

# 遥感影像变化检测方法综述及展望

孙晓霞<sup>①②</sup>, 张继贤<sup>②</sup>, 燕琴<sup>②</sup>, 高井祥<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> 中国矿业大学, 徐州 221116; <sup>②</sup> 中国测绘科学研究院, 北京 100830)

**摘要:** 变化检测技术是遥感应用领域的一个重要研究方向。本文首先对常见的变化检测方法进行了概括性介绍与优缺点评述, 并分析了当前变化检测方法中存在的普遍问题; 并在此基础上, 展望了一种基于影像分割的变化检测方法: 在仅对其中一个时相影像进行分割的基础上, 建立了两时相影像间的对应图斑单元与变化判别规则, 实现图斑单元间的直接比较来提取变化信息。并分析了基于分割的变化检测方法与像素级变化检测方法相比具有的优势。

**关键词:** 遥感; 变化检测; 影像分割

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.01.023

**中图分类号:** TP79    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3177(2011)113-0119-05

## A Summary on Current Techniques and Prospects of Remote Sensing Change Detection

SUN Xiaoxia<sup>①②</sup>, ZHANG Jixian<sup>②</sup>, YAN Qin<sup>②</sup>, GAO Jingxiang<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> Chinese University of Mining and Technology, Jiangsu 221116;

<sup>②</sup> Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830)

**Abstract:** Change detection is one of the important topics in remote sensing application field. In this paper, the main methods applied in change detection were firstly introduced and evaluated. The problems existing in the current techniques were analyzed, and then a novel image segmentation based change detection approach was proposed. In this method, one of the two images is firstly segmented into homogeneous regions, and then the second image is divided into regions using the same polygons generated in the first image. Finally, the two images are compared by region to region using the established detection rules. This method is expected to improve the accuracy and the speed of change detection to some extent. At last, the advantage of the image segmentation based change detection approach was presented by being compared with the pixel based change detection method.

**Key words:** remote sensing; change detection; image segmentation

### 1 引言

随着社会与科技的发展, 人类开发资源与改造自然的能力不断增强, 自然界的变化和人类的各种活动每天都在改变着地表景观及其土地利用形式。世界人口的快速增长及城市化的发展, 加快了这种变化的速度<sup>[1]</sup>。这些变化将对地球资源和生态环境产生深远的影响, 已经引起了广泛关注。土地利用

与土地覆盖变化研究已经成为全球变化研究中的前沿与热点。由于遥感对地观测具有实时、快速、覆盖范围广、多光谱、周期性等特点, 遥感技术已经成为变化检测最主要的技术手段, 变化检测研究也是目前遥感应用方法研究中的热点之一。

最近 20 年来, 各国学者相继发展了许多基于遥感技术的变化检测方法<sup>[2-6]</sup>, 也出现了不同的划分方法, 大致可以归纳为以下几种。按数据源将变化

收稿日期: 2010-01-08    修订日期: 2010-08-30

基金项目: 中国测绘科学研究院基本科研业务类 (ID: 7771032)。

作者简介: 孙晓霞(1971~), 女, 在职博士生, 主要从事遥感影像变化检测及信息提取方面的研究。

**E mail:** sunxx@casm.ac.cn

检测方法分为 3 类: 基于新旧影像的变化检测、基于新时期影像旧期非影像数据的变化检测、基于立体像对的三维变化检测; 按处理的信息层次将变化检测划分为像元级、特征级与决策级 3 个层次; 按是否经过分类将其分为直接比较法和分类后比较法两类; 最近还有学者按照采用的数学方法将变化检测技术分成代数运算法、变换法、分类法、GIS 法、高级模型法等 7 种<sup>[7]</sup>。随着土地覆盖变化的复杂性以及遥感数据多样性的增加, 新的变化检测方法以及新的图像处理算法不断涌现, 例如, 利用变化向量分析法、马尔科夫随机场模型进行变化检测, 利用概率统计学理论进行基于图斑的变化检测法, 利用支撑向量机、面向对象技术进行分类等<sup>[8-13]</sup>。总之, 多项研究与实践证明, 目前还没有哪种方法被普遍认为是最优的, 由于这些方法大多是在不同的环境下基于不同的用途提出来的, 各自具有不同的适用性与局限性。伴随着遥感数据获取技术的快速发展, 越来越多各具特色的遥感数据及其组合对变化检测提出了新的技术要求。本文对已有变化检测技术方法进行了总结与评价, 并在此基础上, 提出了一种基于影像分割的变化检测新思路。

## 2 遥感影像变化检测技术现状

遥感影像变化检测是从不同时期的遥感数据中, 定量地分析和确定地表变化的特征与过程<sup>[11]</sup>。简单地说就是通过遥感手段, 对同一地区不同时期的两个影像提供的信息进行分析、处理与比较, 获取该时间段内的土地利用与覆盖变化信息。从技术流程上看, 一般包括影像预处理、变化信息发现、变化区域提取与变化类型确定几个过程<sup>[14]</sup>, 其中关键环节是变化信息发现, 多数研究都是围绕该环节进行的。本文为了便于分析, 仍沿用传统的划分方法, 即将变化检测方法分为直接比较法和分类后比较法两种类型进行阐述。

### 2.1 直接比较法

直接比较法是不经过分类, 而直接对同一区域不同时相遥感影像的光谱信息进行处理比较, 进而确定变化的位置与范围, 然后通过人工目视解译或分类确定变化的类型。目前常用的直接比较法主要有影像代数法、主成分分析法、影像回归法、假彩色合成法、光谱特征变异法、交叉相关分析法、变化矢量分析法等。这些方法的优点是直接确定变化的位置, 避免大范围分类, 提高了检测效率, 缺点是不能提供变化的类型。

影像代数法是一种最常用的变化检测法, 包括影像差值法与影像比值法。影像差值法(或比值法)就是将两个时相遥感图像的对应波段相减(或相除)。其原理是: 图像中未发生变化的地类在两个时相的遥感图像上一般具有相等或相近的灰度值, 而当地类发生变化时, 对应位置的灰度值将有较大差别。因此在差值(或比值)图像中, 没有发生变化区域的像素值接近 0(或 1), 从而使变化信息从背景影像中显现出来。该方法优点是运做起来简单快速, 不过应用之前需要做相对辐射归一化处理。不足之处在于变化阈值难以确定, 由于是通过点对点运算, 所以一般差值(或比值)图像存在很多的噪声, 且不能提供变化的属性。但是当地物类型比较单一, 色调纹理比较均匀, 变化特征比较明显时还是有效的。而当影像特征比较复杂时, 该方法还可以配合其他方法综合使用。

主成分分析法(Principal Components Analysis, 简称 PCA)是对经过配准的不同时相遥感影像进行主成分变换, 以压缩波段之间的相关信息, 生成互不相关的多时相主分量合成图像, 然后对主分量信息进行对比, 进而检测变化的一种方法。PCA 用于变化检测主要有 3 种方式: ①是主成分差异法, 即对两个时相的影像分别进行 PCA 变换, 选择主要的几个主成分计算他们之间的差值来检测变化; ②是差异主成分法, 是第一种方法的逆过程, 即先对两时相影像做差值处理, 然后对差值影像进行 PCA 变换, 取一个或几个主要的分量进行变化检测; ③是多波段主成分变换法, 即将两时相影像的各个波段组合成一个新的混合影像, 对这个混合影像进行主成分变换, 前几个主要分量体现的是不变的信息, 而发生变化的信息将会集中在后几个次要分量中, 因此对后几个分量进行分析就可以检测出变化信息。

影像回归法首先假定 T1 时相的像元值是 T2 时相像元值的一个线性函数, 通过最小二乘法来进行回归, 然后用回归方程计算出的预测值减去 T1 时相的原始像元值, 从而获得两时相的回归残差图像。通过设定阈值来确定变化区域。其中对遥感数据进行回归处理在一定程度上相当于进行了辐射校正的相对校正, 因而能够减弱多时相数据中由于大气条件和太阳高度角的不同所带来的不利影响<sup>[15]</sup>。

假彩色合成法的思路是将不同时相同一波段的数据分别赋以红、绿、蓝三种颜色, 通过假彩色合成来突出显示变化。该方法可以同时显示两个或三个时相的变化, 但不能定量表示变化的数量, 也无法分

辨变化类型。

光谱特征变异是通过两时相数据直接融合运算发现变化,一般是将新时相的高分辨率遥感数据跟旧时相的多光谱数据进行融合处理,变化区域反映在融合后影像中光谱发生突变的位置。该方法简单易行,但对小地物反映不够灵敏。

交叉相关分析法(Cross-Correlation Analysis,简称CCA),这种方法一般应用于旧期为土地利用现状图,新期为遥感影像的情况。首先将遥感影像同旧期土地利用现状图配准叠置,用现状图的边界将遥感图像划分为不同的图斑单元,统计各个图斑单元的光谱响应均值和标准差,得到“期望值”,然后比较每个像元期望值与光谱实际值之差。如果差值比较大,说明是可能发生变化的区域。该方法的难点是差值的阈值的确定<sup>[6]</sup>。

变化矢量分析法(Change Vector Analysis,简称CVA)是通过描述从T1时相到T2时相光谱向量变化的方向和大小来检测变化的一种方法。首先对两时相的影像分别做KT变换,取变换结果的第一和第二分量,根据影像转换的经验系数对上面的两对分量做旋转变换以使结果分别对应两时相的绿色(G)和亮度(B)值,然后在G、B坐标系中,分别计算变化矢量的方向分量(Saturation)和幅度分量(Hue),进而通过设定阈值检测变化。

## 2.2 分类后比较法

分类后比较法是一种较为简单明晰的变化发现方法。首先运用统一的分类体系对每一时相遥感影像单独进行分类,然后通过对分类结果的比较直接发现变化。

该方法经单独分类后比较,可以直接获取变化的类型、数量和位置,对研究区的土地覆盖变化不需要有先验认识;而且能回避所用多时相数据因获取季节不同和传感器不同所带来的归一化问题;另外,因为它是单独分类,无时相数的限制,因此分类后比较法可以同时进行两个时相以上的遥感影像的变化检测分析。但分类后比较法一直被认为存在一些较严重的缺陷。首先,这种对不同时期土地覆盖分类数据的比较,无法检测出存在某一种土地覆盖类型内部的细微变化;再者,两个时相分类数据进行比较后生成的变化图,其精度只大致相当于每个时相分类精度值的乘积,这是因为存在于每一单独分类中的误差会在空间比较过程中被进一步放大。尽管分类后比较法存在精度方面的缺陷,但由于其方法简单,故仍然被经常使用。

## 3 变化检测方法存在的问题分析

通过对上述各种变化检测方法的分析可以发现,目前还没有一种速度快、精度较高、通用性好且易于使用的变化信息提取方法。主要体现在两个方面:一是由于现有的变化检测方法大多是针对具体应用提出来的,对数据源、检测对象、地面环境等都有着特定的要求;二是没有形成系统化理论,变化检测所涉及的一些技术,如数据预处理、变化发现方法的选择、变化阈值的确定等往往依靠经验<sup>[7]</sup>。究其原因现有的变化检测方法主要是基于像元进行的,缺乏知识引导的特征级变化检测方法。除交叉相关分析法,部分分类后比较法外,其他方法均以像元处理为基础实现,只能使用图像的光谱特征值的统计信息,而没有利用地物形状、结构、相互关系等信息。事实上,这种基于像元的方法过于着眼于影像的局部光谱结构特征而忽视了周围图斑的相互关系及几何结构情况,难以处理影像的语义信息,从而导致信息提取的精度受到严重制约。例如,对于“同谱异物”现象则无法解决。此外,基于像元的地物目标信息提取需要进行大量的人工交互修正后处理,费时费力。

事实上,对于变化检测来说,不发生变化的信息占主流,因此两期遥感数据中同时含有大量的与实际地物一致的光谱与特征信息,如果利用计算机将遥感影像分割成一个个图斑单元(即像素群),充分利用图斑单元所具有的光谱、几何特征、上下文联系等信息,则可在特征级的基础上实现自动化与量化的变化信息检测,将大大提高变化检测的精度和效率。于是,近些年来,已有学者开始将面向对象的方法引入到变化检测中<sup>[11-13]</sup>,有些学者是利用面向对象的方法对两时相影像进行分类,然后通过对分类结果的比较发现变化;有的是对两时相影像进行整体分割,然后对分割结果进行处理提取变化信息,还有学者对两幅图像分别进行分割,然后为了用相同的区域来描述不同影像,采用了将分割结果进行融合的方法。这些在一定程度上提高了变化检测的精度,是对面向对象的特征级变化检测方法的一个有意义探索。在上述研究的基础上,本文提出了一种基于影像分割的智能化变化检测新思路,试图解决两时相影像分割区域的一一对应问题,实现基于图斑单元的特征级变化检测。

## 4 基于影像分割的智能化变化检测方法

基本思想是将遥感影像看作是由若干个具有同

质特征的像素群(即图斑单元)组成。通过对不同时相的对应图斑单元的比较检测变化。为实现基于影像分割的变化检测,首先采用影像分割或空间聚类技术,仅对其中一个时相影像(T1)进行分割,生成图斑单元;同时建立基于图斑光谱色调、几何特征、上下文关系等特征的判别规则,并选取各地类典型样本图斑,形成各地类遥感数据样本库。然后,将T1时相的分割影像同T2时相的遥感影像配准叠置,以图斑单元为单位进行特征匹配,当二者差值超过设定的阈值时,则视为变化区域,并通过与样本库中各类别知识的匹配识别出具体的变化类别。具体流程如图1:



图1 基于影像分割的智能化变化检测流程图

该方法采用了仅对其中一个影像进行分割,并将分割生成的图斑边界与另一影像的同一区域叠置匹配的方法,可以很好地解决用相同的区域分割来描述两时相影像,实现图斑单元对图斑单元的一一比较问题,实现基于分割的特征级变化检测。该方法同基于像素级别上的变化检测方法相比具有以下优点:

(1) 提高了遥感影像信息的利用程度,具有更高的精度。图斑单元相比单个像元要具有更多的信息,基于像素级别的信息提取一般只考虑了像元的光谱特征信息,而忽略了整块图斑的几何结构及相互关系情况,从而严重制约了信息提取的精度,而基于影像分割的变化信息提取,综合考虑了光谱统计特征、形状、大小、纹理、相邻关系等一系列因素,因而具有更高的检测精度。

(2) 避免了“椒盐”现象,减少后处理的工作量。基于影像分割方法首先提取同质区域然后进行变化检测,从而避免了基于像元方法检测结果中的“椒盐”影响,使变化结果更有意义。

(3) 缩小处理范围,提高检测速度与精度。将影像分割成不同大小的同质图斑块,极大地减少了需要处理的单元数,而且仅需对发生变化的区域进行地类识别,不必整体分类,与分类后比较法相比,大大缩小工作量,提高了变化检测的速度。另外,采用图斑单元的直接比较,还避免了分类后比较法中两次分类误差对最终结果的累积影响,进一步提高了变化检测的精度。

(4) 提高了自动化程度。该方法由于引入了知识引导机制,借助于事先建立的地类样本知识库,在获取变化的位置与面积的同时,可以自动识别变化的类型,在一定程度上提高了变化检测的自动化程度。

当然该方法还处于试验探索阶段,还存在着一些难点问题,如不同数据源不同尺度的影像分割、知识引导的判别规则的构建以及变化图斑单元的发现等,还有待于进一步研究与完善。

## 5 结束语

遥感变化检测技术为资源调查、环境与灾害监测提供了有利的研究手段,一直是遥感应用领域的研究热点。长期以来许多科研人员根据不同的应用目的和要求,发展了多种遥感影像变化检测方法,随着多传感器、多分辨率、多时域、多尺度的海量遥感数据的急剧增加,以及人们对变化信息提取精度要求的不断提高,使得传统的变化检测技术面临着严峻的挑战,因而不得不探索新的理论和方法,充分利用遥感影像提供的丰富信息,发挥遥感技术在宏观、快速、可靠、重复观测等方面的优势,提高变化检测的精度和适用性。目前变化检测方法模型主要还是停留在像素级的数据引导上,缺乏知识引导的特征级变化检测方法<sup>[17]</sup>。基于影像分割分析方法的提出,为解决困扰遥感影像处理的瓶颈难题提供了一个新的思路。基于影像分割的分析方法已在 eCognition 等影像分类软件中发挥了重大作用,将其应用于变化检测,也必将大大提高变化检测的精度和速度,是今后变化检测技术的主要研究方向之一。

## 参考文献

- [1] 赵英时,等. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 241- 242.
- [2] Singh, A.. Digital change detection techniques using remotely sensed data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10(6): 989- 1003.
- [3] Mouat, D. A., Mahin, G. C., Lancaster, J. . Remote sensing techniques in the analysis of change detection[J]. Geocarto International, 1993, 8(2): 39- 50.
- [4] Arzandeh, S., J. Wang. Monitoring the change of phragmites distribution using satellite data[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2003, 29(1): 24- 35.

- [5] Radke, R. J., Andra, S., Af Kofahi, O., Roysam, R. Image change detection algorithms: A systematic survey[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(3): 294– 307.
- [6] Deren Li. Remotely sensed images and GIS data fusion for automatic change detection[J]. International Journal of Image and Data Fusion, 2010, 1(1): 99– 108.
- [7] 张晓东. 基于遥感影像与 GIS 数据的变化检测理论和方法研究[D]. 武汉: 武汉大学. 2005.
- [8] Nackaert S K, Vaesen K, Muys B, et al. Comparative performance of a modified change vector analysis in forest change detection [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26 (5) : 839– 852.
- [9] 申邵洪, 谭德宝, 梁东业. 基于马尔科夫随机场的多时相 SAR 影像变化检测研究[J]. 长江科学院院报, 2010 (01) : 49– 51.
- [10] 廖明生, 朱攀, 龚健雅. 基于典型相关分析的多元变化检测[J]. 遥感学报, 2000, 4(3): 197– 201.
- [11] Benz, U.. Definiens imaging gmbH: Object oriented classification and feature detection[J], IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter, 2001(9): 16– 20.
- [12] 赖祖龙, 申邵洪, 程新文, 张洁. 基于图斑的高分辨率遥感影像变化检测[J]. 测绘通报, 2009 (8) : 17– 20.
- [13] 黄勇, 王建国, 黄顺吉. 基于图像分割的 SAR 图像变化检测算法及实现[J]. 信号处理, 2005, (2): 149– 152.
- [14] 张继贤, 杨贵军. 单一时相遥感数据土地利用与覆盖变化自动检测方法[J]. 遥感学报, 2005(3) : 294– 299.
- [15] 张振龙, 等. 遥感变化检测方法研究综述[J]. 遥感信息, 2005 (3) .
- [16] Gregory Koeln. Cross correlation analysis: mapping land cover changes with a Historic land cover data base and a recent, single date, multispectral image [C]// ASPRS Annual Convention, Washington. 2000.
- [17] 李德仁. 利用遥感影像进行变化检测[J]. 武汉大学学报, 2003, 28(特刊): 7– 12.

(上接第 13 页)

### 参考文献

- [1] C Pohl, JL van Genderen. Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(5): 823– 854.
- [2] 李晖晖, 郭雷, 刘航. 基于互补信息特征的 SAR 与可见光图像融合研究[J]. 计算机科学, 2006, 33(004) : 221– 224.
- [3] 李晖晖, 郭雷, 刘航. 基于不同类型小波变换的 SAR 与可见光图像融合研究[J]. 光子学报, 2006, 35(8): 1263– 1266.
- [4] Gang Hong, Yun Zhang, Bryan Mercer. A wavelet and IHS integration method to fuse high resolution SAR with moderate resolution multispectral images[J]. Journal of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2009, 75(10): 1213– 1223.
- [5] Chibani, Youcef. Additive integration of SAR features into multispectral SPOT images by means of the a' trous wavelet decomposition[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2006, 60(5): 306– 314.
- [6] Alparone, L., S. Baronti, A. Garzelli, et al. Landsat ETM+ and SAR image fusion based on generalized intensity modulation[J]. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 2004, 42(12) : 2832– 2839.
- [7] 贾永红. TM 和 SAR 影像主分量变换融合法[J]. 遥感技术与应用, 1998, 13(001): 46– 49.
- [8] S. Abdikan. Fusion of Sar images( palsar and RADARSAT- 1) with multispectral SPOT image: A compapative analysis of resulting images[C]// ISPRS. BEIJING. 2008: 1197– 1202.
- [9] 贾永红, 李德仁, 刘继林. 四种 IHS 变换用于 SAR 与 TM 影像复合的比较[J]. 遥感学报, 1997, 2(2) : 103– 106.
- [10] Chen, C. M., G. F. Hepner, R. R. Forster. Fusion of hyperspectral and radar data using the IHS transformation to enhance urban surface features[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 58(1– 2): 19– 30.
- [11] Jorge Nunze, XaviernOtazu, Octavin Fors, etc. Multiresolution based image fusion with additive wavelet decomposition [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999(37): 1204– 1211.
- [12] Te Ming Tu, Shuir Chi Su, Hsuer Chyun Shyu, Ping S. Huang. A new look at HIS like image fusion methods[J]. Information Fusion, 2001, 2(3): 177– 186.
- [13] 李晖晖, 郭雷, 刘航. 基于梯度选取规则的小波变换在图像融合中的研究[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(012) : 76– 78.
- [14] Bruno Garguet Duport, Jacky Girel, Jean marc Chassery, et al. The use of multiresolution analysis and wavelets transform for merging SPOT panchromatic and multispectral images data[J]. Photogrammetric Engineer & Remote Sensing, 1996 (62) : 1057– 1066.
- [15] Amolins Krista, Yun Zhang, Dare Peter. Wavelet based image fusion techniques An introduction, review and comparison [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 62(4): 249– 263.
- [16] J. Zhou, D. L. Civco, J. A. Silander A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data[J]. International Journal of Remote Sensing. 1998, 19(4): 743– 757.