

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.04.032

面向对象的高分辨率影像变化检测方法研究^{*}

祝锦霞¹ 王珂²

(1. 浙江财经学院经济与社会发展研究院, 杭州 310018; 2. 浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所, 杭州 310029)

摘要: 利用 VHR 影像丰富的地物变化信息对 VHR 影像的变化检测研究具有重要意义。从多尺度分割得到的对象出发,探讨面向对象的多变量变化检测 (MAD) 方法。研究得到面向对象的变化检测 (OB-DFPS) 的总体精度 93.2%, Kappa 系数 0.862。并和传统的面向像元的差异影像方法进行对比,比较分析得到面向对象的变化检测方法鲁棒性更强,精度更高。

关键词: 高分辨率遥感影像 面向对象 多变量变化检测

中图分类号: TP75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)04-0184-06

Object-oriented Change Detection Method Using Very High Spatial Resolution Imagery

Zhu Jinxia¹ Wang Ke²

(1. *Institute of Economic and Social Development, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou 310018, China*
2. *Institute of Remote Sensing and Information System Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China*)

Abstract: Remote sensed imagery with very high resolution (VHR) contains substantial spatial information. Multi-scale segmentation algorithm was used to construct the hierarchical system of objects. The relationships between all features, such as spectral, texture, topography and shape, were analyzed based on canonical correlation analysis (CCA). A difference image was developed by using multivariate alteration detection technology (MAD). The proposed object-oriented double-windows flexible pace searching (OB-DFPS) method achieved accuracy of 93.2%, with Kappa coefficient of 0.862. After compared with traditional pixel-based method, the proposed OB-DFPS method was more robust.

Key words: Very high resolution Object-oriented Multivariate alteration detection

引言

分辨率在 10 m 以内的高分辨率遥感影像 (Very high resolution imagery, VHR) 已经广泛应用于社会经济的很多领域,中低分辨率遥感影像中的点目标在高分辨率影像中变成了面,图像包含更多、更丰富的地理和地形信息。高效利用高分辨率遥感影像丰富的地物细节变化信息、像元之间以及像元属性之间的相互关系,有效地抑制自然地物变化和不同成像条件引起的信息干扰,对高分辨率遥感影像的变化检测研究具有重要的理论意义,也具有的重要的现

实意义。基于波段相减的图像差值法对影像的质量和预处理要求相对较高,不可避免的几何配准误差、相对辐射校正精度、阴影等都是基于差异影像的高分辨率遥感影像变化检测中的典型问题。面向对象的方法能有效缓解变化检测中的这些瓶颈^[1~2]。简单的单波段相减由于没有考虑波段之间的统计相关性,使得绝对值不同的数值相减得到同样大小的差值,忽略了不同地物在不同敏感波段存在的差异,导致潜在可利用信息的丢失^[3~4]。在这背景下,面向对象的变化检测方法能够将像元-像元之间的差异影像推广到对象-对象,提取变化/未变化信息。

收稿日期: 2012-03-30 修回日期: 2012-05-24
^{*} 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 资助项目 (2006AA10Z204) 和美国国家自然科学基金项目 (EF0410408、CCF-0120778)
作者简介: 祝锦霞, 助理研究员, 主要从事环境遥感与土地利用变化研究, E-mail: jxzhzhu1221@gmail.com

本文构造面向对象差异影像的变化检测方法。利用面向对象的多变量变化检测 (Multivariate alteration detection, MAD) 变换得到的差异影像代替原始波段的差值信息进行变化检测研究。对基于 MAD 变换和最小噪声比率变换得到的差异影像作阈值分析。

1 研究区域资料

1.1 遥感影像数据

选择广东省番禺区 2005、2006 年的 SPOT5 (空间分辨率 10 m) 多光谱数据作为研究对象 (图 1)。广东省番禺区位于珠江三角洲 (22°45'N ~ 23°05'N、113°14'E ~ 113°34'E 之间), 占地 1 313.8 km², 属于亚热带海洋性季风气候, 平均温度 22.2℃, 年平均降水量 1 646.9 mm。土地利用类型多样: 农用地、休闲地、水体和建筑用地等。根据 SPOT5 影像的波段特征, 各波段分别反映植被的不同信息, 经过比较分析和实际应用发现 SPOT5 的 B1、B2、B3 波段组合对林缘界线信息表达比较清晰。图 1 是 SPOT5 影像 3 个波段的彩色合成图。研究选择 2005 年 8 月 20 日和 2006 年 8 月 20 日影像的子景作为研究对象, 范围大小 1 001 像元 × 1 001 像元。

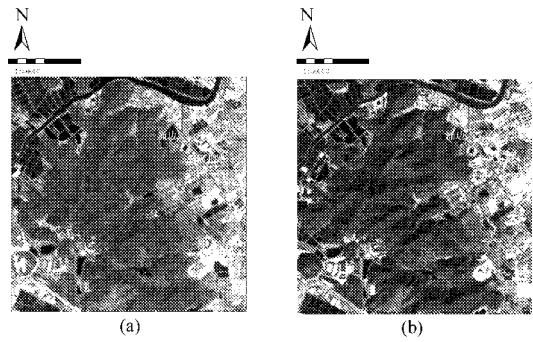


图 1 研究区域影像

Fig. 1 Image of study area

(a) 2005 年 8 月 20 日 (b) 2006 年 8 月 20 日

1.2 多时相遥感影像预处理

每幅影像选择 30 个均匀分布的地面控制点, 在 ArcGIS 9.3 软件中以 2005 年的遥感影像为参考影像, 实现对 2006 年影像的几何配准。残差对应的均方根误差控制在 1 个像元以内。在 2005、2006 年遥感影像中各自选择 30 个准不变特征点 (Pseudo-invariant features, PIFs) 作基于回归的相对辐射校正, 实现了多时相影像的严格的几何配准相对辐射校正, 使得两期影像具有可比性。

2 研究方法

2.1 检测流程

首先对两个时期的遥感影像作面向对象的分

割。其次, 作面向对象的多变量变化检测变换和最小噪声比率变换 (Minimum noise fraction, MNF)。最后通过双窗口变步长 (Double-windows flexible pace searching, DFPS) 阈值方法, 得到变化检测结果, 流程如图 2 所示。传统的面向对象的变化检测是分别对两期影像作面向对象的分割和分类, 最后比较分类结果判断变化/未变化信息。本文方法是在面向对象分割得到的对象基础上, 进行 MAD 变换构建面向对象的差异影像。在对象基础上扩大两期影像的变化信息, 有利于变化/未变化信息的提取。

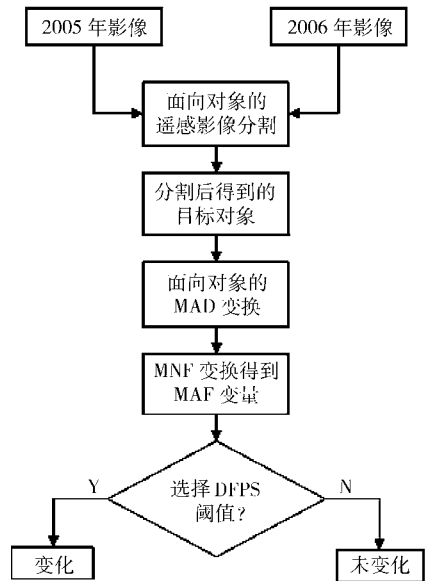


图 2 面向对象的变化检测流程图

Fig. 2 Flow chart of object-based change detection

2.2 多时相遥感影像的面向对象分割和特征选择

多时相遥感影像的面向对象分割在软件 CsIP 中实现 (图 3)。该软件修改了区域生长与合并算法中单像元的区域生长算法 (SLRG), 已经成功应用于多项研究^[5]。CsIP 软件采用了 3 个均质性的标准来判断像元是否合并到种子像元所在的区域中: 相邻像元到种子像元的绝对距离、两个相邻像元的绝对距离、2 个相邻像元的相对光谱差。面向对象分割的重要前提是分割得到的对象具有光谱、纹理、大小、形状、紧凑度等属性, 且更接近于实际地物。以具有这些特征的对象作为基本操作单元进行面向对象的分析处理。通常将光谱异质性和空间异质性标准配合使用, 实现分割后图像对象的权重异质性最小化。通过目视解译对比分析各不同参数的分割结果, 最后选择得到各对应参数设置为: 到种子像元的欧式距离比例为 0.1, 到邻域的欧式距离比例为 0.1。

研究区域影像是 1 001 × 1 001 个像元, SPOT5

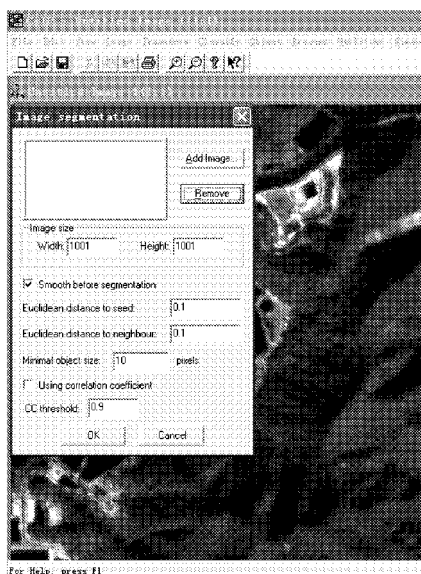


图3 面向对象的影像分割

Fig. 3 Object-based segmentation of imagery

彩色多通道的分辨率为 10 m, 分割后得到 6 059 个对象, 用以实现面向对象的变化检测。多时相遥感影像分割后的对象边界十分清晰, 地物区别明显, 有利于后期分析和处理。在面向对象分割得到的对象中, 分别在 2005 和 2006 两期影像上选择 495 个训练样本, 通过决策树 C5.0 分类器实现特征选择^[6]。

2.3 多变量变化检测和最小噪声比率变换

遥感影像是地球表面信息的反映, 包含的信息在地学空间分析和过程反演中具有模糊性、多解性, 很大程度上是一种随机变量^[7]。因此, 把多时相遥感影像分割得到的对象看作一组多元随机变量, 采用数理统计的方法实现对多时相多通道遥感影像的分析和处理。

Hotelling 提出的典型相关分析 (CCA) 是一种用于分析两组随机变量之间线性关系的统计分析^[8]。通过一定的线性组合将两组随机变量转换成具有一定代表意义的综合变量 (典型变量), 在保持差变信息总量不变的前提下, 用典型变量之间的相关关系代替原始随机变量之间的相关关系。 N 对典型变量的差值计算被定义为双时相影像的多变量变化检测方法 (MAD 变换)^[9]。并且, 基于 MAD 变换得到的差异影像一样受噪声的干扰, 变化与未变化灰度出现重叠, 变化信息呈无序分布, 可分离性降低。MNF 变换可以实现 MAD 变量相应的变化信息与噪声的有效分离。MNF 变换就是在 MAD 变量的基础上, 通过构造各通道变量的线性组合, 使得 MAD 变量中包含的信号与噪声尽可能地分开^[10]。本质就是利用最大信噪比有效的集中变化信息, 将多时相遥感影像的差异信息 (MAD 变量) 分配到互不相关的 MAF 变量中。

2.4 双窗口变步长阈值算法

在包含不同变化类型的典型变化训练样区, 如果能确定某一阈值使变化的检测精度达到最大, 则该阈值在整景图像的检测精度也达到最大, 即训练样区确定的阈值适用于整景图像^[11-12]。首先选取一定数量的典型变化训练样本区 (变化与未变化对象), 然后按给定的步长在合理的搜索范围内寻找获得典型样区变化检测精度最高的那个阈值。搜索过程反复进行, 每次循环对应的范围和步长依次减小, 保证搜索到的变化阈值最优^[11-12]。

2.5 特征选择方法

基于像元的方法浪费了位置信息, 几乎不可能提取描述物体和区域特点的形状信息。高分辨率影像中“同物异谱”和“同谱异物”现象较为普遍, 单独使用光谱特征很难处理这些现象。需要选用多个特征反映不同地物的差异。同时具有海量数据信息及对地物具有不同表征方式的高分辨率遥感影像很难将所有特征放入一个分类器中进行处理, 需要选择合适的特征或特征组合实现特定目标的分离。特征的选择基于图像的特点, 同时对噪声、视角和光照等的影响具有较强的鲁棒性。本文选择不需要任何先验统计假设条件的基于决策树的特征选择方法, 有效地利用了除光谱信息外的其他辅助信息。

2.6 精度评价

采用分层随机抽样方法获得 250 个测试样本, 多时相遥感影像变化检测的测试样本通过实地调查数据选取得到, 并且与训练样本保持相互独立。精度评价指标包括总体精度、用户精度、生产者精度和 Kappa 系数等。选择 Z 检验方法对独立的任意 2 种不同的变化检测方法的 Kappa 系数作显著性分析, 基于 Kappa 系数的 Z 检验定义为

$$Z = \frac{K_1 - K_2}{\sqrt{\text{var}K_1 + \text{var}K_2}}$$

式中 K_1 、 K_2 ——Kappa 系数

$\text{var}K_1$ 、 $\text{var}K_2$ —— K_1 、 K_2 对应的方差

Z 检验方法能够用来测定两种变化检测方法的统计显著性差异。 Z 值越大, 两种方法的差异越显著。

3 结果和讨论

3.1 对象特征的选择

详细分析了不同特征组合对多时相遥感影像变化检测精度的影响。分别选择 13、10、6、5 和 3 个特征, 在基于对象的差异影像上选择 EM 算法提取变化/未变化信息 (表 1)。C5.0 分类器进行特征选择, 得到基于 5 个特征的变化检测结果, 检测精度达到 93.6%, Kappa 系数为 0.87。5 个特征分别是形

状指数、2005 年 band 3 对应的 Stdev 和 EdgMDN、2006 年的 band 1 对应的 Mean、2005 年的 band 2 对应的 Mean。结果表明,特征过多或过少对变化检测结果的影响较大,差异显著。特征过多,造成信息冗余和重复。一方面计算时间大大增加,效率不高,另一方面,容易造成未变化信息的漏判和变化信息的错判,降低变化检测的精度。特征信息摄入过少,不能全面地获取遥感影像对象的信息,变化检测的精度也会受影响。

表 1 不同特征个数的变化检测精度分析
Tab.1 Accuracy of change detection based on different features

特征数	总体精度/%	Kappa 系数
13	52.4	0.132 9
10	80.4	0.603 5
6	77.2	0.561 5
5	93.6	0.870 0
3	76.8	0.516 2

3.2 面向像元/对象的变化检测

基于像元的变化/未变化检测的误差矩阵表明(表 2),面向像元的变化检测(P-DFPS)中变化信息的生产者精度较高(87.16%),用户精度相对较低(76%),而未变化信息对应的用户精度高(88.8%),生产者精度低(78.72%)。P-DFPS 算法的总体精度是 82.4%,Kappa 系数 0.648。说明 P-DFPS 算法对变化信息的漏判较少,未变化信息的错判现象显著。基于像元的变化检测结果图斑比较破碎,椒盐效应明显(图 4a)。

面向对象的变化检测误差矩阵(表 3)得到面向对象的变化检测(OB-DFPS)的总体精度 93.2%,Kappa 系数 0.862,说明面向对象的变化检测方法鲁棒性强。OB-DFPS 得到未变化对象 93.62%的生产者精度及 94.29%的用户精度,表现出较强的对未变化对象的识别能力。图4b描述的是面向对象的

表 2 基于 DFPS 阈值算法的面向像元的
变化检测误差矩阵

Tab.2 Error matrix of pixel-based change detection based on DFPS method				
P-DFPS	未变化	变化	用户精度/%	
未变化	111	14	125	88.80
变化	30	95	125	76.00
总和	141	109	250	
生产者精度/%	78.72	87.16		
总体精度/%	82.40			
Kappa 系数	0.648			

表 3 基于 DFPS 阈值算法的面向对象变化检测误差矩阵
Tab.3 Error matrix of object-based change detection based on DFPS method

OB-DFPS	未变化	变化	总和	用户精度/%
未变化	132	8	140	94.29
变化	9	101	110	91.82
总和	141	109	250	
生产者精度/%	93.62	92.66		
总体精度/%	93.20			
Kappa 系数	0.862			

变化检测方法得到的结果分布图。

DFPS 阈值处理得到的基于像元和对象的变化检测结果如图 4c 所示,灰色范围是面向对象的结果,黑色区域对应的是像元。比较得到,基于像元的变化检测结果图斑比较破碎,椒盐效应显著(图 4b);水体、林地和部分建筑物存在一定程度的错检;河流两侧由不可避免的几何配准误差导致的“伪变化信息”显著。

对象尺度上得到的变化检测结果图斑边界清晰;水体、林地和建筑物的错检漏检较少;几何配准误差对变化检测结果的影响较小。不同变化/未变化检测结果的细节比较如图 5 所示,深色和较浅色区域是利用 DFPS 阈值选择得到的变化信息。图 5a、5c、5e、5g 是 2005 影像叠加 4 个小区域范围

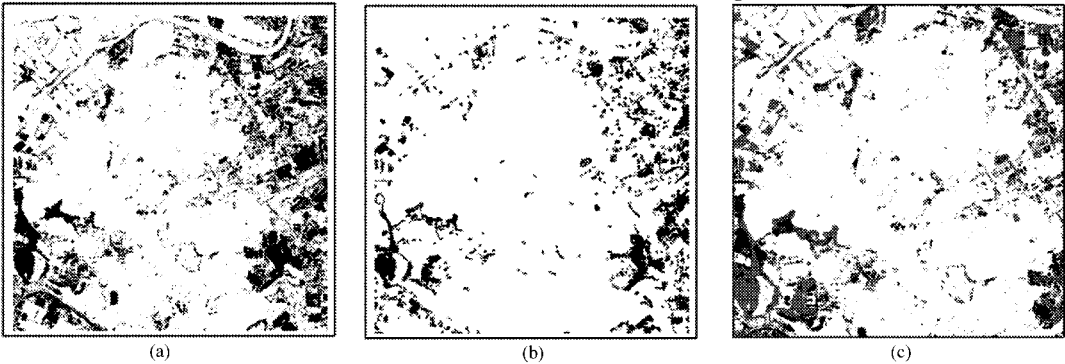


图 4 变化检测方法比较

Fig.4 Results of different change detection methods
(a) P- DFPS (b) OB-DFPS (c) P-DFPS 和 OB-DFPS

的变化信息;图 5b、5d、5f、5h 是 2006 影像叠加 4 个小区域范围的变化信息。通过对比同一区域,如区域图 5a、5b、5c、5d 得到的是 OB-DFPS 算法漏判的部分变化信息,如检测未建成建筑到建筑物、裸地到建筑物的变化。区域图 5e、5f、5g、5h 得到的漏判林地到建筑物的变化。通过基于像元和对象的变化检测的 Kappa 系数的显著性差异分析,Z 检验得到两者之间的相伴概率 p 均小于显著性水平 0.05 ($Z = 3.71 > 1.96$),Kappa 系数之间差异显著。

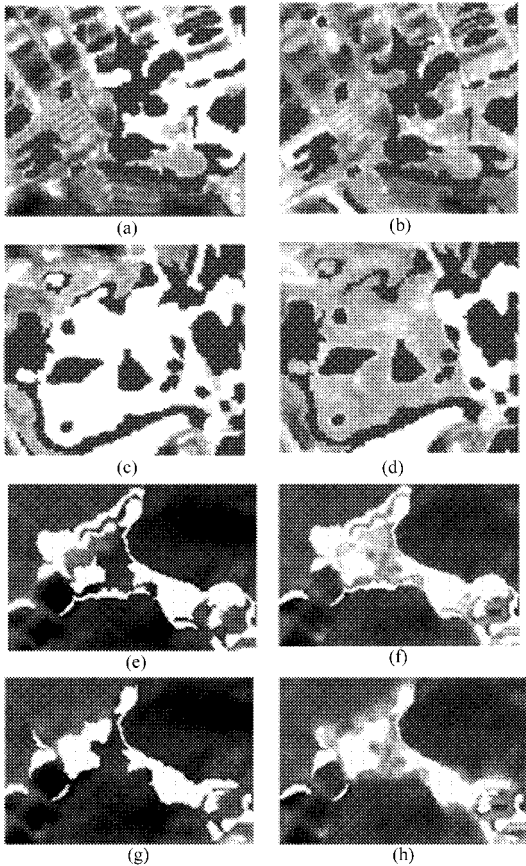


图 5 变化检测结果细节图

Fig.5 Detail information of change detection results using different methods

(a)、(c)、(e)、(g) 2005 影像叠加变化信息
(b)、(d)、(f)、(h) 2006 影像叠加变化信息

面向对象和面向像元的变化检测结果显著不同,原因如下:

(1) 像元尺度上,高分辨率遥感影像的“椒盐效应”显著。面向对象的分割技术得到具有相同尺度的对象组,分割得到的对象具有与真实世界目标对象相一致的信息,包含光谱、纹理、形状等多种特征。将分割得到的对象作为高分辨率遥感影像直接比较的研究对象,能成功地抑制“椒盐”噪声的产生。对象的引入不仅充分利用了纹理、光谱等信息,还能处理来自不同传感器的多时相影像数据,降低了对遥感影像原始数据的要求,而且减小了遥感影

像成像过程中由于传感器、天气条件等原因引入的随机噪声,以及多时相影像之间不可避免的几何配准误差对变化检测结果的影响。并且基于像元的变化检测只利用了像元的光谱信息,没有充分考虑像元之间的关系。因为在实际应用中,单个像元检测变化或未变化类别的过程并非完全独立,当一个像元的邻域像元均属于变化类别,该像元判定为变化类型的概率大于未变化类型,反之亦然。

(2) 理论上,两时相 MAD 变量的相关性最小就意味着空间分布模式之间的差异最大。但由于差异原因的多样性,很大程度上差异不等同于变化。Dai 等指出两幅影像之间的位置误差是不可避免的^[13]。由于高分辨率影像单个像元异质性大,类内差异显著,地理位置对准的难度增加,很容易干扰和影响多时相遥感图像的匹配。高分辨率影像单个像元异质性大,类内差异显著,加大了空间不一致或者空间几何配准误差等对变化检测的影响。由于空间不一致或者空间几何配准误差等造成的影响更加明显^[14],不可避免的几何配准误差在高分辨率遥感影像中以较好的形状特征呈现。如中低分辨率遥感影像中呈现典型等灰度线状特征的道路在高空间分辨率影像中表现出一定的宽度,面状特征显著。进一步加大了空间不一致或者空间几何配准误差对变化检测结果的影响^[14],容易夸大或者掩盖真实的变化信息得到错判结果^[15]。面向对象的变化检测中用均质性的对象代替单个像元作为最小处理单元,不仅能减弱几何配准造成的“伪变化信息”的影响,还能抑制不同时相遥感影像色调差异引起的伪变化。

(3) 面向对象的 MAD 变换,不仅充分利用了纹理、光谱等信息,对象的应用还能处理来自不同传感器的多时相影像数据,降低了对遥感影像原始数据的要求。能减小遥感影像成像过程中由于传感器、天气条件等引入的随机噪声。面向对象的 MAD 变换是以特征对象的相关性分析为基础。理论上,两时相 MAD 变量的相关性最小就意味着其空间分布模式之间的差异最大。但由于差异原因的多样性,很大程度上差异不等同于变化。因为除了正确的变化信息外,一方面,不可避免的几何配准误差在高分辨率遥感影像中以较好的形状特征呈现,分割后得到“伪变化信息”对象。这些对象在作基于 MAD 变换的变化检测过程中,根据相关性最小检测成为变化信息;另一方面,高水平噪声导致局部范围内对象变化剧烈。变化与未变化两类对象的分布容易出现较多重叠,可分离性低。当地物真实的变化造成的差异被这些扰动因素生成的差异所淹没的时候,不能真实地反映出地物的变化信息。以最大信噪比为

基础的 MNF 变换,就是找到 MAD 变量的一个线性变换,使得 MAD 变量中包含的信号与噪声能尽可能地分开,实现变化信息向少数变量的集中。利用相关性分析得到基于 MAF 变量的差异影像,对象信息变化幅度相对较小,空间信噪比较高,很好地去除了噪声、几何配准误差等的影响,集中了变化信息,纹理清晰,边缘清楚,同时利用相关性分析很好地将水体、林地等造成的“伪变化信息”加以剔除。

4 结束语

运用基于对象差异影像得到面向对象的变化检测结果,并与基于像元的变化检测结果进行了比较,得到对象尺度上的变化检测精度优于像元尺度,差异显著。基于 MAD 变换的面向对象的变化检测方法较为准确地获取变化与未变化信息。

参 考 文 献

- 1 Bruzzone L, Prieto D F. Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection [J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 2000, 38(3): 1 171 ~ 1 182.
- 2 Carleera A, Debeirb O, Wolffa E. Comparison of very high spatial resolution satellite image segmentations [J]. Citeseer, 2004, 5238: 532 ~ 542.
- 3 Singh A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10(6): 989 ~ 1 004.
- 4 Coppin P, Jonckheere I, Nackaerts K, et al. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(9): 1 565 ~ 1 596.
- 5 Guo Q, Kelly M, Gong P, et al. An object-based classification approach in mapping tree mortality using high spatial resolution imagery [J]. GIScience & Remote Sensing, 2007, 44(1): 24 ~ 47.
- 6 Qian Y, Zhang K, Qiu F. Spatial contextual noise removal for post classification smoothing of remotely sensed images [C] // Proceedings of the 2005 ACM Symposium on Applied Computing, Santa Fe, New Mexico ACM, 2005.
- 7 陈述彭. 遥感地学分析 [M]. 北京: 测绘出版社, 1990.
- 8 Hotelling H. Relations between two sets of variates [J]. Biometrika Trust, 1936, 28: 321 ~ 377.
- 9 Nielsen A A , Conradsen K, Simpson J J. Multivariate alteration detection (MAD) and MAF post-processing in multispectral, bi-temporal image data: new approaches to change detection studies [J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 64(1): 1 ~ 19.
- 10 Green K, Kempka D, Lackey L. Using remote-sensing to detect and monitor land-cover and land-use change [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1994, 60(3): 331 ~ 337.
- 11 陈晋, 何春阳, 卓莉. 基于变化向量分析(CVA)的土地利用/覆盖变化动态监测(Ⅱ)——变化类型的确定方法 [J]. 遥感学报, 2001, 5(5): 346 ~ 352.
Chen Jin, He Chunyang, Zhuo Li. Land use/ cover change detection with change vector analysis (CVA): change type determining [J]. Journal of Remote Sensing, 2001, 5(5): 346 ~ 352. (in Chinese)
- 12 陈晋, 何春阳, 史培军, 等. 基于变化向量分析的土地利用/覆盖变化动态监测(Ⅰ)——变化阈值的确定方法 [J]. 遥感学报, 2001, 5(4): 259 ~ 266.
Chen Jin, He Chunyang, Shi Peijun, et al. Land use/cover change detection with change vector analysis (CVA): change magnitude threshold determining [J]. Journal of Remote Sensing, 2001, 5(4): 259 ~ 266. (in Chinese)
- 13 Dai X, Khorram S. Quantification of the impact of mis-registration on the accuracy of remotely sensed change detection [C] // IGARSS'97. Remote Sensing-A Scientific Vision for Sustainable Development, 1997 IEEE International Geoscience and Remote Sensing, 1997, 4: 1 763 ~ 1 769.
- 14 Zhou W, Troy A. An object-oriented approach for analyzing and characterizing urban landscape at the parcel level [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(11): 3 119 ~ 3 135.
- 15 Roy D P. The impact of misregistration upon composited wide field of view satellite data and implications for change detection [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(4): 2 017 ~ 2 032.