

遥感图像变化检测综述

刘占红¹, 刘一超¹, 薛峰¹, 李慧²

(1.空军石家庄飞行学院 训练保障处, 河北 石家庄 050081;

2.河北经贸大学 人文学院, 河北 石家庄 050061)

摘要: 主要介绍了变化检测的基本理论。首先简述和分析了遥感图像变化检测的基本概念, 指出变化检测的本质是一类模式分类问题; 然后全面回顾了现有变化检测方法, 将其归纳为像素级、特征级和目标级三大类, 详细论述了各种方法的基本原理和特点并对其适用范围和优缺点进行了总结。

关键词: 遥感图像; 变化检测; 像素级; 特征级; 目标级

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)15-0003-04

A summary of remote sensing image change detection

Liu Zhanhong¹, Liu Yichao¹, Xue Feng¹, Li Hui²

(1. Indemnification office, Shijiazhuang Flying College of Air Force Training, Shijiazhuang 050081, China;

2. College of Humanities, Hebei University of Economics, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: This paper focuses on the basic theory of change detection was introduced. First of all, the basic concept of the remote sensing image change detection brief description and analysis of the nature of the change detection is a pattern classification on problems; then comprehensive review of the existing change detection method, summarized as the pixel level, feature level and object level three categories, discusses in detail the basic principles and characteristics of the various methods and its scope of application and the advantages and disadvantages of are summarized.

Key words: remotely sensed imagery; change detection; pixel level; feature level; object level

随着空间科学技术的迅猛发展, 遥感图像获取技术也呈现出三多(多传感器、多平台、多角度)和三高(高空间分辨率、高光谱分辨率、高时间分辨率)的特点^[1]。遥感卫星获取的图像的空间分辨率从几米提高到 1 m 以下, 时间分辨率也由几十天提高到 1 天, 从而每天都可以获取海量的遥感图像数据, 实现了遥感数据长周期积累。如何从这些遥感图像中检测出变化信息已成为遥感应用领域中的一个重要研究方向, 即遥感图像变化检测技术。它是指从不同时期的遥感图像中, 定量地分析和确定地物变化的特征和过程的技术^[2]。

1 变化检测基本概念及分析

变化检测问题可以分为以下几种情况: 有无变化、哪些地方有变化、感兴趣的是哪些地方的变化、感兴趣的变化区域是什么样子。

遥感图像变化检测以地物为研究对象, 包括自然地物和人造地物。地物特性的改变, 例如地物的消失、出

现、结构的改变等都会引起遥感图像的变化。除了这些因素引起图像变化, 太阳光照射角、大气条件、传感器精度、土壤湿度状况和物候周期特性等因素都会多多少少引起遥感图像变化。通常称这类因素为干扰。在变化检测前需要对遥感图像进行预处理, 使干扰因素对变化检测的影响降到最小。

遥感图像变化检测问题本质上是一类模式分类问题, 即将通过某种方式获得的差异图像分为变化和未变化两大类。进行模式分类首先要对待识别样本进行特征提取。而在变化检测中常用到的灰度差值图像、灰度比值图像、主成分差值图像以及纹理差值图像等都可以看成不同的特征图像。其次根据特征进行分类。如果只提取了一种特征来进行分类, 就需要确定阈值, 而利用多种特征进行分类则需要采用综合评判的理论。尽管有大量的文献对阈值问题进行了讨论, 但是确定阈值仍然是一个非常难的问题。究其原因有两点: (1) 地物的变化不是

综述与评论 Review and Comment

非此即彼的,往往是一个渐变的过程;(2)不确定性因素的干扰使阈值的确定更加困难。在实际操作中,往往需要通过先验知识或对已知样本进行训练来为阈值的确定提供依据。显然只利用一种特征进行变化检测是不可靠的,利用多种特征进行综合评判可以提高变化检测的准确度^[3]。

2 变化检测的主要方法

遥感图像变化检测方法有很多,许多文章从不同角度对这些方法进行了分类。本文从图像处理抽象等级的角度将遥感图像变化检测方法分为像素级、特征级和目标级3个类别。

2.1 像素级变化检测

(1) 图像差值法

图像差值法是最简单的也是目前应用最广泛的图像变化检测方法。它的基本原理是对多时相图像对应像素的灰度值进行相减。图像差值法基本算法如下:首先对已配准的两幅图像对应点像素值相减,生成一幅差值图像如式(1);然后对差值结果进行数理统计,包括计算差值图像的均值和标准差等。如果差值图像灰度值满足式(2)就认为像素发生变化,保留该像素值,否则该像素点置零,得到一幅只包含变化信息的图像。

$$Dx_{ij} = |x_{ij}^k(t_2) - x_{ij}^k(t_1)| \quad (1)$$

式中 i, j 为像素坐标值, k 为波段数, t_1 为获取第 1 幅图像的时间, t_2 为获取第 2 幅图像的时间。

$$Dx_{ij} - m \geq T_d \times \text{STD} \quad (2)$$

式中 m 为差值图像均值, STD 为差值图像标准差, T_d 为阈值。

这种方法的优点是简捷、快速。方法中存在的缺陷:阈值 T_d 难以确定;检测精度不高、抗噪性能差。针对差值法中阈值难以确定的问题, BRUZZONE 提出了一种基于贝叶斯决策的变化检测方法。他认为差值图像中对应变化的像素值和对应无变化的像素值的概率分布是不同的,对差值图像进行最大后验概率判决,确定像素属于变化或非变化类。

(2) 变化向量分析法

变化向量分析是指用一个向量空间来表达多波段遥感图像数据,向量空间的维数就是波段数。这样图像上的一点就可以用向量空间的一点来表示,向量空间点的坐标就是对应波段的灰度值。设时相 t_1, t_2 图像的像元灰度级矢量分别为 $G = (g_1, g_2, g_3, \dots, g_k)$ 和 $H = (h_1, h_2, h_3, \dots, h_k)$, 则变化向量为:

$$\Delta G = G - H = \begin{pmatrix} g_1 - h_1 \\ g_2 - h_2 \\ \vdots \\ g_k - h_k \end{pmatrix} \quad (3)$$

ΔG 包含了两幅图像中所有变化信息,变化强度由 $\|\Delta G\|$

决定:

$$\|\Delta G\| = \sqrt{(g_1 - h_1)^2 + (g_2 - h_2)^2 + \dots + (g_k - h_k)^2} \quad (4)$$

当 $\|\Delta G\|$ 越大时,变化发生的可能性就越大。因此可根据 $\|\Delta G\|$ 的大小,设定阈值来实现变化检测。

(3) 相关系数法

相关系数法通过计算多时相遥感图像中对应像素灰度值的相关系数,来分析变化检测。相关系数代表了两个时相间遥感图像中对应像素的相关性。一般是通过在两时相遥感图像上取滑动窗口来计算两个图像中对应窗口的相关系数。如果相关系数值接近 1,说明相关性很高,该像素没有发生变化;相反,则说明该像素发生了变化。相关系数计算方法如下:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{m=1}^n (x_m - \bar{x})(y_m - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{m=1}^n (x_m - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{m=1}^n (y_m - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

公式中 n 代表窗口内所有像素的个数, x_m 和 y_m 表示窗口内的像素灰度值, \bar{x} 和 \bar{y} 代表窗口内像素的平均灰度值。设定阈值 T_r , 当 $r_{ij} < T_r$ 时认为该像素发生了变化。该方法计算量比较大,检测精度受选取的窗口大小的影响。

2.2 特征级变化检测

(1) 基于纹理特征的变化检测

纹理可定义为在视场范围内的灰度分布模式 GLD (Gray Level Distribution)。纹理一方面反映了图像的灰度统计信息,另一方面反映图像的结构信息和空间分布信息,是对图像空间上下文信息的描述。常用的纹理表达和描述的方法有:统计法、结构法和频谱法。统计法中包括基于灰度共生矩阵的纹理描述符、基于共生矩阵的纹理描述符和基于能量的纹理描述符。频谱法中包括傅里叶频谱、贝塞尔-傅里叶频谱和 Gabor 频谱。变化检测的目的是能自动区分出变化区域与不变区域,而利用纹理特征进行变化检测选取的特征要与所感兴趣的目标区域的地物覆盖特性息息相关,这样才能检测到感兴趣的变化。灰度共生矩阵获得了较多专家的认可,同时也取得了较高的检测正确率。耿忠对单波段的高分辨率遥感图像采用了灰度共生矩阵的方法解算两时相图像上目标区域的纹理特征,并将其作为判断图像变化的一个权重因子^[5];刘小洲利用灰度共生矩阵对机场区域进行了变化检测^[6];陈志鹏在灰度共生矩阵的基础上计算出对比度、纹理方差、共生和方差、共生和均值等一系列参数对城区的 SAR 图像进行了变化检测,并取得了满意的检测结果^[7]。基于纹理特征变化检测的不足之处是难以解释变化信息,也不能提供变化类别信息,需要通过人工设定阈值确定变化区域。

(2) 基于边缘特征的变化检测

利用遥感图像边缘特征进行变化检测有两种方式:

① 用各种边缘检测算子提取出边缘特征,然后对这些检

综述与评论 Review and Comment

测到的边缘特征进行处理和分析,最后判断是否变化。其中常用的边缘检测算子是 Canny 算子,因为它能检测到更加连续、细致的边缘,参考文献[8]采用的就是 Canny 算子。②用一种合适的特征描述边缘,通过比较特征间的相似性进行变化检测,最常用的是 ET(Edge Tag)方法。它是基于生物视觉原理利用多向 Gabor 函数从图像梯度强度图中提取的边缘结构信息。ET 法通过比较图像 ET 的相关性实现变化检测。参考文献[3]和[4]都采用了这种方法作变化检测。参考文献[3]首先通过利用 Canny 算子提取两时相遥感图像的边缘特征生成边缘检测图,然后差分边缘检测图利用缓冲区检验法进行变化检测,即把某一时相遥感图像作为基准图像对其上的边缘检测特征 S 以一定的缓冲距离构造缓冲区,以此缓冲区为范围对另一时相的数据进行变化检测,通过判断两者的关系以确定变化检测的结果。参考文献[4]通过分析 ET 法,结合区域生长技术,提出一种改进的 ET 算法。实验结果表明改进算法对光照变化和配准噪声具有一定的鲁棒性,同时边缘结构信息的完整性和连续性以及算法的计算效率都有所提高。这种方法的不足之处是自动化程度不高,需要在人工干预下设定算法的参数和判决阈值。

(3) 基于矩特征的变化检测

图像的矩特征具有平移、旋转、缩放不变性,因此基于矩特征的遥感图像变化检测具有对光照、噪声的稳健性。参考文献[9]首先分析了 Gaussian-Hermite 矩和 Circular shift 矩的优缺点,其中 Gaussian-Hermite 矩是正交矩,叠加了高斯平滑,但是计算量大;Circular shift 矩具有光照不敏感性,但是它不是正交矩,还具有分块效应。然后将 Gaussian-Hermite 矩和 Circular shift 矩相结合,采用由粗到精的策略,应用到遥感图像的变化检测中,并同前两种方法进行了比较。实验表明改进的方法计算量小,对噪声、光照具有鲁棒性。这种方法不足之处是难以解释变化信息,也不能提供变化类别信息,需要通过人工设定阈值确定变化区域。

2.3 目标级变化检测

随着遥感图像空间分辨率的提高,反映在遥感图像上的地物的几何和结构信息更加细腻,变化检测也逐渐向小尺度发展。传统的像素级变化检测方法不适用于高分辨率遥感图像,目标级变化检测逐渐成为研究的热点^[10]。目标级变化检测的最主要的特点是将图像看成多个具有语义信息的对象的组合,然后将这些对象作为变化检测的基本处理单元^[11]。而像素级变化检测是将图像中的每个像素作为变化检测基本处理单元。实际上,人类视觉系统在观察两幅图像之间的变化时,也不是逐个像素进行比较,而是先把整幅图像分成一个个对象再加以比较。因此,从生理学的角度来讲,目标级的方法也更适合变化检测^[12]。目标级变化检测大致可以分为以下两类:

(1) 基于图像分割的方法

这种方法首先对图像进行分割,通过图像分割得到的同质区域不仅具有光谱统计特征还有纹理特征、大小特征和形状特征等属性信息,可以综合利用这些属性信息进行变化判决。参考文献[13]提出一种基于区域的变化检测方法。首先对两时相图像分别进行分割,每幅图像分割得到若干个区域,再对分割出来的小区域进行合并,使两幅图像最终获得对应相同的区域分割块。综合考虑分割区域的均值特征和熵特征,并定义了一个特征向量,基于此特征向量选取合适的阈值来确定变化区域。参考文献[14]采用目标和特征空间融合的方法进行变化检测,其处理流程是首先对已配准的同一地区多时相遥感图像进行分割,然后提取分割后每个图像块的光谱统计特征、纹理特征和其他的一些重要特征,建立特征空间函数,通过比较特征空间函数进行变化检测。参考文献[15]针对高分辨率遥感图像提出了一种基于目标特征的非监督变化检测和分类方法,其处理流程是首先对遥感图像进行图像分割,然后提取目标特征,采用多变量检测和最大自相关因子变换进行变化检测。

(2) 基于目标检测的方法

基于目标检测的方法一般是结合光谱和几何信息先从图像中检测到目标,然后进行比较分析。参考文献[16]提出了一种基于统计光谱异常检测子和竞争区域增长算法检测目标的方法。最后通过比较两幅图像中检测到的目标生成变化图。参考文献[17]提出一种基于聚类的目标检测和变化检测方法。刘炜提出了一种基于轮廓提取和概率模型的建筑物变化检测算法^[18],首先利用概率模型进行建筑物的轮廓提取,然后计算相应建筑物的变化概率值判断是否发生变化。苏娟对目标级的变化检测方法做了大量研究^[19-20]。参考文献[19]提出一种基于目标检测并对配准误差鲁棒的变化检测方法,与传统方法相比,该算法在很大程度上降低了变化检测对图像配准确度的要求,而且也降低了不同时相辐射差异和噪声的影响,得到了良好的检测结果。参考文献[20]提出一种基于目标匹配的目标级遥感图像变化检测方法,它可直接作用于两幅未经配准的多时相遥感图像,能同时实现多时相遥感图像的配准与变化检测。

变化检测的各种方法之间并不是严格区分的,各有优缺点且每种方法都有适用范围。像素级变化检测直接在原始图像上进行变化检测,是比较常用和成熟的方法。部分遥感图像处理软件都嵌入了基于像素级的变化检测模块,它们在基于中低分辨率遥感图像的资源环境监测领域取得了许多成功的应用。但像素级变化检测精度受到以下 3 个主要因素的影响:辐射差异、配准误差和阈值的选取,当分析对象为大幅高分辨率遥感图像时影响更为严重;而且像素级变化检测结果过于破碎,难以对其进行进一步的分析与描述。特征级变化检测是从

综述与评论 Review and Comment

原始图像中提取特征进行分析和检测,主要用于有特殊边缘特征和区域特征的地物的变化检测,检测精度受上述3个因素的影响比较小,适合于高分辨率遥感图像的变化检测。但特征级变化检测用于定性检测居多,且自动化程度较低,算法中的一些参数需要人工设置。目标级别变化检测层次最高,主要检测具有一定概念意义的对象的变化,且可以综合考虑对象的光谱统计特征、纹理特征和其他特征进行变化判决,检测结果可以直接应用,代表了高分辨率遥感图像变化检测的主要发展方向。但目标级变化检测受图像分割和目标检测算法准确性的制约。因此在实际应用中究竟选择哪种方法主要看应用的领域和用户的具体需求,这也是进行变化检测时需要注意的方面。

参考文献

- [1] 李德仁.利用遥感影像进行变化检测[J].武汉大学学报(信息科学版)(特刊),2003(28):7-11.
- [2] 钟家强.基于多时相遥感图像的变化检测[D].长沙:国防科技大学,2005.
- [3] 吴宏明.基于结构信息的港口舰船目标变化检测[D].长沙:国防科技大学,2008.
- [4] 房自立.基于结构信息的多时相遥感图变化检测方法研究[D].长沙:国防科技大学,2006.
- [5] 耿忠.面向单波段高分辨率遥感影像的人工目标变化检测技术研究[J].地理信息世界,2007(6):38-39.
- [6] 刘小洲.高分辨率遥感图像的变化检测技术研究[D].长沙:国防科技大学,2007.
- [7] 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.
- [8] 方圣辉,佃袁勇,李微.基于边缘特征的变化检测方法研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2005,20(5):135-138.
- [9] 沈澍,吴秀清.基于矩的图像变化检测[J].计算机仿真,2008,25(7):208-212.
- [10] Huo Chunlei, Zhou Zhixin, Lu Hanqing. Fast Object-Level Change Detection for VHR Images [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2010,7(1):118-122.
- [11] NIEMEYER I, NUSSBAUM S, CANTY M J. Automation of change detection procedures for nuclear safeguards-related monitoring purposes[C]. IGARSS'05 Proceeding, IEEE International, 2005: 2133-2136.
- [12] 霍春雷,程健,卢汉清,等.基于多尺度融合的对象级变化检测新方法[J].自动化学报,2008,34(3):251-257.
- [13] BRUZZONE L, FERNANDEZ D. An adaptive parcel-based technique for unsupervised change detection[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000,21(4): 817-822.
- [14] VIJAYARAJ V, CHARLES G O'HARA, GUNNAR A O, et al. Object and Feature-Space Fusion and Information Mining for Change Detection[J]. IEEE International, 2005, 5(5):131-135.
- [15] NIEMEYER I, NUSSBAUM S. Change detection using the object features [J]. IEEE International, 2007 (7): 2374-2377.
- [16] HAZEL G. Object level change detection in spectral imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(3): 553-561.
- [17] MARK J, CARLOTTO A. Cluster-Based Approach for Detecting Man-Made Objects and Changes in Imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing, 2005,43(2):374-387.
- [18] 刘炜.基于概率模型的高分辨率卫星图像建筑物识别及变化检测[D].北京:中国科学院自动化研究所,2005.
- [19] 苏娟,刘代志.一种目标级的遥感图像变化检测算法[J].光子学报,2007,36(9):1764-1768.
- [20] 苏娟,林行刚,刘代志.基于目标匹配的遥感图像变化检测方法[J].清华大学学报(自然科学版),2007,47(10):1610-1613.

(收稿日期:2013-05-03)

作者简介:

刘占红,男,1969年生,高级工程师,主要研究方向:飞行教学训练保障。

刘一超,男,1985年生,硕士,助理工程师,主要研究方向:信息资源管理和三维地理信息系统开发。

薛峰,男,1972年生,高级工程师,主要研究方向:信息资源管理。