时,对面积大于 5 000 m² 的滑坡能得到较好的识别和分类结果;大于 30 m 时虽难以区分出滑坡类型,但通过调整部分规则参数仍能实现对滑坡的探测。该研究对于准确提取滑坡信息所需 DEM 产品的选择具有一定的指导意义和参考价值。

关 键 词:滑坡;数字高程模型;遥感影像;面向对象;信息提取

中图分类号:TP 79;P 642. 22 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2014)04-0631-08

1 引 言

滑坡是一种极具破坏性的突发性地质灾害,是当今世界上除地震以外造成巨大经济损失和人员伤亡的自然灾害之一^[1]。遥感对地观测具有获取速度快、覆盖范围广、周期性强等特点^[2],使其成为滑坡地质灾害调查研究的重要途径。传统的滑坡灾害遥感调查采用人工目视解译的方法,通过解译标志从遥感影像上获取滑坡信息^[3],该类方法不仅工作量大而且费时费力,不能很好地适用于突发性灾害的应急响应。随着遥感影像分类技术的广泛运用,发展了基于像素的滑坡信息提取方法^[4-6],该类方法不能很好地表现滑坡的地质过程,基本只利用了滑坡的光谱特征,提取结果表现为椒盐状,且难以实地验证。随着高分辨率遥感卫星的快速发展,遥感影像展现出了较之以往基于像素的滑坡信息提取方法而言有更加丰富的几何结构和纹理信息。面向对象影

像分析方法充分利用了影像的光谱、空间、纹理和邻域信息^[7],成为具有广阔应用前景的滑坡遥感信息提取方法。

在利用面向对象方法开展滑坡调查和制图方面,国内外有不少成功案例。2003 年 Barlow 等^[8]采用面向对象的方法,基于 Landsat ETM+影像在 Cascade 山地区开展了滑坡检测,在 DEM 数据的辅助下进行了滑坡遥感识别与制图;2007 年 Iwahashi 和 Pike^[9]利用 DEM 产生的坡度、地形纹理和当地的凸度进行地形的自动分类;2008 年姚鑫等^[10]以碧罗雪山一处高山峡谷地区为例,采用 10 m 空间分辨率的 SPOT-5 多光谱影像和 1:5 万地形图生成的 DEM 作为数据源,采用决策树分类方法进行了浅层崩滑体自动识别效果的检验;2008 年胡德勇等^[11]采用基于对象的高分辨率遥感图像滑坡检测方法,对马来西亚 Cameron 高原热带雨林地区的滑

收稿日期:2013-10-09;修订日期:2014-07-09

基金项目:高分辨率对地观测重大专项(04-Y30B01-9001-12/15)、高分辨率对地观测重大专项(07-Y30A05-9001-12/13)、卫星及应用产业发展专项(省部级项目,发改办高计[2012]2083 号)联合资助。

作者简介:刘 辰(1988—),男,湖北汉阳人,硕士研究生,主要从事面向对象遥感信息提取方面的研究。E-mail:liuchen_cug@gmail.com。

通讯作者:刘修国(1969—),男,河南潢川人,博士,教授,主要从事遥感影像信息提取与 3S 集成方面的研究。E-mail:liuxg318@163.com。

坡进行了提取;2010 年 Martha 等^[12]在印度 Mandakini 地区开展了基于多源数据(包括多光谱影像、DEM 等)的面向对象滑坡信息提取实验;2010 年沈永林等^[13]将高分辨率航空影像和机载 LiDAR 数据生成的 DEM 相结合,开展针对海地地震诱发的滑坡识别研究工作。2013 年丁辉等^[14]基于滑坡的形态(包括坡型和高程梯度等)、几何、光谱和拓扑等多特征,对西北黄土高原地区开展面向对象区域滑坡现象识别工作。2014 年聂洪峰等^[15]利用灾后航空正射影像图及崩滑前后的数字高程模型,定量解译并提取了 2009 年“6·5”重庆武隆鸡尾山崩滑的规模、地形变化特征、运动方向、灾害特征及影响范围等信息。可见,DEM 在滑坡信息提取中起着重要作用,但在实际应用中往往难以获取到研究区的高分辨率 DEM 数据,这种情况下,分析 DEM 分辨率对滑坡提取的影响具有重要意义。

本文首先建立由 DEM 及其衍生数据辅助高分遥感影像的面向对象滑坡信息提取流程,然后通过 DEM 数据进行重采样,将其按空间分辨率的不同分为 7 组进行实验,最后分析 DEM 空间分辨率变化对滑坡信息提取的影响。研究发现,在无法获取实验区高分辨率 DEM 的情况下,使用分辨率较低的 DEM 产品也可实现滑坡探测的目的。

2 研究区及数据描述

研究区位于印度北部的北阿肯德邦(Uttarakhand)地区乌基默特(Okhimath)市周围玛亚马赫什瓦河(Madhyamaheshwar)流域 28 km² 的区域。该地区出露的岩石主要为花岗岩片麻岩、石英绢云母片岩、石英岩、石榴子石的云母片岩、大理岩和间歇的基性侵入岩,新构造运动导致岩石切割显著,有很多不同类型的滑坡发生,为滑坡提取提供了一个很好的训练场。1998 年 8 月,由于降雨引发的山体滑坡,仅在 Mandakini 山谷就有 466 处,造成了 103 人死亡,47 个村庄遭到破坏^[12]。

滑坡信息提取使用的实验数据来自荷兰屯特大学(University of Twente)地理信息科学与地球观测学院(Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation,ITC)Martha 等在网上共享的示例数据(<http://www.itc.nl/OOA-group>),包括多光谱数据和 DEM 数据:①多光谱数据是由搭载在 IRS-P6 (Resourcesat-1) 卫星上线性成像自扫描(LISS-IV)传感器于 2004 年 4 月 16 日获取^[16],包括近红外(0.76~0.86 μm)、红(0.62~0.68 μm)、

绿(0.52~0.59 μm) 3 个波段,星下点几何分辨率为 5.8 m,主要用来参与影像的分割运算,以及提取光谱诊断性特征;②DEM 数据由 IRS-P5(Cartosat-1)卫星于 2006 年 4 月 6 日获取的立体像对通过数字摄影测量的方法制作而成^[17],空间分辨率为 10 m,垂直方向上均方根误差(RMSE)为 2.31 m,主要用于产生坡度、坡向等 DEM 衍生数据。

3 面向对象的滑坡信息提取方法

滑坡的信息提取方法主要源自于专家在影像解译时的滑坡探测知识,因此它模拟了滑坡专家在影像解译时的认知过程。本文在 Martha 等^[12]提出的面向对象滑坡信息提取方法基础上加以改进,得到的面向对象滑坡信息自动提取的步骤如图 1 所示。

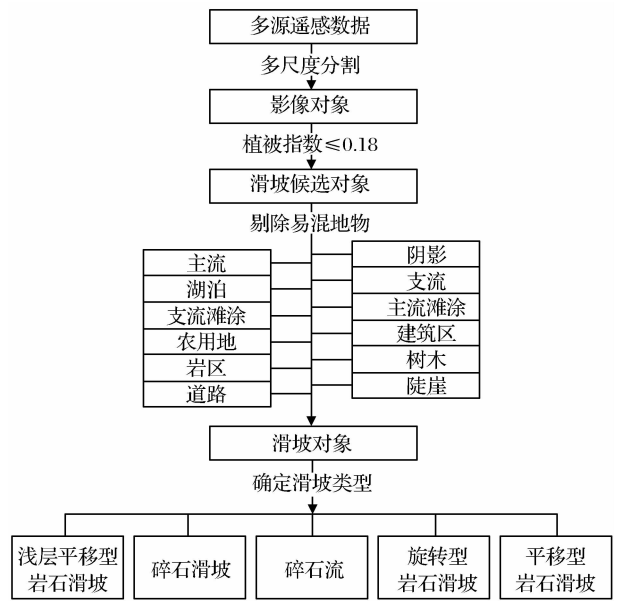


图 1 面向对象滑坡信息提取

Fig. 1 Object-oriented landslide information extraction

滑坡识别和分类的过程主要通过 4 个步骤来描述:①创建影像对象。采用多尺度分割方法,根据像元值的同质性将影像分成不同的区域。本文采用的分割尺度设为 10,形状参数为 0.1,紧凑度为 0.9;②确定候选滑坡对象。滑坡发生后裸露的岩石和碎石屑被暴露出来,这使得它与山区的植被有很好的区分度,因此我们用 NDVI 作为第一个准则来确定候选对象;③剔除易混地物。通过 NDVI 特征提取出候选对象中混有阴影、水体、滩涂和裸露岩石等易混地物,利用光谱、形态和上下文信息通过面向对象分析方法逐步剔除它们即可得到滑坡对象;④确定滑坡类型。美国学者 Varnes 根据不同滑坡的物质成分和移动形式,以滑坡规模、滑面形状、干湿条件进

行三维分布式分类^[18]。实验针对研究区的特点,选取了浅层平移型岩石滑坡、碎石滑坡、碎石流、旋转型岩石滑坡和平移型岩石滑坡 5 类典型的滑坡进行滑坡对象分类。

面向对象的滑坡信息提取过程在 Definiens eCognition Developer 8(后面简称 eCognition)软件中完成。除了文章第 2 节提到的多光谱数据和

DEM 数据外,滑坡信息提取过程中还使用到了由 ArcGIS 软件计算到的 DEM 衍生数据,包括坡度、坡向、山体阴影、地表曲率、剖面曲率和河网等级等。将原始 5.8 m 分辨率多光谱遥感影像和 10 m 分辨率 DEM 数据及其衍生数据一同导入 eCognition 软件,采用表 1 中的特征规则对该研究区进行面向对象的滑坡信息提取,得到图 2(b)提取结果。

表 1 滑坡信息提取分类规则

Table 1 Classification rules of landslide information extraction

地物类型	特征规则	评判依据
阴影	山体阴影≤92 植被指数≥0.1	山体阴影是利用多光谱影像获取时的太阳方位,由 DEM 产生的表示阴影状态的虚拟影像;植被指数条件使得被阴影覆盖的滑坡对象不随阴影一同被剔除
主流	河网等级≥5	利用 DEM 自动生成水系图并用 Strahler 方法 ^[21] 对其分级,本研究区域主河流的河网等级≥5
支流	长宽比≥3.6;坡度≤17.5 植被指数≤0.067;近红外波段≤74	河流对象表现为细长状,长宽比高;河流相对平缓,坡度值不高;河流中几乎不含植被,植被指数低;水体对近红外波段有吸收作用,近红外波段值低
湖泊	近红外波段≤55;坡度≤5	湖泊中水体对近红外波段有吸收作用,近红外波段值低;湖面平坦,坡度值低
主流滩涂	亮度≥65;与主流的距离≤100m 坡度≤20;相对高差≤30	主流滩涂对可见光反射率高,表现为高亮度值;通常与河流相邻接,与主河流距离近;相对平缓,坡度值低,相对高差小
支流滩涂	植被指数≤0.08;坡度≤15 相对高差≤20	支流滩涂植被较少,植被指数低;相对平缓,坡度值低,相对高差小
建筑区	坡度≤12;紧凑度<2.5;红色波段同质性灰度共生矩阵:[0.15,0.2]	建筑通常修在平缓地区,坡度值低;建筑图案形成的典型纹理使得它与邻接对象有很高的标准差,根据紧凑度和灰度共生矩阵可将建筑区提取出来
农用地	坡度≤30 植被指数≥0.094 红色波段均值灰度共生矩阵:[60,90]	中低坡度的研究区域大多已经转变成适合耕作的梯田;梯田中的植被虽没有林地那样密集,但仍有较高的植被指数;研究区的梯田与等高线平行,且宽度大都一致,在影像上表现为独特的纹理特征,通过红色波段均值灰度共生矩阵均值能清楚的区分梯田图案
树木	坡度≤30;植被指数≥0.094 红色波段均值灰度共生矩阵:[55,60]	部分在之前过程中为分离出的树木,纹理特征与农用地不同,通过红色波段均值灰度共生矩阵均值可区分其图案
岩区	亮度≤95;植被指数≥0.123 坡度:[29.5,45]	岩区地表粗糙度没有新生的滑坡高,所以它仅具有中等亮度值;岩区偶尔也会混有少许植被,植被指数偏高一点;岩石区域主要分布在研究区的中等坡度范围
陡崖	亮度≤90;植被指数≥0.12;坡度≥45	陡崖相对于岩区更陡峭,主要分布在研究区的高等坡度范围
道路	坡向与主方向的夹角:[65,115] 长宽比≥4.5 近红外波段≥76.5	坡向是坡度下降最快的方向,道路(山区公路)通常沿着与坡向垂直的方向修建,所以道路对象的主方向与坡向几乎垂直;道路表现为细长状,长宽比高;道路对近红外波段反射强,近红外波段反射值高
浅层平移型岩石滑坡	不对称性≥0.95 坡度≥25	浅层平移型岩石滑坡发生在地球表层,滑坡外围到中轴线的距离很短,表现为较强的不对称性;发生在较陡峭的区域,坡度值较高
碎石滑坡	与农用地的邻接比≥0.5	碎石滑坡一般发生在严重风化区或地形表面覆盖深度很大的区域,通常与农用地相邻接
碎石流	坡度≥25 长度≥500	含水的碎石在空间上持续运动形成碎石流,通常具有中等程度的坡度和很长的运行区,并且冲刷作用能沿着运行路径明显地观察到
旋转型岩石滑坡	地表曲率≤-1	运动的岩石沿着斜坡滑下后,旋转型岩石滑坡的破裂处表现为弯曲或上凹的表面,表现为坡度形态的突然变化,地表曲率≤-1
平移型岩石滑坡	坡面曲率≤1	运动的岩石沿着斜坡滑下后,平移型岩石滑坡的破裂处表现为平坦或波浪状表面,地表曲率值非常低,坡面曲率≤1,有时接近为 0

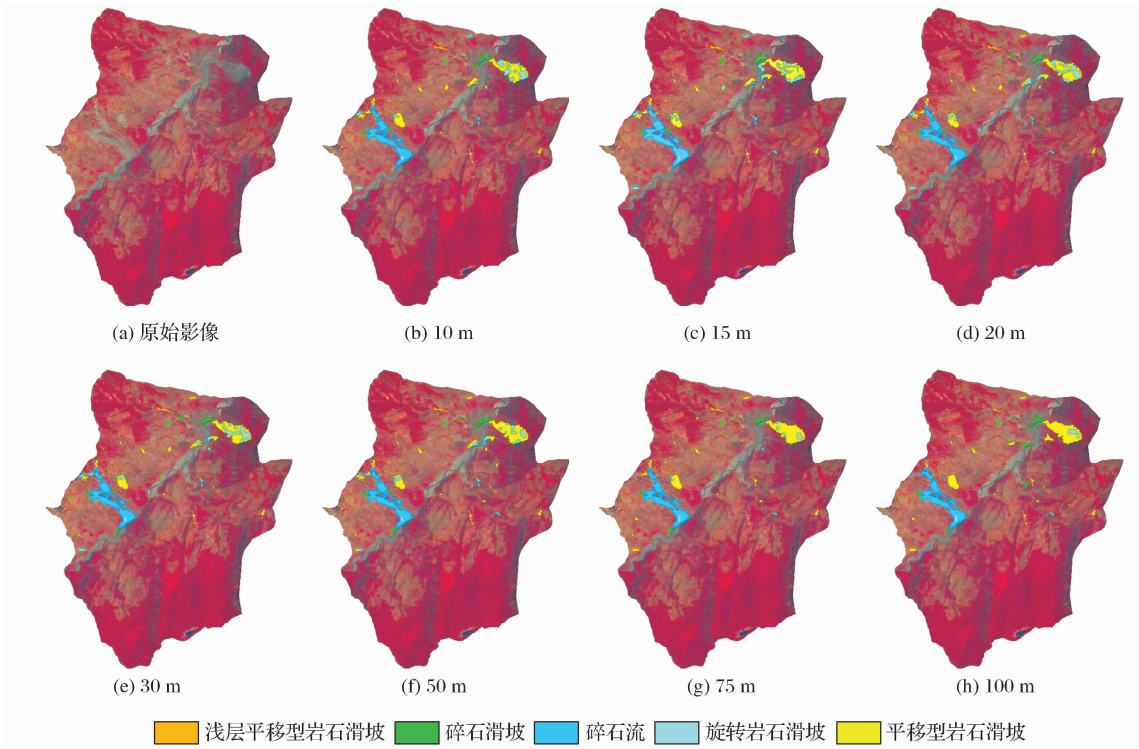


图 2 根据不同分辨率 DEM 的滑坡提取结果

Fig. 2 The landslide information extracted results of different spatial resolution DEM

重采样 DEM 可生成不同空间分辨率的格网 DEM 数据,是获取不同空间尺度数据的主要方法^[17]。为研究 DEM 对面向对象滑坡信息提取精度的影响,需要对原始的 DEM 数据进行重采样。重采样会削弱原始 DEM 数据的特征,同时也会影响 DEM 衍生数据(坡度和地表曲率等)的准确性^[19-20],最近邻(NEAR)方法影响较大,双线性内插(BIL)和三次卷积(CUB)影响较小。本实验使用对数据影响较小的双线性内插方法将 10 m 分辨率的 DEM 重采样为 15、20、30、50、75、100 m 来研究 DEM 空间分辨率对滑坡信息提取的影响。

首先保持多光谱影像不变,将重采样后的不同分辨率 DEM 及其衍生数据替代原数据,然后采用表 1 中所列的提取规则进行滑坡信息提取。由于重采样后的 DEM 特征发生变化,得到的提取效果并不理想,存在许多误分类现象,部分滑坡对象因为 DEM 特征的变化未能识别出来,需要针对不同分辨率 DEM 对每种地物的提取参数值做相应的调整。调整后的参数值列在表 2 中,得到的最终分类结果如图 2 所示。

4 实验结果及分析

4.1 滑坡信息提取结果

从图 2 可以看出,在提取参数值做了调整的情

况下,研究区内的滑坡基本能被探测出来。随着 DEM 分辨率降低会出现许多滑坡类型的误分现象,主要表现在研究区东北方一个较大面积滑坡(图 3 中方框内的区域)的分类中。下面针对这一区域滑坡的分类情况做详细的精度分析,从中发现 DEM 空间分辨率变化对滑坡信息提取的影响。

4.2 精度评价

选取 10、30 和 50 m 分辨率的分类结果与 1998 年 8 月发生大型滑坡后制作的滑坡调查结果^[12]相叠加,得到评价结果对比图(图 3)。图中调查结果与提取结果的填充符号设为相互正交的直线,因此直线相交的区域为正确识别的滑坡(即提取结果和调查结果均为滑坡),直线未相交的区域表示未识别和多识别的滑坡。在直线相交区域中直线正交表示正确分类的滑坡(即提取结果和调查结果的滑坡类型相同),直线斜交表示错误分类的滑坡(即提取滑坡类型与调查滑坡类型不一致)。通过将不同分辨率的分类结果与人工调查结果进行比较,对正确识别的滑坡、未识别的滑坡和多识别的滑坡进行统计分析,得到图 4(a)所示的精度评价结果。对正确识别滑坡中正确分类的滑坡和错误分类的滑坡进行统计分析,得到图 4(b)所示的精度评价结果。各个统计值的计算公式如下:

表 2 滑坡信息提取参数设定

Table 2 Parameter settings of landslide information extraction

地物类型	特征规则	特征参数值/m						
		10	15	20	30	50	75	100
支流	坡度	≤17.5	≤17.5	≤18.5	≤18.5	≤18.5	≤18.5	≤18.5
湖泊	坡度	[0,5]	[0,5]	[0,5]	[0,5]	[0,5,9]	[0,5,9]	[0,5,9]
主流滩涂	坡度	[0,20]	[0,20]	[0,19,75]	[0,16]	[0,16]	[0,16]	[0,16]
	相对高差	≤30	≤38.95	≤38.95	≤38.95	≤38.95	≤38.95	≤38.95
支流滩涂	相对高差	≤20	≤18.4	≤18.4	≤18.4	≤18.4	≤18.4	≤18.4
农用地	坡度	[0,30]	[0,29.5]	[0,29.5]	[0,29.5]	[0,29.5]	[0,29.5]	[0,29.5]
树木	坡度	[0,30]	[0,29.5]	[0,29.5]	[0,29.5]	[0,29.5]	[0,29.5]	[0,29.5]
岩区	坡度	[29.5,45]	[29.5,44.5]	[29.5,44.5]	[29.5,44.5]	[29.5,44.5]	[29.5,44.5]	[29.5,44.5]
陡崖	坡度	≥45	≥44.5	≥44.5	≥44.5	≥44.5	≥44.5	≥44.5
道路	坡向与主方向夹角	[65,115]	[65,115]	[65,115]	[65,115]	[65,115]	[65,115]	[63.5,115]
浅层平移型 岩石滑坡	坡度	≥25	≥25	≥25	≥25	≥25	≥25	≥22.5
碎石滑坡	与农用地的邻接比	≥0.5	≥0.4	≥0.4	≥0.4	≥0.4	≥0.4	≥0.4
碎石流	坡度	≥25	≥25	≥25	≥25	≥25	≥24	≥24

正确识别的滑坡 = $\frac{\text{正确识别的滑坡总面积}}{\text{调查的滑坡总面积}}$

(1)

未识别的滑坡 = $\frac{\text{未识别的滑坡总面积}}{\text{调查的滑坡总面积}}$

(2)

多识别的滑坡 = $\frac{\text{多识别的滑坡总面积}}{\text{调查的滑坡总面积}}$

(3)

正确分类的滑坡 = $\frac{\text{正确分类的滑坡总面积}}{\text{正确识别的滑坡总面积}}$

(4)

错误分类的滑坡 = $\frac{\text{错误分类的滑坡总面积}}{\text{正确识别的滑坡总面积}}$

(5)

4.3 结果分析

随着 DEM 空间分辨率的降低,滑坡信息提取结果会逐渐受到影响。通过对提取过程中每种地物的特征参数值做相应的调整,可以最大程度地减少误分类现象。从表 2 参数调整情况可以看出,变化的特征规则主要包括:坡度、相对高差、坡向与主方向夹角、与农用地的邻接比例,其中“与农用地的邻

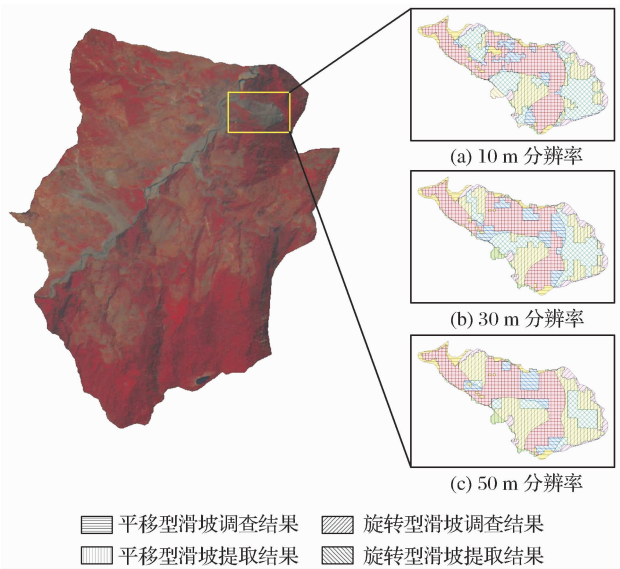


图 3 不同空间分辨率 DEM 提取滑坡对比图

Fig. 3 The comparison chart of different spatial resolution DEM

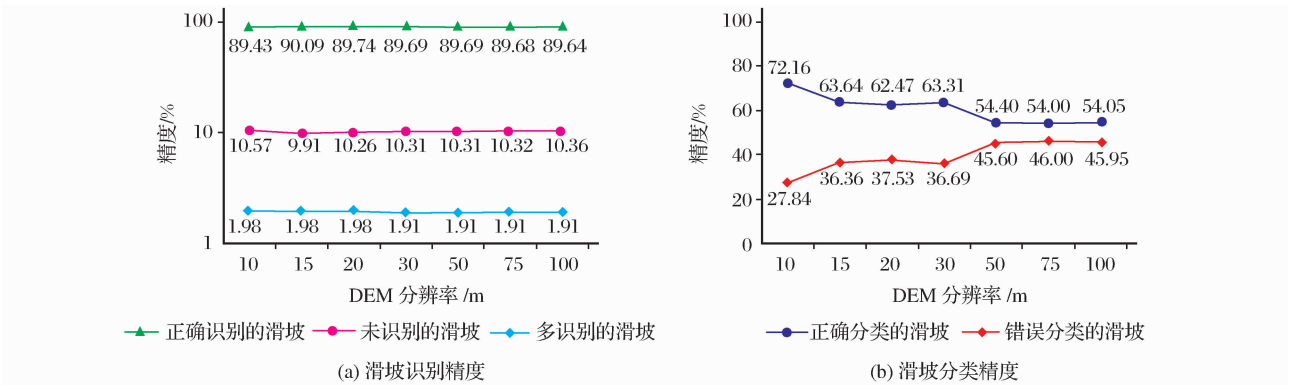


图 4 滑坡信息提取精度

Fig. 4 Landslide information extraction accuracy

接比例”表示影像对象与邻接的农用地对象重合边界的长度,而农用地类型的确定需要用到坡度特征。从这些特征规则中可以发现,它们之间的共同特点是都与 DEM 相关,DEM 分辨率的变化导致了这些特征值相应的变化。

通过比较图 2 中不同空间分辨率 DEM 参与的滑坡信息提取结果可以看出,图 2(h)低分辨率 DEM 提取结果与图 2(b)高分辨率 DEM 提取结果相比除了少数小面积的滑坡不能探测,大面积的滑坡都可以被识别。图 4(a)中随着 DEM 分辨率的变化,正确识别的滑坡精度始终保持在 90%左右。这意味着,在 DEM 辅助的滑坡信息提取中,通过设置恰当的提取规则,可以实现滑坡探测的目的。

在滑坡类型的识别方面,从图 4(b)中可以看出,当 DEM 分辨率为 10 m 时,滑坡的分类精度达到 72.16%。随着 DEM 分辨率降低,滑坡的分类精度也逐渐降低,与此同时滑坡类型的误发现象也逐渐增多。当 DEM 分辨率降低到 50 m 时,滑坡分类精度降低到 60%以下。当 DEM 分辨率继续降低滑坡分类精度保持在 54%左右。

由此可见,DEM 分辨率的精细程度对面向对象滑坡信息提取有较大影响。对于滑坡识别方面的影响(图 4(a)),通过调整 DEM 特征相关的参数,仍可保持较好的识别精度。对于滑坡类型的分类精度(图 4(b)),会随 DEM 分辨率下降而降低。造成这一现象的主要原因是,在区分旋转型和平移型岩石滑坡的过程中需要通过地表曲率(curvature)特征进行分割,而地表曲率是由 DEM 计算得到,与 DEM 分辨率相同。研究区内滑坡面积在 5 000~40 000 m² 之间,对于面积大于 5 000 m² 的滑坡,当 DEM 分辨率为 10 m 时能够得到较好的分类结果。当 DEM 分辨率在 10~30 m 之间时,可以勉强区分出滑坡类型。当 DEM 分辨率大于 30 m 时,旋转型滑坡仅表示为几个像素,不能得到很好的分类结果。

5 结 语

本文通过对比实验,分析了 DEM 空间分辨率的变化对面向对象滑坡信息提取的影响。首先采用 DEM 及其衍生数据辅助高分遥感影像,实现综合光谱、形状和地形特征的面向对象滑坡信息提取。然后将 DEM 重采样为 7 种分辨率等级分别进行滑坡

信息提取,针对不同分辨率 DEM,对每种地物的提取参数值做相应的调整,得到各自分辨率下的滑坡提取结果。最后将不同分辨率 DEM 下的提取结果与调查结果相叠加,评价提取精度,分析 DEM 空间分辨率变化对高分影像面向对象滑坡信息提取的影响。

通过实验发现 DEM 空间分辨率对面向对象滑坡信息提取的影响可以概括为 4 个方面:①高空间分辨率 DEM 辅助的面向对象滑坡信息提取能得到较高的滑坡分类精度;②随着 DEM 空间分辨率的降低,滑坡信息提取结果会逐渐受到影响,但通过调整 DEM 特征相关的参数,可以实现滑坡探测的目的;③当 DEM 空间分辨率小于 30 m 时,对面积大于 5 000 m² 的滑坡能得到较好的识别和分类结果;④当 DEM 空间分辨率大于 30 m 时,旋转型滑坡仅表示为几个像素,不能得到很好的分类结果。

参考文献(References):

- [1] Wang Zhihua. Remote Sensing for Landslide Survey, Monitoring and Evaluation[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2007, 71(1): 10-15, 23. [王治华. 滑坡遥感调查、监测与评估[J]. 国土资源遥感, 2007, 71(1): 10-15, 23.]
- [2] Li Deren, Sui Haigang, Shan Jie. Discussion on Key Technologies of Geographic National Conditions Monitoring[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(5): 505-512. [李德仁, 眭海刚, 单杰. 论地理国情监测的技术支撑[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(5): 505-512.]
- [3] Zhu Jing, Tang Chuan. An Overview of Remote Sensing Application for Landslide Research in China[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(3): 458-464. [朱静, 唐川. 遥感技术在我国滑坡研究中的应用综述[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(3): 458-464.]
- [4] Ye Runqing, Deng Qinglu, Wang Haiqing. Landslides Identification based on Image Classification: A Case Study on Guizhoulaocheng Landslide in the Three Gorges Reservoir Area[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2007, 4(6): 574-577. [叶润青, 邓清禄, 王海庆. 基于图像分类方法滑坡识别与特征提取——以归州老城滑坡为例[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(6): 574-577.]
- [5] Borghuis A M, Chang K, Lee H Y. Comparison between Automated and Manual Mapping of Typhoon-Triggered Landslides from SPOT-5 Imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(8): 1843-1856.
- [6] Nichol J, Wong M S. Satellite Remote Sensing for Detailed Landslide Inventories Using Change Detection and Image Fusion[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26

- (9):1913-1926.
- [7] Huang Huiping, Wu Bingfang, Li Miaomiao. Detecting Urban Vegetation Efficiently with High Resolution Remote Sensing Data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(1): 68-74. [黄慧萍, 吴炳方, 李苗苗, 等. 高分辨率影像城市绿地快速提取技术与应用[J]. *遥感学报*, 2004, 8(1): 68-74.]
- [8] Barlow J, Martin Y, Franklin S E. Detecting Translational Landslide Scars Using Segmentation of Landsat ETM+ and DEM Data in the Northern Cascade Mountains, British Columbia[J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2003, 29(4): 510-517.
- [9] Iwahashi J, Pike R J. Automated Classifications of Topography from DEMs by an Unsupervised Nested-Means Algorithm and a Three-Part Geometric Signature[J]. *Geomorphology*, 2007, 86(3): 409-440.
- [10] Yao Xin, Zhang Yongshuang, Wang Xianli, *et al.* Automatic Hierarchical Approach to Detecting Shallow Landslides and Avalanches by the Combination of Multi-Spectral RS Imagery and DEM Derivatives[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(11): 1870-1874. [姚鑫, 张永双, 王献礼, 等. 基于地貌特征的浅层崩滑体遥感自动识别[J]. *地质通报*, 2008, 27(11): 1870-1874.]
- [11] Hu Deyong, Li Jing, Zhao Wenji, *et al.* Object-oriented Landslide Detection from Remote Sensing Imageries with High Resolution[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2008, 17(6): 42-46. [胡德勇, 李京, 赵文吉, 等. 基于对象的高分辨率遥感图像滑坡检测方法[J]. *自然灾害学报*, 2008, 17(6): 42-46.]
- [12] Martha T R, Kerle N, Jetten V, *et al.* Characterising Spectral, Spatial and Morphometric Properties of Landslides for Semi-Automatic Detection Using Object-oriented Methods[J]. *Geomorphology*, 2010, 116(1-2): 24-36.
- [13] Shen Yonglin, Li Xiaojing, Wu Lixin. Detection of Haiti Earthquake Induced Landslides from Aerial Images and LiDAR Data [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2011, 27(1): 16-20. [沈永林, 李晓静, 吴立新. 基于航空影像和 LiDAR 数据的海地地震滑坡识别研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2011, 27(1): 16-20.]
- [14] Ding Hui, Zhang Maosheng, Li Lin. Regional Landslide Identification base on Multi-Feature Object-Oriented Image Classification[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2013, 28(6): 1107-1113. [丁辉, 张茂省, 李林. 基于多特征面向对象区域滑坡现象识别[J]. *遥感技术与应用*, 2013, 28(6): 1107-1113.]
- [15] Nie Hongfeng, Tong Liqiang, Li Jiancun, *et al.* Study of Disaster Characteristics and Emergency Rescue Engineering for June 5, 2009 Jiweishan Rockslide in Wulong of Chongqing Using Remote Sensing Technology [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2014, 26(1): 115-121. [聂洪峰, 童立强, 李建存, 等. 基于遥感技术的“6·5”重庆武隆鸡尾山崩滑灾害特征及应急救援工程布置研究[J]. *国土资源遥感*, 2014, 26(1): 115-121.]
- [16] Kumar K V, Martha T R, Roy P S. Mapping Damage in the Jammu and Kashmir Caused by 8 October 2005 M-w 7. 3 Earthquake from the Cartosat-1 and Resourcesat-1 Imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(20): 4449-4459.
- [17] Martha T R, Kerle N, van Westen C J, *et al.* Effect of Sun Elevation Angle on DSMs Derived from Cartosat-1 Data[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2010, 76(4): 429-438.
- [18] Cruden D M, Varnes D J. Landslide Types and Processes [C]//Turner A K, Schuster R L. *Landslides: Investigation and Mitigation; Special Report 247*. Washington D. C: Transportation Research Board, 1996: 36-75.
- [19] Chen Yonggang, Tang Guoan, Zhu Shijie, *et al.* Spatial Point Pattern of DEM Resampling Error and Difference Analysis of Influence Factor[J]. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2011, 40(4): 653-659. [陈永刚, 汤国安, 祝士杰, 等. DEM 重采样误差空间分布格局及差异性分析[J]. *中国矿业大学学报*, 2011, 40(4): 653-659.]
- [20] Wang Yu, Bai Tianlu. The Analysis of Slope Flattening Caused by DEM Resampling[J]. *Geotechnical Investigation and Surveying*, 2013, (3): 67-70. [王宇, 白天路. 重采样方法对 DEM 地形表达的影响分析[J]. *工程勘察*, 2013, (3): 67-70.]
- [21] Strahler A N. *Introduction to Physical Geography*[C]//Wiley and Sons, New York, 1965.

Impact of DEM Spatial Resolution on Landslide Extraction Using Object-Oriented Methods

Liu Chen, Liu Xiuguo, Chen Qihao, Gao Wei

(Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: DEM (Digital Elevation Model) is an important feature for landslide recognition, but in practical

application it's difficult to obtain high-resolution DEM in the study area. In order to analyze the impact of DEM resolution on landslide extraction and determine the resolution to the meet application requirements, this study resamples the 10 m resolution DEM into 20 m,30 m,60 m and 90 m,and then adopts the object-oriented method combined with high-resolution remote sensing images and DEMs to extract the landslides information. The experimental results show that,when the DEM resolution is greater than 30 meters,we can obtain better recognition and classification results for the landslide with area greater than 5000 m². When the resolution is less than 30 meters,it is difficult to distinguish landslide types,but by adjusting parameter values we can still achieve the detection of landslides. This research provides certain guiding significance and reference value for the selection of DEM spatial resolution on the landslides information extraction.

Key words: Landslide;Digital Elevation Model (DEM);Remote sensing image;Object-oriented;Information extraction

第九届 SPIE 亚太遥感大会会议

九届 SPIE 亚太遥感大会(the 9th SPIE Asia-Pacific Remote Sensing Symposium)将于 2014 年 10 月 13~17 日在中国北京国际会议中心举行,大会主题为“地球系统遥感和环境健康监测”。SPIE 亚太遥感大会是亚洲及太平洋地区最重要的遥感学术会议之一,每两年举办一次。大会主题多聚焦于环境污染、气候变化、可持续发展、生态资源保护以及亚太地区的特殊问题,其议题涵盖遥感理论方法、反演技术、多源遥感融合、数据同化以及各领域应用的最新进展。目前,该会议已在中国、美国、印度、日本、韩国、澳大利亚等国举行,会议规模与学术报告水平逐年提升。预计在北京举办的 2014 年 APRS 大会将是该会议创立以来规模最大的一次,将极大的推动遥感技术在我国乃至亚太地区环境与气候领域的深入应用,丰富世界对地观测领域的研究成果,为全球科学家及青年学生提供良好的学术交流平台,更好地突显中国科学家在世界遥感与空间信息领域的重要作用。

本次会议所有被接收论文均收录 SPIE 数据库,并被 EI 检索。

大会分项主题如下:

大气、云及降水遥感

陆表遥感

海洋遥感监测

激光雷达环境遥感监测

多光谱、高光谱和超光谱遥感技术及应用

大气、海洋相互作用遥感及建模

对地观测计划及传感器:设计、研制及参数