

王丽涛, 王世新, 周艺, 等. 基于纹理特征的高分辨率遥感影像灾害监测应用[J]. 灾害学, 2014, 29(3): 97-101.
[Wang Litao, Wang Shixin, Zhou Yi, et al. Remote Sensing Change Detection Method Based on Texture Characteristic in Natural Disaster Monitoring [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(3): 97-101.]

基于纹理特征的高分辨率遥感影像灾害监测应用^{*}

王丽涛, 王世新, 周 艺, 刘文亮, 王 峰, 王福涛

(中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101)

摘 要: 变化检测方法作为遥感信息获取的主要技术手段之一, 在灾害监测中已得到了一定应用。然而基于遥感图像灰度信息的变化检测方法, 其阈值选取受到传感器和环境因素引起的“伪变化”信息影响。由于纹理特征具有移不变特性, 可以利用地物空间结构信息开展变化检测, 从而避免图像灰度“伪变化”信息的影响。该文在现有变化检测技术流程之上, 通过纹理特征参数的分析, 结合基于贝叶斯的图像阈值分割技术, 建立了基于纹理特征的高分辨率遥感影像变化检测方法, 并应用在汶川地震前后的福卫-2影像, 与基于光谱影像的变化检测方法进行了分析对比。

关键词: 纹理特征; 遥感图像; 灾害监测; 变化检测

中图分类号: TP751; X4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2014)03-0097-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.03.018

我国是世界上自然灾害最多、灾损最严重的国家之一, 涉及灾害种类多、范围广、程度深、危害大, 给我国社会经济发展和人民财产安全带来了极大的危害, 每年因遭受各类自然灾害死亡人口均在千人以上^[1]。民政部、国家减灾委员会公布, 我国仅2013年上半年各类自然灾害共造成全国15 247.4万人次受灾, 直接经济损失达1 730.2亿元。由于自然灾害的突发性、危害性、区域性等特点, 使得灾害应急响应部门在防灾、减灾和救灾等方面需要更加全面、宏观、高效的决策信息支持。

遥感技术在灾害监测中无论在时效性、空间性, 还是在经济性等方面, 与传统的灾害监测手段相比都具有十分明显的优势, 在对各种自然灾害, 特别是在对重大自然灾害等突发事件的监测工作中起到了重要作用, 已成为各级领导部门、专业机构及时了解灾情信息的重要手段之一。其中, 变化检测方法作为遥感信息获取的主要技术手段之一, 已被广泛应用在土地利用和土地覆盖变化、城市扩展、农情监测等研究领域, 在灾害应急监测、快速评估、风险管理中也有相当的应用^[2-6]。

遥感变化检测的实质是遥感瞬时视场内地物

特征变化在不同时期引起的像元光谱响应的变化^[7]。然而不同时期的遥感图像灰度信息受到来自遥感平台和环境等因素影响, 如传感器参数、太阳角度、大气条件等^[8-9], 使得基于图像灰度信息的变化检测阈值难以准确获取^[10], 从而影响了遥感变化检测的精度。

除光谱信息外, 纹理是遥感影像, 尤其是高分辨率遥感影像中地物目标的重要空间特征之一, 表现为不同灰度值的空间分布。纹理的其中一个重要特性为移不变性, 即纹理的视觉感知基本上与观察位置无关^[11]。由此特性研究人员进行了纹理不变性分析, 研究结果表明纹理特征分析结果不受纹理图像发生某种类型变化影响的, 如几何不变性能适应纹理的几何变换, 光照不变性能适应光照的变化等^[11]。因此, 将纹理特征引入变化检测中, 可以有效利用地物变化中的结构信息, 从而避免由于传感器和环境影响造成的灰度“伪变化”信息。

本文在现有变化检测技术流程之上, 通过纹理特征参数的分析, 结合基于贝叶斯的图像阈值分割技术, 建立了基于纹理特征的高分辨率遥感影像变化检测方法, 并应用在汶川地震前后的福卫-2影像, 与基于光谱影像的变化检测方法进行

^{*} 收稿日期: 2013-12-16 修回日期: 2014-01-14

基金项目: 国家科技支撑项目(2011BAH23B03); 国家自然科学基金资助项目(41301501)

作者简介: 王丽涛(1979-), 男, 河北邯郸人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为灾害监测、遥感模型。

E-mail: wanglt@irsa.ac.cn

了分析对比。

1 研究区及数据

2008 年 5 月 12 日发生的四川汶川 8.0 级特大地震,造成了历史空前的损失和灾难,使我国人民生命财产遭受重创,设施设备受到严重破坏,文化遗产遭受重大损毁,抗震救灾和灾后重建工作面临前所未有的巨大困难,影响深远。同时,地震还引发了滑坡、堰塞湖等次生灾害。

本文研究中选取了两幅汶川地震发生前后的福卫-2 高分辨率遥感影像(图 1)——2008 年汶川地震灾害前(2006 年 5 月 14 日)福卫-2 影像和 2008 年汶川地震灾害后(2011 年 10 月 27 日)的福卫-2 影像,用于开展基于纹理特征的灾害监测应用分析。



(a) 2008 年汶川地震灾害前(2006 年 5 月 14 日)福卫-2 影像



(b) 2008 年汶川地震灾害后(2011 年 10 月 27 日)的福卫-2 影像
图 1 2008 年汶川地震灾害前后福卫-2 影像

2 基于纹理特征的变化检测算法

遥感图像变化检测是通过对不同时期、同区域遥感图像进行分析对比,获取其变化信息的过程。通常变化检测包括了预处理、变化信息提取、变化信息分类等主要过程。基于纹理特征的变化检

测过程可以分为:图像预处理、纹理特征计算、变化阈值选取和变化信息分类等 4 个主要过程(图 2)。

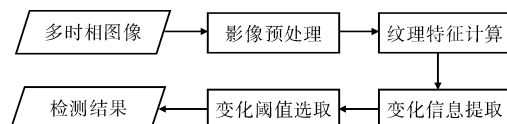


图 2 基于特征的变化检测技术流程

2.1 图像预处理

图像预处理的目的是减少由于遥感平台和环境等因素影响而产生的“伪变化”信息,包括图像配准、辐射校正等处理。图像配准是消除由于几何形变造成的地物位置差异而引起的“伪变化”信息。在遥感成像过程中,由于卫星姿态、传感器参数、成像角度等因素影响,造成不同时相、不同传感器的遥感图像在图像分辨率、几何形状、地理位置等几何形态上的不同,因此需要利用图像配准处理来减少这一影响,提高变化检测的精度。而在传感器记录的光谱信息中,由于入射角、大气条件等因素引起的辐射失真,也会较大地影响变化检测精度,所以应用辐射校正来使多时相图像中这些因素的影响趋于一致,减少随机因素造成的差异。

2.2 纹理信息计算

纹理是物体表面灰度变化内容的表征,它描述了图像区域的平滑、稀疏、规则性等特性^[12]。它可以认为是灰度在空间以一定的形式变化而产生的图案或模式^[13]。同时相对于图像灰度信息,纹理特征包含了地物的排列结构、与周围地物的关系等大量信息,可以较好地用于基于遥感图像的地物识别、图像分类及变化检测等研究^[14-15]。

在纹理特征描述中,应用的方法包括了一阶特征、二阶特征、灰度行程方法和灰度共生矩阵等^[16-17]。其中,灰度共生矩阵方法是应用较多的方法之一。灰度共生矩阵是图像灰度变化的二阶统计度量,是描述纹理结构性质的基本函数^[11],反映了图像灰度关于方向、相邻间隔、变化幅度的综合信息并被广泛用于纹理分类、检索等应用^[14]。由灰度共生矩阵可以计算出一组大约十几种参数,用来定量描述纹理的特性,如角二阶矩、熵、对比度、均匀性、能量、相关等^[18]。

灰度共生矩阵方法假设图像 I 的纹理信息包含于图像中灰度的全局或者是“平均”空间关系中,而这种空间依赖关系矩阵由相邻像素点对的不同角度和距离关系计算获得^[14]。

设 $f(x, y)$ 为研究区域的图像,其大小为 $M \times N$,灰度级别为 N_g ,则满足一定空间关系的灰度共生矩

阵为:

$$p(i,j) = \text{Count}\{(x,y),(x+dx,y+dy) \in M \times N | f(x,y) = i \& f(x+dx,y+dy) = j\} \quad (1)$$

式中: $p(i,j)$ 为像素点的联合概率密度; $\text{Count}(x)$ 表示集合 x 中的像素个数; p 为 $N_g \times N_g$ 的矩阵。

在灰度共生矩阵的基础上,基于“图像的所有纹理特征都可以从灰度空间依赖关系矩阵提取”的假定,可以得到 14 个纹理特征描述符,这些纹理特征大多是相关的,可以分为三组,分别是:一致性、光滑性和相关性。通过相关性分析,本研究选取了角二阶矩、对比度、熵等,其计算公式如下:^[14]

$$f_1 = \sum_i \sum_j (p(i,j))^2, \quad (2)$$

$$f_2 = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i,j) \right\}, (|i-j| = n), \quad (3)$$

$$f_3 = - \sum_i \sum_j p(i,j) \log(p(i,j)). \quad (4)$$

式中: f_1 为角二阶矩,反映了图像一致性的特征。当图像某一区域灰度比较均一时,则角二阶矩值较大;反之地物比较杂乱的区域,角二阶矩值较小。 f_2 为对比度,反映了图像中局部变化大小的特征。在地物杂乱地区,对比度比较明显,表现为高亮区域。 f_3 为熵,是影响混乱程度的函数,在混乱程度比较高的区域,熵纹理图像上表现为高亮度区域。

2.3 变化信息计算

变化信息计算是将处理后的不同时相地物特征(图像光谱信息、纹理特征等)通过运算获取地物时相差异信息的过程。在现有研究中,使用较多的方法包括差值法、比值法、主成分变化法等。其中,差值法是目前应用较为广泛的一种方法,其特点是应用简单,概念直观,可应用于单波段、多波段等多种分析模式。

差值法的计算公式如下:

$$Dx(i,j) = x_1(i,j) - x_2(i,j) + C. \quad (5)$$

式中: $Dx(i,j)$ 为差值计算结果; $x_1(i,j)$ 和 $x_2(i,j)$ 为不同时相的特征信息,在本研究中为计算的纹理特征值; i 和 j 表示像素在图像中的行列号; C 为常量,可根据需要进行设置,通常为 0。

2.4 变化阈值选取

如何在差值结果数据上获取变化区域信息,可以看作一个将差值结果分为变化和非变化的分类过程。在这一过程中如何选取分类阈值是关键,阈值过高或过低则会造成变化区域的漏判或误判,从而影响变化检测的精度。随着计算机应用、模式识别和图像分割等技术的发展,研究人员发展了一些阈值选取的技术,如参数估计法、最大似然估计法、马尔可夫随机场法、贝叶斯决策法等。

贝叶斯决策(Bayesian Decision Theory)就是在不完全情报下,对部分未知的状态用主观概率估计,然后用贝叶斯公式对发生概率进行修正,最后再利用期望值和修正概率做出最优决策。基于最小错误率的贝叶斯决策法是贝叶斯决策理论的一种形式,利用概率论中的贝叶斯公式,建立错误率为最小的分类规则。在此变化检测中,所有像元都可分为两类——变化类(ω_1)和非变化类(ω_2)。根据基于最小错误率的贝叶斯决策法,某一像元(x)属于哪一类通过后验概率判断,其规则如下:

$$\text{如果 } P(\omega_1 | x) > P(\omega_2 | x) \text{ 则 } x \text{ 属于 } \omega_1 \text{ 类;} \quad (6)$$

$$\text{反之 } P(\omega_2 | x) > P(\omega_1 | x) \text{ 则 } x \text{ 属于 } \omega_2 \text{ 类。} \quad (7)$$

式中: $P(\omega_2 | x)$ 和 $P(\omega_1 | x)$ 为像元 x 归类于变化变化(ω_1)和非变化(ω_2)的后验概率,其计算公式如下:

$$P(\omega_i | x) = \frac{p(\omega_i | x)p(\omega_i)}{\sum_{j=1}^2 p(\omega_j | x)p(\omega_j)}. \quad (8)$$

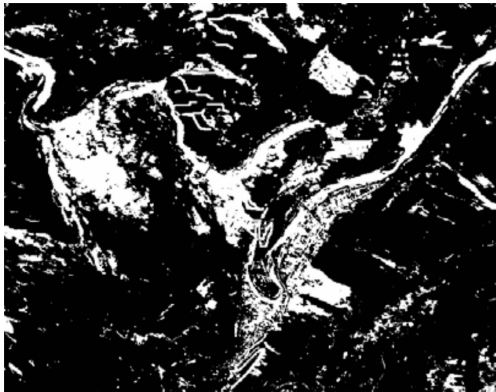
式中: $P(\omega_i | x)$ 为 ω_i 类状态下像元 x 的类条件概率密度,通常假设各类别的状态服从正太分布; $P(\omega_i)$ 为先验概率,由先验知识获得,且对于两类别情况存在 $P(\omega_1) + P(\omega_2) = 1$ 。

3 结果对比与分析

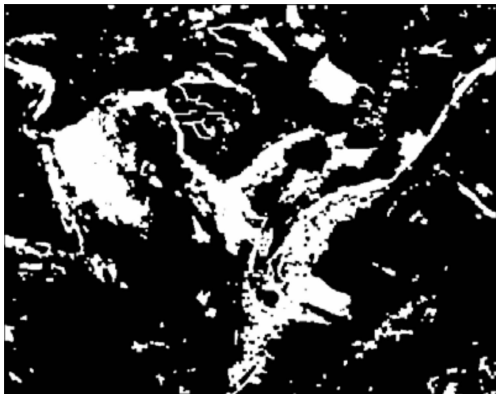
滑坡、泥石流是我国西南主要的地质灾害,是由滑坡土壤或者泥石流淹没水域、道路或者其他地表从而带来经济损失、生态破坏的自然灾害。滑坡在遥感影像上具有明显的形态和结构特征,包括滑坡体、滑动面和滑坡后壁等部分:滑坡后壁通常陡峻并呈围椅状,陡峭的滑坡后壁和它们形成的围谷在图像上表现为向上弯曲的弧形影像;滑坡体与周围地质体在色调、纹理、植被发育及生长状况上有明显的差异;滑动面在高分辨率的卫星图像上显示较清楚,多呈簸箕型、舌形、椭圆形、长椅形、倒梨形、牛角形、平行四边形等,在均质土体中其剖面为一个近似半圆弧形,通常上陡下缓,中部接近水平,前缘出口处常常形成逆向的反坡。由于不能直接见到滑坡的地下部分,滑坡体、滑坡壁和滑坡面是滑坡遥感解译的最基本要素。泥石流在遥感影像上,表现为白色树枝状影像,严重者整个形成区呈花斑状影像,其中有沟床顺直的白色条纹影像和堵塞河流的影像特征^[19-20]。

为比较基于纹理特征的变化检测结果，在本文中构造了基于光谱信息的变化检测技术流程，即使用影像灰度值的代数运算计算变化信息，同样适用贝叶斯算法选取阈值，计算变化结果图。同时，利用监督分类和目视解译结合的方法建立检验“真值”，通过检测结果与检验“真值”之间的分类(变化与非变化)结果对比，建立误差矩阵，利用总体分类精度和 Kappa 系数进行精度评估。

图 3 分别为基于影像的变化检测结果和基于特征的变化检测结果。从两个变化结果上看：主要的滑坡体两种检测方法均能识别为变化区域；由于滑坡涌入河道造成水体发射特征变化，以及河道堵塞，因此在上述两个结果中将河道区域也识别为变化区域；此外，在居民区由于地震灾害直接造成和次生灾害(滑坡)间接造成的房屋损坏、街道掩埋等变化，在变化结果中也有所体现。由此可见，两种变化检测方法都可为进一步的灾情信息识别提供较为可靠的数据。在变化检测中，有两处云引起的非灾情变化区域也被识别为变化区域，需在灾情分析中将两处区域剔除。



(a) 基于光谱信息的变化检测结果



(b) 基于纹理特征的变化检测

图 3 汶川地震灾后福卫-2 影像变化检测结果

但是，在区域细节上，但是在图像灰度信息比较接近的区域，基于纹理特征的变化检测方法

通过纹理特征的提取突出变化信息，较好地保持变化地物的外部特征。从而使得基于纹理特征的变化检测结果精度高于基于图像灰度的变化检测结果精度(表 1)。

表 1 变化检测结果精度分析		
	总体分类精度	Kappa 系数
基于光谱信息的变化检测	80.583%	0.637 8
基于纹理特征的变化检测	88.078%	0.787 8

4 结束语

遥感观测技术为获取地表变化信息提供了一种快速、宏观、经济的技术手段。基于遥感数据的变化检测已成为了地物变化信息获取的主要技术方法，被广泛应用在土地利用和土地覆盖变化、城市扩展、农情监测、灾害监测与灾情评价等研究领域。纹理特征包含了地物的排列结构、与周围地物的关系等大量信息，可以较好地用于基于遥感图像的地物识别、图像分类及变化检测等研究。本文利用纹理特征信息，结合图像阈值分割技术，形成了基于纹理特征的高分辨率遥感图像变化检测方法。应用示例数据进行的比对分析，也表明了基于纹理特征的变化检测方法具有较好的提取精度，能较完整地提取变化地物信息。然而面对复杂的地物变化、光谱信息不可逆等问题，研究人员发展了大量变化检测方法，并尝试建立变化检测体系。同时从“数据多源化”、“方法智能化”、“过程一体化”等方面，结合模式识别、数据挖掘等技术，建立变化检测方法，从而进一步提高变化检测方法的精度和自动程度。

参考文献：

[1] 袁艺, 马玉玲. 近 30 年我国自然灾害灾情时间分布特征分析 [J]. 灾害学, 2011, 26(3): 65-82.

[2] 王琰, 舒宁, 龚龔. 高分辨率遥感影像土地利用变化检测方法研究[J]. 国土资源遥感, 2012, 92(1): 43-47.

[3] 赵琪, 翟永梅, 李铁铮. 高分辨率遥感图像在城市快速震害预测中的应用研究[J]. 灾害学, 2012, 27(2): 72-76.

[4] Mourad Bouziani, Kalifa Goïta, DongChen He. Automatic change detection of buildings in urban environment from very high spatial resolution images using existing geodatabase and prior knowledge Original Research Article [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010, 65(1): 143-153.

[5] Xu Min, Cao Chunxiang, Zhang Hao, et al. Change detection of an earthquake-induced barrier lake based on remote sensing image classification [J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(13): 3521-3534.

- [6] 孔凡明, 蒋卫国, 李京, 等. 基于 MODIS 的 2011 年泰国洪涝受灾信息提取与分析 [J]. 灾害学, 2013, 28 (2): 95 - 99.
- [7] Byrne G F, Crapper P F. Monitoring land-cover change by principal component analysis of multi-temporal Landsat data [J]. Remote Sensing of Environment, 1980, 10: 175 - 184.
- [8] Knut C and Nielsen A A. A test statistic in the complex distribution and its application to change detection in polar metric SAR data [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41 (1): 1493 - 1502.
- [9] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [10] 牛鹏辉, 李卫华, 李小春. 基于贪心 EM 算法的 HMRF 遥感影像变化检测 [J]. 光电工程, 2011, 38 (11): 50 - 56.
- [11] 刘晓民. 纹理研究综述 [J]. 计算机应用研究, 2008, 25 (8): 2284 - 2288.
- [12] Wechsler W. Texture analysis-a survey [J]. Signal Processing, 1980, (2): 271 - 280.
- [13] 章毓晋. 图像工程 (中册) - 图像分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [14] 刘进杰. 基于纹理特征的震损建筑遥感提取方法研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2010.
- [15] 钟桦, 杨晓鸣, 焦李成. 基于多分辨共生矩阵的纹理图像分类 [J]. 计算机研究与发展, 2011, 48 (11): 1991 - 1999.
- [16] Takashi Turosu, Seiho Uratsuka, Hideo Maeno, et al. Texture statistics for classification of land use with multitemporal JERS-1 SAR single-look imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37 (1): 227 - 235.
- [17] Clausi D A, Huang D. Design-based texture feature fusion using Gabor filters and co-occurrence probabilities [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43 (7): 925 - 936.
- [18] 李弼程, 彭天强, 彭波. 智能图像处理技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [19] 陈志鹏. 基于纹理特征的差值变化检测方法研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2002.
- [20] 王福涛. 重大自然灾害损失遥感评估指标与模型研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011.

Remote Sensing Change Detection Method Based on Texture Characteristic in Natural Disaster Monitoring

Wang Litao, Wang Shixin, Zhou Yi, Liu Wenliang,
Wang Feng and Wang Futao

(Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Change detection using remote sensing images is one of the important methods on obtaining land feature information, and is widely used to monitoring the natural disaster. In the change detection methods based on image gray information, the threshold selection is affected by pseudo change information from the effect of sensors and environmental factors. Texture feature has a property of shift invariant, which can use the spatial structure information in change detection and avoid the effect of pseudo change from image gray. An algorithm was presented that using the texture characteristic and image segmentation techniques. The algorithm was validated and analyzed using the sample data. The results show that the algorithm based on the texture characteristic can effectively extract the land features with a better precision.

Key words: texture characteristic; remote sensing images; hazard monitoring; change detection