

引文格式:FENG Wenqing,ZHANG Yongjun.Object-oriented Change Detection for Remote Sensing Images Based on Multi-scale Fusion [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44(10):1142-1151.(冯文卿,张永军.利用多尺度融合进行面向对象的遥感影像变化检测[J].测绘学报, 2015, 44(10):1142-1151.) DOI:10.11947/j.AGCS.2015.20140260

利用多尺度融合进行面向对象的遥感影像变化检测

冯文卿,张永军

武汉大学遥感信息工程学院,湖北 武汉 430079

Object-oriented Change Detection for Remote Sensing Images Based on Multi-scale Fusion

FENG Wenqing,ZHANG Yongjun

School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: In the process of object-oriented change detection, the determination of the optimal segmentation scale is directly related to the subsequent change information extraction and analysis. Aiming at this problem, this paper presents a novel object-level change detection method based on multi-scale segmentation and fusion. First of all, the fine to coarse segmentation is used to obtain initial objects which have different sizes; then, according to the features of the objects, the method of change vector analysis is used to obtain the change detection results of various scales. In order to improve the accuracy of change detection, this paper introduces fuzzy fusion and two kinds of decision level fusion methods to get the results of multi-scale fusion. Based on these methods, experiments are done with SPOT5 multi-spectral remote sensing imagery. Compared with pixel-level change detection methods, the overall accuracy of our method has been improved by nearly 10%, and the experimental results prove the feasibility and effectiveness of the fusion strategies.

Key words: multi-scale segmentation; object; features; fuzzy fusion; decision level fusion

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China(No. 41322010); The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program)(No. 2013AA12A401)

摘 要:在面向对象的变化检测过程中,确定对象的最优分割尺度直接关系到后续的变化信息提取与分析。针对该问题,提出了基于多尺度分割与融合的对象级变化检测新方法。首先,利用由细到粗的尺度分割来获取不同尺寸的目标对象,然后依据对象的特征进行变化向量分析得到各个尺度上的变化检测结果。为了提高变化检测的精度,本文引入模糊融合及两种决策级融合方法进行多尺度融合,并利用 SPOT5 多光谱遥感图像进行试验。与像素级的变化检测方法相比,总体精度提高了 10% 左右,试验结果证明了这几种融合策略的有效性和可行性。

关键词:多尺度分割;对象;特征;模糊融合;决策级融合

中图分类号:P237

文献标识码:A

文章编号:1001-1595(2015)10-1142-10

基金项目:国家自然科学基金(41322010);国家 863 计划(2013AA12A401)

1 引 言

随着遥感数据获取手段的突飞猛进和获取周期的逐渐缩短,其应用范围越来越广泛并且应用需求日益扩大,这对遥感影像变化检测技术提出了更高的要求和挑战。目前,国内外很多研究学

者利用光学遥感影像,针对不同的变化检测目标,提出了很多的方法和有效模型^[1-7]。这些变化检测方法大致可以分为 3 类:像素级变化检测、特征级变化检测、对象级变化检测^[2]。传统的变化检测方法绝大多数都是属于像素级别的,变化检测的结果通常比较破碎,容易产生“椒盐现象”。这

些方法对图像的配准精度、辐射校正具有较高要求,同时依赖于阈值的选取^[3,8-10],因此在实际应用中会受到诸多的限制。而对象级变化检测是以具有一定概念的地物对象为基础的,这些对象是在空间上相邻、光谱相似的同质区域,具有光谱、形状、纹理、上下文等特性^[11-13],在检测过程中具有较高的检测精度和稳健性,代表了变化检测的主要方向。

目前,对象级影像分析在变化检测中的应用获得了一定的进展,许多学者将面向对象的分割方法应用于对象级变化检测中。基于对象的变化检测方法,常用的大致可以分为以下两类:一类是先进行面向对象分类,而后进行变化检测^[1-2,4],即分类后比较法;第二类是对象的变化向量分析法^[6-7,12],即直接比较法。其中第二类方法简单易实现,在实际中得到了广泛的应用。由于它和基于像素的方法在思路上没有本质的差别,主要不同体现在对像素的向量分析变成了对象的向量分析。由于对象的变化向量分析法可以有效地利用对象的多种特征参与分析,比如光谱信息、纹理信息、对象间的拓扑信息等,这样检测的结果更准确

更稳健^[7]。但是,对象级变化检测的结果严重依赖于分割尺度的确定,如何客观地对分割结果进行评价,获取最优的分割尺度,避免主观因素的影响,就显得尤为重要^[14]。针对此问题,本文提出一种基于多尺度分割与融合的对象级变化检测方法。

2 方法介绍

为了减轻不同时期的光学影像辐射值差异对变化检测精度的影响,通常在变化检测之前进行辐射校正,本文采用直方图匹配法来进行相对辐射校正^[12]。接着,本文采用 eCognition 软件进行多尺度分割来获取对象,并以此作为变化检测分析的基础^[15]。通过探讨不同地物类别的最优分割尺度,获取合适的尺度值,并将分割结果与两时相影像一一对应。最后,将多个尺度下得到的基于光谱和纹理特征的变化强度图进行量化和 OTSU 阈值分割,并采用模糊融合、决策级融合方法,以便于将不同尺度下得到的变化检测结果进行综合,得到包含变化位置与变化强度信息的检测结果。具体流程如图 1 所示。

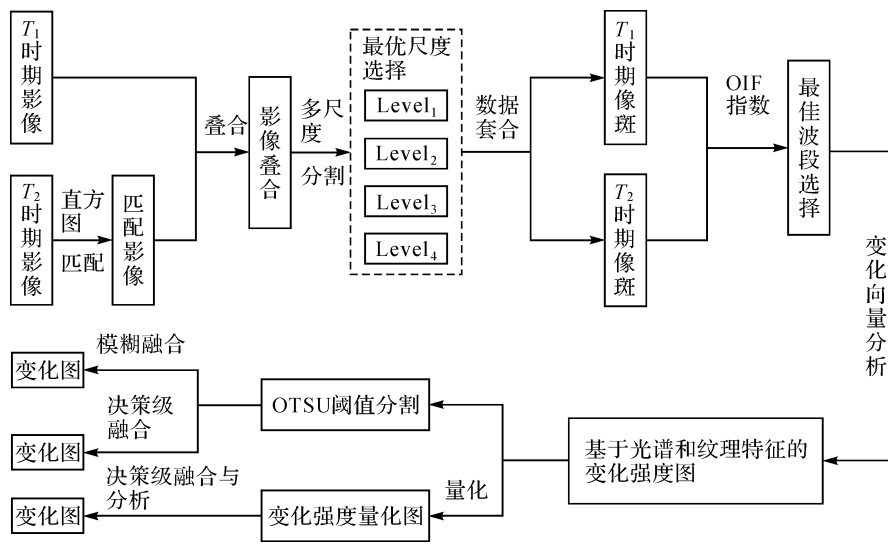


图 1 变化检测流程图

Fig.1 Change detection flow chart

2.1 光谱与纹理特征差值的计算

2.1.1 光谱特征差值

对象的光谱信息主要包括对象的均值、标准差、比率、亮度等特征,本文仅采用对象的均值和标准差特征来进行差值计算,公式如下

$$diff_Mean_Band(i) = H1(x_i^{T1}) - H1(x_i^{T2}) \quad H1:Mean \quad (1)$$

$$diff_Std_Band(i) = H2(x_i^{T1}) - H2(x_i^{T2}) \quad H2:Std \quad (2)$$

式中, i 为波段个数。

2.1.2 纹理特征差值

Haralick 等根据灰度共生矩阵定义了 14 种纹理特征,经常用于提取遥感图像中纹理信息的特征统计量主要有:均值、标准差、对比度、熵、同

质性、相关性、角二阶矩、非相似性等。上面的几种纹理特征中,纹理熵值是图像信息量的度量,表征了图像中纹理的复杂程度,图像的纹理越复杂,熵值越大;反之越小。因此,综合考虑本文将纹理熵值作为变化检测的指标之一来进行差值计算,计算公式如下

$$\text{diff_ent_Band}(i) = H3(x_i^{T1}) - H3(x_i^{T2}) H3; \text{Entropy} \quad (3)$$

式中, i 为波段个数。

2.2 最佳波段选择

通常波段的标准差和波段间的相关系数是衡量信息量和相关性的最好指标,因此常用于计算最优波段组合的公式是

$$\text{OIF} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_i^f}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N |R_{ij}^f|} \quad (4)$$

此公式即为最佳波段指数——OIF 指数。本文通过提取各个波段上的光谱均值、标准差差异图以及纹理熵差异图,并计算它们在每个波段上的标准差 σ_i^f ,其中 f 对应于以上 3 个特征; R_{ij}^f 是 f 特征差异图在波段 i 和波段 j 之间的相关系数, N 是波段总数^[16]。这种方法由美国学者查维茨提出,其理论依据是:波段组合中数据的标准差越大,其所包含的信息量也越多;而波段间的相关系数越小,表明各波段数据的独立性也就越高,信息的冗余度也就越小。它将标准差和相关系数有效统一起来,为最佳波段的组合提供了判断依据^[17]。本文应用 OIF 指数从光谱均值、标准差以及纹理熵特征波段有可能的组合中分别找出合适的波段组合,并依据 OIF 指数最大的原则,来寻

$$\mathbf{R}_{ij} = \begin{bmatrix} \mu_c(Y_1(i,j)) & \mu_c(Y_2(i,j)) & \mu_c(Y_3(i,j)) & \mu_c(Y_4(i,j)) \\ \mu_u(Y_1(i,j)) & \mu_u(Y_2(i,j)) & \mu_u(Y_3(i,j)) & \mu_u(Y_4(i,j)) \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

本文采用自适应的方法来给各个尺度下的结果赋予权重^[21],公式如下

$$W_p = \frac{1}{\sum_{p=1}^4 \frac{1}{\sigma_p^2}} \quad p=1,2,3,4 \quad (7)$$

式中, σ_p 是第 p 个尺度下变化检测结果的标准差; W_p 是第 p 个尺度变化检测结果的权重。根据模糊加权线性变换得

$$\mu_{ij} = (\mu_{c,ij}, \mu_{u,ij}) = WR_{ij} \quad (8)$$

式中, $\mu_{c,ij}$ 和 $\mu_{u,ij}$ 分别是 4 个尺度变化信息经过模糊融合后像元 (i,j) 属于变化类别和非变化类

找光谱与纹理特征差值的最佳波段组合。

2.3 模糊融合分析

首先确定 4 个尺度上变化强度图 Y_k 中的变化强度观测值 $Y_k(i,j)$ 相对于变化类别 w_c 的隶属度 $\mu_c(Y_k(i,j))$ 和相对于非变化类别 w_u 的隶属度 $\mu_u(Y_k(i,j))$ 。常见的偏大型的 S 型隶属度函数在影像模糊分割处理时具有良好的鲁棒性和准确性^[20],因此本文采用此函数来计算隶属度 $\mu_c(Y_k(i,j))$ 的值

$$\mu_c(Y_k(i,j)) = \begin{cases} 0 & Y_k(i,j) \leq a_k \\ 2 \left(\frac{Y_k(i,j) - a_k}{c_k - a_k} \right)^2 & a_k < Y_k(i,j) \leq b_k \\ 1 - 2 \left(\frac{c_k - Y_k(i,j)}{c_k - a_k} \right)^2 & b_k < Y_k(i,j) \leq c_k \\ 1 & Y_k(i,j) > c_k \end{cases} \quad (5)$$

式中, $b_k = (a_k + c_k)/2$, $\mu_c(b_k) = 0.5$,参数 c_k 取为各个尺度变化强度图经过 OTSU 阈值分割时所确定的值,即 $c_k = T_k$,参数 $a_k = 0.8T_k$ 。这样就保证了原有 4 个尺度中的变化信息经过模糊变换后的隶属度值为 1,其中变化强度观测值 $Y_k(i,j)$ 相对于非变化类别 w_u 的隶属度 $\mu_u(Y_k(i,j))$ 为: $\mu_u(Y_k(i,j)) = 1 - \mu_c(Y_k(i,j))$ 。显然,变化强度观测值 $Y_k(i,j)$ 相对于变化类别 w_c 和非变化类别 w_u 的隶属度满足: $0 \leq \mu_c(Y_k(i,j)) \leq 1$, $0 \leq \mu_u(Y_k(i,j)) \leq 1$, $0 \leq \mu_u(Y_k(i,j)) \leq 1$ 。若 $\mu_c(Y_k(i,j))$ 值越接近 1,则变化强度观测值 $Y_k(i,j)$ 属于变化类别 w_c 的可能性就越大;反之,属于非变化类别 w_u 的可能性就越大^[21]。4 个尺度下的模糊关系矩阵为

别的综合可能性。根据最大隶属度准则,当 $\mu_{c,ij} < \mu_{u,ij}$ 时目标对象没有变化,当 $\mu_{c,ij} \geq \mu_{u,ij}$ 时目标对象发生变化。

2.4 决策级融合分析

方案 1:将 4 个尺度上的变化强度图进行 OTSU 阈值分割,检测结果中变化的像素和非变化像素的值分别用 1 和 0 来表示。本文通过建立如图 2 所示的决策二叉树对 4 个尺度上的变化检测结果进行融合,并将最终结果的所有像元划分成 5 类,如表 1 所示。

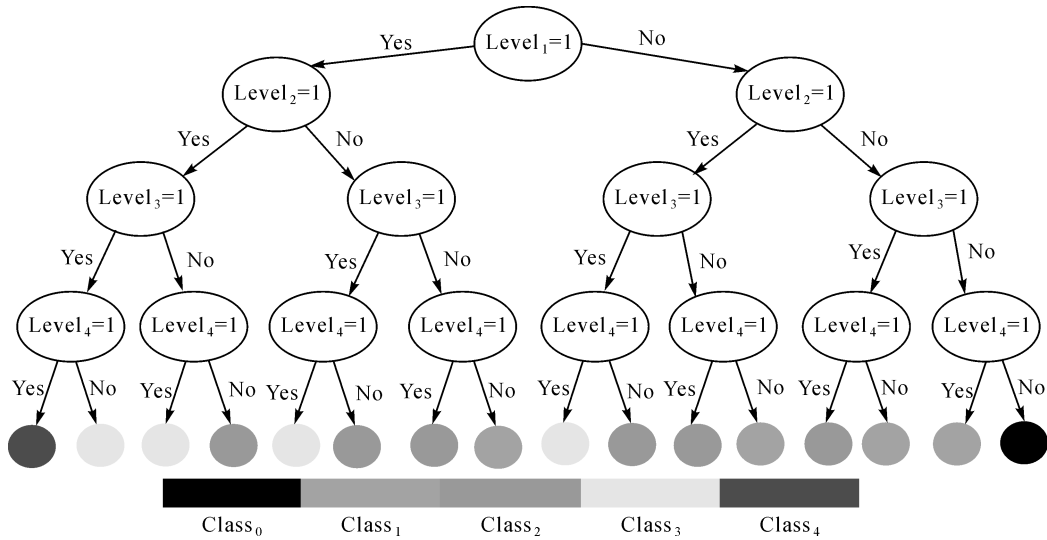


图 2 决策二叉树

Fig.2 Decision binary tree

表 1 决策级融合规则

Tab.1 Rule of decision-level fusion

类别	变化检测结果
Class ₀	像元在 4 个尺度上均未发生变化
Class ₁	像元在某 1 个尺度上发生变化
Class ₂	像元在某 2 个尺度上发生变化
Class ₃	像元在某 3 个尺度上发生变化
Class ₄	像元在 4 个尺度上均发生变化

方案 2:首先对 4 个尺度上对象的变化向量模值进行升序排列,然后采用下面的指数函数形式对 4 个尺度上的变化向量模值进行曲线拟合

$$f(x) = a_1 e^{b_1 x} + a_2 e^{b_2 x} \quad (9)$$

式中, a_1, b_1, a_2, b_2 为拟合系数。

本文根据 4 个尺度的拟合函数,定义了以下变化强度以便于将变化差异图量化为 $-2 \sim 2$ 之间,采用下面的分段函数形式,假设平均步长为 $\Delta = \frac{\max - \min}{5}$,其中 $\max = \max(f(x)), \min = \min(f(x))$, $x \in [1, \text{num}_i]$ 且 x 为整数, num_i 分别为 4 个尺度上像斑的总数。那么量化后的值 W 为

$$W = \begin{cases} -2 & Q_c \in [\min, \min + \Delta] \\ -1 & Q_c \in (\min + \Delta, \min + 2\Delta] \\ 0 & Q_c \in (\min + 2\Delta, \min + 3\Delta] \\ 1 & Q_c \in (\min + 3\Delta, \min + 4\Delta] \\ 2 & Q_c \in (\min + 4\Delta, \max] \end{cases} \quad (10)$$

其中未变化(unchanged, UC)的区域值为 -2 ,微弱变化(faint change, FC)的区域值为 -1 ,中等变化(medium change, MC)的区域值为 0 ,明显变化(obvious change, OC)的区域值为 1 ,强烈变化

(strong change, SC)的区域值为 2 ^[12]。为了综合各个尺度下的变化检测结果,本文利用多值逻辑建立决策融合规则^[23],首先将 Level_1 和 Level_3 两个尺度的检测结果融合成一幅变化强度图,然后对 Level_2 和 Level_4 两个尺度的检测结果融合成另一幅变化强度图,最后对这两幅变化强度图进行融合,以便于综合性地检测变化发生的位置以及变化的强度。

该决策级融合规则对应于一个 5 值的逻辑函数 $F(x, y)$,图 3 是 $F(x, y)$ 与 x, y 的关系图。本文所设计的决策级融合规则如图 4 所示,当两个尺度的变化强度大时,那么融合的变化强度也应较大,反之亦然。图中 $F(x, y)$ 的总体趋势是随着 $x+y$ 的值增大而增大,例如:当 $F(x, y) = 2$ 时,此时 $x+y = 3$ 或 $x+y = 4$,说明 x, y 中至少有一个是强烈变化的区域,另一个至少为明显变化的区域,融合规则定义合成强度就应该为强烈变化,这样才能充分体现两个尺度的变化强度信息^[12]。

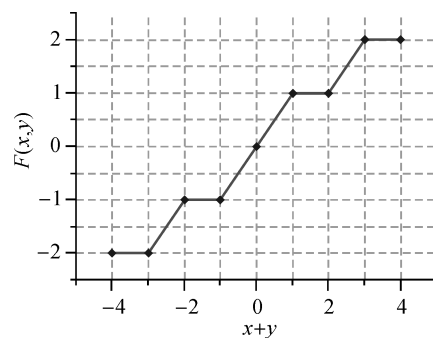


图 3 逻辑函数 $F(x, y)$

Fig.3 Logical function $F(x, y)$

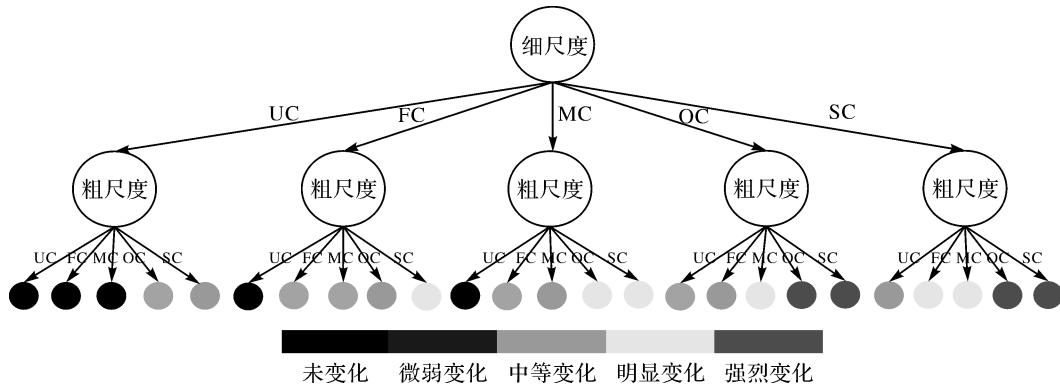


图4 定义变化强度的决策树规则

Fig.4 Decision tree rule to define change intensity

3 试验结果与分析

3.1 试验数据

本文变化检测试验采用的遥感影像数据为2006年和2007年获取的广州市某区域SPOT5多光谱影像,包含红、绿、蓝3个波段,分辨率为2.5 m,影像大小为916像素×1096像素,如图5所示。两期影像的地物类型丰富,测试区主要由水田、裸地、建筑物、道路、聚落、绿地6类地物构

成,而且影像的分辨率较高。在对影像进行多尺度分割的过程中,如果分割尺度适宜的话,那么分割得到的多边形能够将某种地物类型的边界勾画清楚,且分割的对象不太破碎^[12]。本文采用eCognition软件对叠合影像进行多尺度分割来获取像斑,并针对道路、水田,建筑物顶、聚落、绿地、裸地6类不同地物的大小,根据“类内同质性大,类间异质性大”的最佳分类原则,来探讨这些特定地物类别的最优分割尺度。



图5 试验数据集

Fig.5 Dataset used in the experiment

本文在对文献[18—19]中所提出方法的基础上,对其进行改进,将多波段影像分割前设置的权重引入与邻域绝对均值差分方差比(ratio of mean difference to neighbors (ABS) to standard deviation, RMAS)^[19]的计算过程中。RMAS是指对象与邻域均值差分绝对值与对象标准差之间的比值,改进后的公式为

$$\left. \begin{aligned} \text{RMAS} &= t_L \cdot \frac{\Delta C_L}{S_L} \\ S_L &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_{Li} - \overline{C_L})^2} \\ \Delta C_L &= \frac{1}{q} \sum_{i=1}^u q_{si} | \overline{C_L} - \overline{C_{Li}} | \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

式中, L 为影像的波段数; t_L 为分割时波段的权重; ΔC_L 为单个波段上对象与邻域均值差分绝对值; S_L 为单个波段上对象的标准差; C_{Li} 为 L 波段上 i 像素点灰度值; $\overline{C_L}$ 为所关心影像对象的图层平均值; n 为影像对象内的像素点个数; u 为与目标对象直接相邻的对象个数; q 为目标对象的边界长度; q_{si} 为目标对象与第 i 个直接相邻对象的公共边界长度; $\overline{C_{Li}}$ 为第 i 个直接相邻对象的图层平均值^[19]。

当分割尺度较小时,对象内含有相同的地物,对象的 S_L 值较小,相邻的对象彼此属于同一类别而具有很强的空间依赖性,此时对象的 ΔC_L 及RMAS的值均较小;当分割尺度接近类别对象

时,对象内含有相同的地物,对象的 S_L 值小,相邻的对象属于不同类别而使空间依赖性减弱,此时对象的 ΔC_L 及 RMAS 的值均较大;当分割尺度进一步增大时,对象内都会含有其他类别的地物,对象的 S_L 值变大,与邻域对象的空间依赖性也会增大,此时对象的 ΔC_L 及 RMAS 的值均开始减小^[19]。在试验过程中,在每个尺度上对每类地物选取一定数目的样本来计算不同尺度上特定地物对象的 RMAS 值,并以对象的 RMAS 值为 y 轴,影像分割尺度值为 x 轴,绘制了不同对象的 RMAS 值随分割尺度变化的折线图,如图 6 所

示。最终,不同地物类别信息提取的最优尺度可以通过影像对象的 RMAS 折线图选择。

从图 6 中可以判断出:水田、裸地、建筑物、道路、聚落、绿地的最优分割尺度分别为 20、45、60、60、80 和 90。此外,从 RMAS 折线图可以看出,有些地物曲线会出现多个局部峰值的情况,更进一步说明适合每一种地物的最优尺度是相对的,通常在一个数值范围内。本文选取了其中 4 个尺度 Level₁、Level₂、Level₃、Level₄(尺度 20、45、60、80)上的分割结果,进行光谱与纹理特征差值的最佳波段指数计算,它们的结果如图 7 所示。

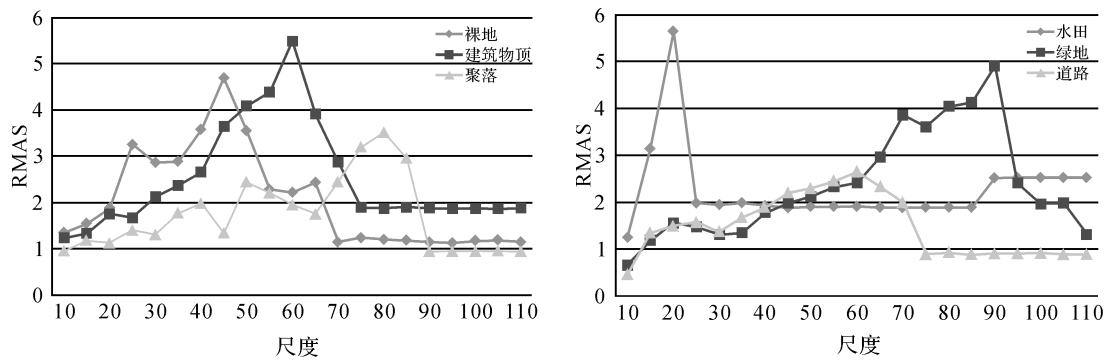


图 6 RMAS 折线图

Fig.6 The line chart of RMAS

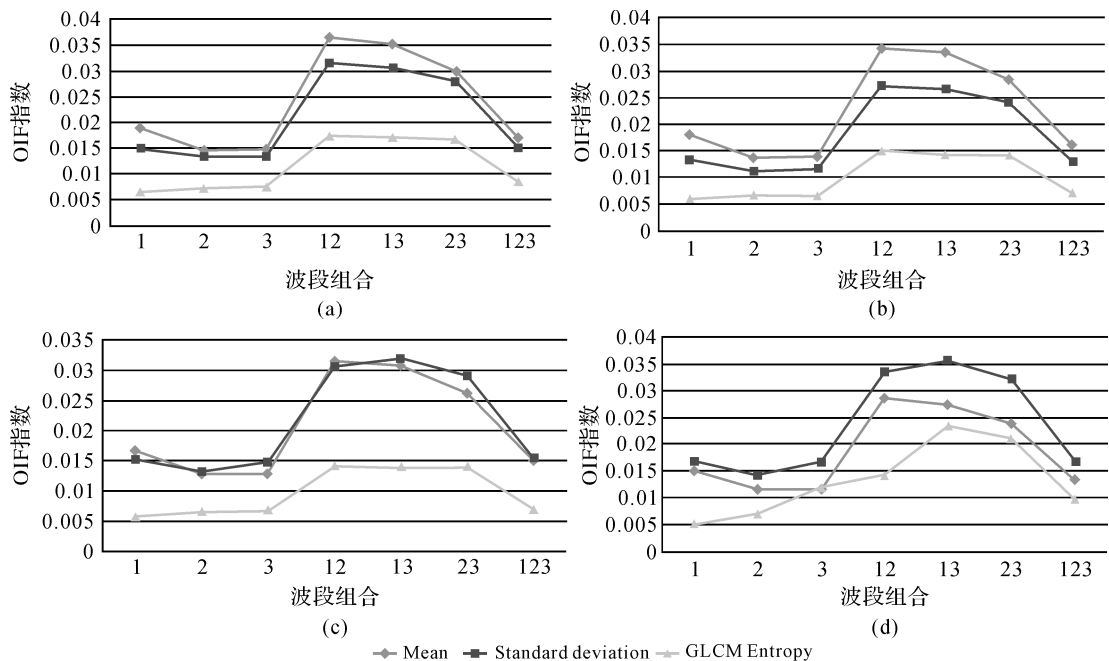


图 7 OIF 指数示意图

Fig.7 The sketch map of OIF index

由图 7(a)、(b)可以看出,光谱均值和纹理熵差值,单个波段的 OIF 指数较低,两个波段时 OIF 指数整体较高,其中波段 1、2 组合时 OIF 指

数处于峰值。随着波段数增多,OIF 指数反而有下降的趋势,当波段组合为 1、2、3 时,OIF 指数明显降低。由此可见并不是波段数越多,其信息量

越大。同理,在图 7(c)中,光谱均值和纹理熵差值在波段 1、2 组合时 OIF 指数处于峰值,而光谱标准差差值在波段 1、3 组合时 OIF 指数处于峰值;在图 7(d)中,光谱均值差值在波段 1、2 组合时 OIF 指数处于峰值,而光谱标准差和纹理熵差值在波段 1、3 组合时 OIF 指数处于峰值。在 4 个尺度上分别应用 OIF 指数,寻找光谱与纹理特征差值的最佳波段组合,之后通过构造对象的差值向量,利用基于对象的变化向量分析法来构造 4 个尺度上的差异影像。

3.2 变化检测结果与精度评定

为综合验证本文提出的 3 种融合策略的可行性和有效性,通过 SPOT-5 多光谱影像数据集来进行试验,两期影像地物的变化类型丰富。而且,在影像的覆盖范围内,典型地物主要由农业用地、聚落、裸地和建筑物等构成,通过对两期影像中不同地物的光谱变化,可以观察出主要的变化为农业用地与裸地、建筑物之间的相互转换以及不同

裸地之间的相互转换等。

3 种融合策略的结果如图 8 所示。其中,图 8(a)为对 4 个尺度变化信息进行模糊融合的最终变化检测结果;采用决策级融合方案 1 进行变化检测的结果如图 8(b)所示,最终的结果图中包含了 5 类像素点;采用决策级融合方案 2 进行变化检测的结果如图 8(c)所示,最终的结果图不仅反映了发生变化像素的位置信息并且反映出了其变化强度的信息。为了将两种决策级融合方法的结果方便与模糊融合的结果进行比较,将图 8(b)中未发生变化的像元(Class₀)和仅只在一个尺度上发生变化的像元(Class₁)视为不变化的,其余像元视为变化的,那么决策级融合方法 1 的二值化结果如图 9(a)所示。同理,如果将图 8(c)中未变化与微弱变化区域视为不变化,其余视为变化的区域,那么决策级融合方法 2 的二值化结果如图 9(b)所示。

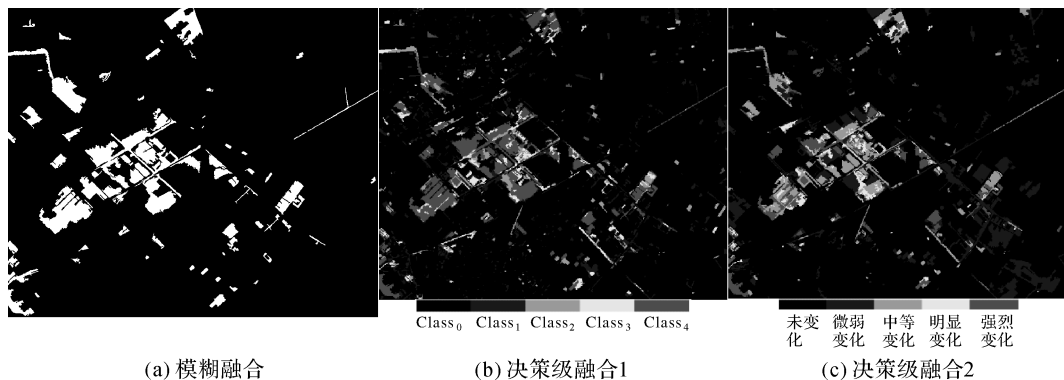


图 8 多尺度融合结果

Fig.8 The results of Multi-scale fusion

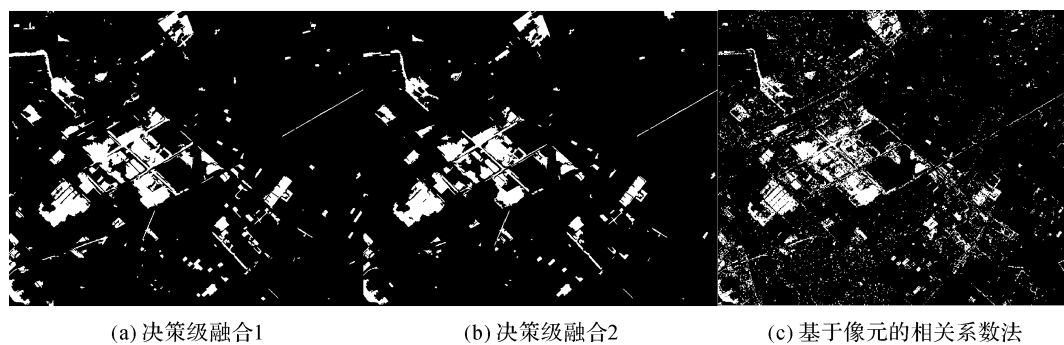


图 9 变化检测结果

Fig.9 The results of change detection

最后,将本文利用多尺度融合的方法与常用的基于像元的变化检测方法如变化向量分析

(CVA)、主成分分析(PCA)、独立主成分分析(ICA)、相关系数法的结果进行了比较,检测结果

的精度指标如下表 2 所示。由于基于像元的相关系数法变化检测结果较优,所以本文只给出了相关系数的结果,如图 9(c)所示。从中可以看出相关系数法出现了比较严重的“椒盐现象”,分析主要原因在于该方法对图像的配准精度、辐射校正等具有较高要求,同时依赖于阈值的选取;而且,

图像的噪声对变化检测结果的影响也较大。从表 2 给出的变化检测精度表中可以看出本文所提出的 3 种多尺度融合策略,其总体精度、虚检率、漏检率、Kappa 系数都要优于这些常规的基于像元的变化检测方法。

表 2 变化检测精度评价

Tab.2 Precision of change detection

	方法	总体精度(OA)/(%)	误检率/(%)	漏检率/(%)	Kappa 系数
基于像元	CVA	75.45	48.50	32.61	0.499 2
	PCA	78.23	45.40	29.10	0.549 3
	ICA	78.76	44.72	29.74	0.551 8
	相关系数	82.34	43.34	28.61	0.560 2
	模糊融合	90.81	13.87	12.50	0.820 2
面向对象	决策级融合 1	90.75	13.31	16.73	0.812 0
	决策级融合 2	91.15	13.15	13.53	0.821 1

从表 2 中可以看出:

(1) 3 种多尺度融合的变化检测方法,检测精度都优于基于像元的变化检测方法。其中模糊融合、两种决策级融合方法的总体精度和 Kappa 系数分别达到 90.81% 和 0.820 2, 90.75% 和 0.812 0, 91.15% 和 0.821 1, 3 种方案的总体精度比基于像元的方法提高近 10% 左右。基于像元的方法其 Kappa 系数在 0.4~0.6 之间,而本文 3 种融合方案其 Kappa 系数在 0.8~1 之间,效果得到很大程度改善。

(2) 3 种多尺度融合方法各具优势。由于细尺度上的分割结果较为破碎,对面积较小的地物分割效果好,而聚落群,农业用地等形状大的地物在粗尺度上分割结果较好,模糊融合方法将 4 个尺度上变化检测结果的方差引入权重的计算过程中,它们的权重分配依次为: 0.165、0.206、0.261、0.368,最终结果实现了 4 个尺度上的变化信息有效集中和准确提取,表 3 的检测精度数据也证实了这种情况。决策级融合方案 1 依赖于每个尺度上的变化强度值经过 OTSU 阈值分割的结果,对 4 个尺度上的变化信息进行的是简单的像素级上的综合,将出现在两个尺度及两个尺度以上变化的像元视为最终变化,其余视为不变化,相对于模糊融合方法来说降低了误检率,但是虚检率却变大了,总体精度略低于模糊融合方法。因此在实际应用中,如果融合尺度选择不恰当或者阈值分割结果不好,对最终的融合效果影响会较大。

(3) 决策级融合方案 2 通过定义 5 种变化强

度将变化差异图进行量化,代替了阈值分割的过程,通过多值逻辑函数来建立决策级融合规则,有效集成了 4 个尺度上的变化信息,最终结果不仅反映了发生变化像素的位置信息并且反应出了其变化强度的信息。而且,方案 2 其总体精度最高,虚检率、漏检率都好于方案 1。

(4) 此外,基于面向对象的变化检测结果区域都较为规整,并且多数对象对应着具有实际物理意义的目标区域,而像素级的变化检测结果则存在着大量的椒盐噪声,且区域较为破碎,导致整体检测效果不佳。

4 结束语

本文提出了一种基于多尺度分割与融合的对象级变化检测新思路,该方法为多个尺度上的变化信息融合提供了一种有效途径。与传统的像素级变化检测方法相比,针对本文的试验影像,利用这 3 种融合策略均取得了较好的结果,但是仍然存在以下不足:

(1) 未能兼顾不同区域光谱和纹理信息的比重分配。本文在变化信息提取过程中,主要是将光谱信息和纹理信息进行复合,然而不同的区域其光谱信息和纹理信息的变化程度可能有很大的差别,有的研究区域中大部分变化区域其光谱差异较大而其纹理差异较小,也可能相反。因此,应该根据研究区的具体情况,将光谱因子和纹理因子的权重在对象的特征向量中加以调整,使得特

征向量更加合理准确。

(2) 3种融合策略各具优劣。模糊融合采用隶属度函数的思想来描述渐变区域,但是对隶属度函数参数及选取要求较高;决策级融合方案1在实际应用中,如果融合尺度选择不恰当或者阈值分割结果不好,对最终的融合效果影响较大;方案2通过多值逻辑函数来建立决策级融合规则,变化强度值量化的过程对最终的融合效果影响较大。在提取变化区域之后,本文并没有识别变化类型,这些工作将在今后的研究中不断加以完善。

参考文献:

- [1] SU Xiangqin, WU Wenbo, LI Haitao, et al. Land-use and Land-cover Change Detection Based on Object-oriented Theory[C]//International Symposium on Image and Data Fusion (ISIDF). Tengchong: IEEE, 2011: 1-4.
- [2] HAZEL G G. Object-level Change Detection in Spectral Imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(3): 553-561.
- [3] DAI Qin, LIU Jianbo, LIU Shibin. Remote Sensing Image Change Detection Using Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2012, 41(6): 857-863. (戴芹, 刘建波, 刘士彬. 微粒群优化方法的遥感影像变化检测研究[J]. 测绘学报, 2012, 41(6): 857-863.)
- [4] LIANG Hong. Classification of High Resolution Remote Sensing Image Based on Geo-ontology and Conditional Random Fields[C]//TIAN Jinwen, MA Jie. Proceedings of SPIE 8921, MIPPR 2013: Remote Sensing Image Processing, Geographic Information Systems, and Other Applications. Wuhan: SPIE, 2013.
- [5] ZHONG Jiaqiang, WANG Runsheng. Multitemporal Remote Sensing Image Change Detection Based on Adaptive Parameter Estimation [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2005, 34(4): 331-336. (钟家强, 王润生. 基于自适应参数估计的多时相遥感图像变化检测[J]. 测绘学报, 2005, 34(4): 331-336.)
- [6] WANG Chao, XU Mengxi, WANG Xin, et al. Object-oriented Change Detection Approach for High-resolution Remote Sensing Images Based on Multiscale Fusion[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2013, 7(1): 073696.
- [7] SUN Kaimin, CHEN Yan. The Application of Objects Change Vector Analysis in Object-level Change Detection [J]. International Conference on Computational Intelligence and Industrial Application (PACIIA), 2010, 15(4): 383-389.
- [8] BOVOLO F, BRUZZONE L. A Theoretical Framework for Unsupervised Change Detection Based on Change Vector Analysis in the Polar Domain[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45(1): 218-236.
- [9] BRUZZONE L, PRIETO D F. Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(3): 1171-1182.
- [10] NEMMOUR H, CHIBANI Y. Multiple Support Vector Machines for Land Cover Change Detection: An Application for Mapping Urban Extensions [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2006, 61(2): 125-133.
- [11] WANG Wenjie, ZHAO Zhongming, ZHU Haiqing. Object-oriented Multi-feature Fusion Change Detection Method for High Resolution Remote Sensing Image[C]//Proceedings of the 17th International Conference on Geoinformatics. Fairfax, VA: IEEE, 2009: 1-6.
- [12] WU Junzheng, YAN Weidong, NI Weiping, et al. Object-level Change Detection Based on Image Fusion and Multi-scale Segmentation [J]. Electronics Optics & Control, 2013, 20(12): 51-55. (吴俊政, 严卫东, 倪维平, 等. 基于图像融合与多尺度分割的目标级变化检测[J]. 电光与控制, 2013, 20(12): 51-55.)
- [13] SU Juan, LIU Daizhi. An Object-level Change Detection Algorithm for Remote Sensing Images[J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(9): 1764-1768. (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.)
- [14] CHEN Chunlei, WU Gang. Evaluation of Optimal Segmentation Scale with Object-oriented Method in Remote Sensing [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(1): 96-102. (陈春雷, 武刚. 面向对象的遥感影像最优分割尺度评价[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(1): 96-102.)
- [15] LI Liang, SHU Ning, WANG Yan. Segment-based Remote Sensing Image Change Detection Using Normalized Mutual Information [J]. Remote Sensing Information (Theoretical Research), 2011(6): 18-22. (李亮, 舒宁, 王琰. 利用归一化互信息进行基于像斑的遥感影像变化检测[J]. 遥感信息(理论研究), 2011(6): 18-22.)
- [16] LIANG Jie, YANG Jianyu, ZHANG Chao, et al. A Comparison of Two Object-oriented Methods for Land-use-cover Change Detection with SPOT5 Imagery [J]. Sensor Letters, 2012, 10(1-2): 415-424.
- [17] WU Wenbo, LIU Zhenggang. A Method of the Best Band Combination Selection Based on Spectral Characteristics of Surface Features [J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2007, 16(6): 22-24. (武文波, 刘正纲. 一种基于地物波谱特征的最佳波段组合选取方法[J]. 测绘工程, 2007, 16(6): 22-24.)
- [18] ZHAI Yongguang, WANG Yaoqiang, ZHANG Shengwei. An Optional Scale Segmentation Method Based on Scale Comparison in Object-oriented Remote Sensing Classification [C] // 2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE). Nanjing: IEEE, 2011: 4752-4755.

- [19] ZHANG Jun, WANG Yunjia, LI Yan, et al. An Object-oriented Optimal Scale Choice Method for High Spatial Resolution Remote Sensing Image [J]. Science and Technology Review, 2009, 27(21): 91-94. (张俊, 汪云甲, 李妍, 等. 一种面向对象的高分辨率影像最优分割尺度选择算法[J]. 科技导报, 2009, 27(21): 91-94.)
- [20] TOBIAS O J, SEARA R. Image Segmentation by Histogram Thresholding Using Fuzzy Sets[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2011, 11(12): 1457-1465.
- [21] WANG Guiting, WANG Youliang, JIAO Licheng. Change Detection Method of Multiband Remote Sensing Images Based on Fast Expectation-maximization Algorithm and Fuzzy Fusion [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2010, 29(5): 383-388. (王桂婷, 王幼亮, 焦李成. 基于快速 EM 算法和模糊融合的多波段遥感影像变化检测[J]. 红外与毫米波学报, 2010, 29(5): 383-388.)
- [22] WANG Wenjie, ZHAO Zhongming, ZHU Haiqing. Object-oriented Change Detection Method Based on Multi-scale and Multi-feature Fusion [C] // Joint Urban Remote Sensing Event. Shanghai: IEEE, 2009: 1-5.
- [23] CHEN Huahua, SHEN Jizhong. Canonical Form of Fuzzy Logic Function Based on Multi-valued Logic Method[J]. Journal of Zhejiang University: Science Edition, 2002, 29(3): 292-297. (陈华华, 沈继忠. 基于多值逻辑方法的模糊逻辑函数规范展开[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2002, 29(3): 292-297.)

(责任编辑:宋启凡)

收稿日期: 2014-05-19

修回日期: 2015-03-02

第一作者简介: 冯文卿(1991—),男,硕士生,主要从事遥感影像变化检测方面的研究。

First author: FENG Wenqing(1991—),male, postgraduate, majors in the theories and methods of change detection of remote sensing images.

E-mail: wq_feng@whu.edu.cn

通信作者: 张永军

Corresponding author: ZHANG Yongjun

E-mail: zhangyj@whu.edu.cn

(上接第 1091 页)

- [15] FLORES A, RUFFINI G, RIUS A. 4D Tropospheric Tomography Using GPS Slant Wet Delays[J]. Annales Geophysicae, 2000, 18(2): 223-234.
- [16] FLORES A, DE ARELLANO J V G, GRADINARSKY L P, et al. Tomography of the Lower Troposphere Using a Small Dense Network of GPS Receivers[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(2): 439-447.
- [17] DAVIS J L, HERRING T A, SHAPIRO I I, et al. Geodesy by Radio Interferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Baseline Length [J]. Radio Science, 1985, 20(6): 1593-1607.
- [18] WEXLER A. Vapor Pressure Formulation for Water in the Range 0 to 100°C: A Revision[J]. Journal of Research of the National Bureau of Standards-A: Physics and Chemistry, 1976, 80A(5-6): 775-785.
- [19] WEXLER A. Vapor Pressure Formulation for Ice[J]. Journal of Research of the National Bureau of Standards-A: Physics and Chemistry, 1977, 81A(1): 5-20.
- [20] LAGLER K, SCHINDELEGGGER M, BÖHM J, et al. GPT2: Empirical Slant Delay Model for Radio Space Geodetic Techniques[J]. Geophysical Research Letters, 2013, 40(6): 1069-1073.
- [21] YAO Y B, ZHANG B, XU C Q, et al. Improved One-parameter Models that Consider Seasonal and Geographic Variations for Estimating Weighted Mean Temperature in Ground-based GPS Meteorology [J]. Journal of Geodesy, 2014, 88(3): 273-282.
- [22] LI W, YUAN Y B, OU J K, et al. A New Global Zenith Tropospheric Delay Model IGGtrop for GNSS Applications [J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(17): 2132-2139.
- [23] YAO Yibin, HE Changyong, ZHANG Bao, et al. A New Global Zenith Tropospheric Delay Model GZTD [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56(7): 2218-2227. (姚宜斌, 何畅勇, 张豹, 等. 一种新的全球对流层天顶延迟模型 GZTD [J]. 地球物理学报, 2013, 56(7): 2218-2227.)

(责任编辑:丛树平)

收稿日期: 2014-12-15

修回日期: 2015-03-27

第一作者简介: 张豹(1987—),男,博士生,研究方向为 GNSS 气象学与 GNSS 数据处理。

First author: ZHANG Bao(1987—), male, PhD candidate, majors in geodesy and geomatics, GNSS meteorology and GNSS data processing.

E-mail: sggzb@whu.edu.cn