

## 多特征自适应融合的高分辨率遥感影像变化检测

全卫澎, 李卫华, 李小春  
(空军工程大学信息与导航学院, 西安 710077)

**摘要:** 常规的遥感影像变化检测主要基于光谱信息, 没有充分挖掘高分辨率遥感影像的多特征信息, 导致检测结果完整性不高、准确性低等问题, 针对此问题, 提出一种基于面向对象思想的多特征自适应融合的遥感影像变化检测方法。首先, 应用 eCognition 软件对两时相遥感影像进行分割, 提取影像对象的光谱、纹理、形状特征, 然后构建神经网络进行特征融合, 自适应地调节特征融合权值, 得到最终检测结果。实验结果表明, 多特征自适应融合的检测方法能够有效减小漏检、虚检概率, 提高检测的准确性与完整性。

**关键词:** 遥感影像; 特征融合; 变化检测; 自适应调节; 神经网络

**中图分类号:** V271.4; TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)03-0045-05

## Detecting the Change of High-Resolution Remote Sensing Images by Adaptive Multi-Feature Fusion

QUAN Wei-peng, LI Wei-hua, LI Xiao-chun  
(School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** Traditional approaches for detecting the changes in remote sensing images are mainly based on spectral information of the original images without utilizing other derived features, thus may result in low detection accuracy and low integrity. To solve this problem, we proposed an algorithm for detecting the changes of remote sensing images based on object-oriented idea and adaptive multi-features fusion. First, the eCognition was used to realize image segmentation, and extract the spectral, textural feature and space characteristics. A neural network was built up to realize adaptive multi-features fusion, and the final detection results were obtained. The experimental results show that adaptive multi-feature fusion method can reduce the probability of missing detection and false detection, and improve the accuracy and integrity of the detection result.

**Key words:** remote sensing image; features fusion; change detection; adaptive control; neural network

### 0 引言

随着遥感技术迅速发展, 遥感影像的分辨率越来越高, 所包含的细节信息更为丰富, 传统的基于单特征、像素级别的变化检测方法已经不足以体现检测目标的完整性与准确性<sup>[1]</sup>, 故基于多特征分析的面向对象<sup>[2-3]</sup>检测方法成为高分辨率遥感影像变化检测的重点。影像对象更易于提取与地理实体对应的描述特征, 一般来说, 少量的特征很难表达出对象的本质特征, 不同特征对检测结果的影响不一样, 基于单特征得

到的变化检测结果往往不够全面, 地形地物信息损失较多, 如何综合利用对象的多特征进行变化检测是提高检测性能的关键<sup>[4-5]</sup>。然而, 不同特征的组合应用得到的检测结果也不一样, 检测结果不准确, 存在不确定性。故将多种特征进行集成, 构造更为稳定和适用的检测模型是提高变化检测结果的完整性与准确性的关键。神经网络作为一种智能网络, 可以模拟大脑神经对各个输入进行判断, 根据其重要度自适应地调节各个输入的权值, 对多特征进行融合, 融合结果更为稳定、合理。神经网络可用于分类、融合等, 目前在变化检测领域应用较少。文献[6]将神经网络用于变化信息的提取, 充分地利用了神经网络的自适应处理特征, 能够准确快速地识别变化信息; 文献[7]将神经网络用于图像融合, 有效地提取原始图像的特征信息, 但

收稿日期: 2014-04-29 修回日期: 2014-06-23

基金项目: 陕西省自然科学基金(2012JQ8016)

作者简介: 全卫澎(1990—), 男, 广西桂林人, 硕士生, 研究方向为图像信号处理。

并未有人将基于神经网络的特征融合模型引入变化检测中。

针对以上问题,提出一种面向对象的多特征自适应融合检测算法,对高分辨率遥感影像进行变化检测。应用 eCognition 软件对两时相遥感影像进行分割,然后提取对象的多特征,使用 BP 神经网络进行特征融合,最后进行变化检测,有效地提高了检测结果的连续性、完整性;BP 神经网络通过特征权值的自适应调节,实现了不同种特征间贡献度不同的融合,较传统的等权值融合算法更加精确。

### 1 本文方法

本文算法流程为:首先使用 eCognition 软件对两时相遥感影像进行分割,精确地提取出影像对象;然后提取对象特征,本文选用的特征包括光谱特征、纹理特征、形状特征,最后构建一种基于神经网络自适应调节融合权值的特征融合模型,得到检测结果,并对检测结果进行分析、评估。具体算法流程如图 1 所示。

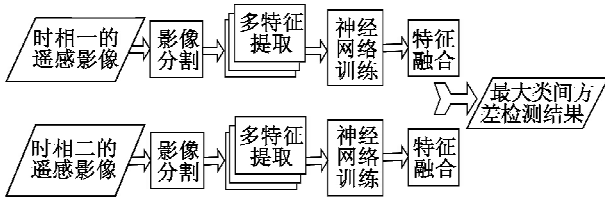


图 1 检测算法流程图

Fig. 1 The flow chart of detection algorithm

#### 1.1 影像对象的提取

面向对象的变化检测算法的第一步就是影像对象的提取,影像对象提取的精度对变化检测结果的影响非常大,所以需要一种适用于遥感影像分割的算法来进行影像对象的提取。本文采用专业的遥感影像分析软件 eCognition 对影像进行分割,它运用多种特征对影像进行分类,该技术采用一种新颖独特的影像多尺度分割的法则,以任意尺度生成属性信息类似的影像多边形对象,运用模糊逻辑方法获得每个影像对象的属性信息,并以影像对象为信息提取的基本单元<sup>[8]</sup>。不同尺度对分割结果影响较大,根据感兴趣目标的尺度大小设定分割尺度,本文对影像在多个尺度上进行分割,最终确定分割尺度。

#### 1.2 对象特征提取

##### 1.2.1 光谱特征

光谱特征主要是指影像的原始像素值特征,包括与邻域像素的平均差分、标准差、最小像素值、最大像素值、内部边界均值和外部边界均值等。

##### 1.2.2 纹理特征

纹理特征包括对比度、相关性、能量、同质性(见表

1),可由统计法获得。通过统计区域的灰度共生矩阵可以获得它们的对比度、相关性、能量、同质性。

表 1 纹理特征表

Table 1 Texture feature

描述	数学定义
对比度,取值范围为 $[0, (\text{size}(G_{GLCM}, 1) - 1)^2]$	$\sum_{i,j}  i - j ^2 p(i, j)$
相关性,取值范围 $[-1, 1]$	$\frac{\sum_{i,j} (i - \mu_i)(j - \mu_j) p(i, j)}{\sigma_i \sigma_j}$
能量,即 GLCM 每个元素的平方和,取值范围 $[0, 1]$	$\sum_{i,j} p(i, j)^2$
同质性,取值范围 $[0, 1]$	$\sum_{i,j} \frac{p(i, j)}{1 +  i - j }$

##### 1.2.3 形状特征

形状特征包括边沿、紧凑度、密度、长宽比、形状系数等。

#### 1.3 基于神经网络的多特征融合模型设计

多特征融合变化检测算法的关键在于特征融合模型的构建。不同的特征对变化检测结果的贡献度和作用不同<sup>[9]</sup>,检测结果也各有不同,导致检测结果不稳定。本文选用的是光谱特征(边界内部均值)、纹理特征(同质性)、形状特征(形状系数),并构建了一种基于神经网络自适应调节融合权值的特征融合模型,充分利用不同特征对检测结果的贡献度不一致这个理论,提高检测结果的边沿完整性、内部均匀性、准确性和稳定性。BP 神经网络是人工神经网络中的一种,应用非常广泛,它是一种优化算法,可以根据设计的目标函数,自适应地调节输入权值和阈值,使得输出结果逼近目标函数。

算法的具体实现过程如下所述。

1) 首先需要设计一个神经网络模型,主要包括网络的层数、神经元的个数。神经网络的层数决定了算法的复杂度,为了提高算法效率,本文选用 3 层神经网络,包括输入层、隐藏层和输出层;神经网络的输入为所提取的特征,由于文中选用的特征数量为 3 种,故神经元个数设计为 3 个,  $P_i$  为影像特征。具体结构见图 2。

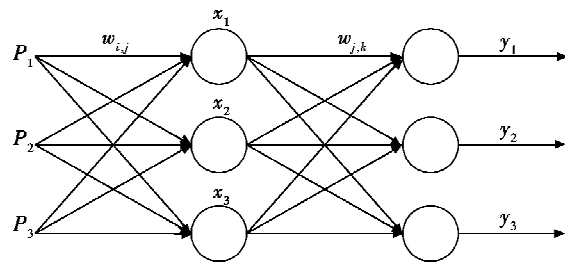


图 2 神经网络结构

Fig. 2 The structure of neural network

2) 确定神经网络的初始权值。神经网络的学习

过程可能会落入局部最小,因此,初始权值应该尽可能小,使得神经网络的输出接近零,以达到初始输出与期望输出差值最大。故本文初始权值选择(0,1)之间的随机数。

3) 目标函数的设定。设计原则应使得目标函数包含尽可能多的信息,根据信息熵理论:数据的方差越大所包含的信息越丰富<sup>[10-11]</sup>,将目标函数设定为

$$f(P) = |P - \hat{P}|_{\max} \quad (1)$$

式中: $P$ 为输入特征; $\hat{P}$ 为输入特征的平均值。

4) 学习过程:首先将特征进行幅值归一化处理,得到3组特征  $P_1, P_2, P_3$ , 神经网络的输入为  $P_1, P_2, P_3$ , 网络权值和阈值为  $w_{i,j}, \alpha$ 。对输入进行加权求和,即  $n = \sum_{i=1}^3 P_i w_{i,j} + \alpha$ , 神经元的传递函数选用 Sigmoid 函数,即

$$f(x) = \frac{1}{(1 + e^{-x})} \quad (2)$$

则

$$x_i = f(n) = f\left(\sum_{j=1}^{n_1} w_{i,j} P_j - \alpha_i\right) \quad (3)$$

$$y_j = f(n) = f\left(\sum_{k=1}^{n_2} w_{j,k} x_k - \alpha_j\right) \quad (4)$$

其总误差为

$$E = \frac{\sum (y_j - |P - \hat{P}|)^2}{2} \quad (5)$$

采用梯度法对每个权值  $w_{i,j}$  进行调节,即

$$\Delta w_{i,j} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{i,j}} \quad (6)$$

$$w_{i,j}(t+1) = w_{i,j}(t) + \Delta w_{i,j}(t) \quad (7)$$

当  $\Delta E = \sum_{n=1}^p \frac{\partial E}{\partial w_{i,j}} = 0$  时,可得到一组稳定的解  $w_{i,j}$ , 故可确定神经网络的权值  $w_{i,j}$ , 得到特征融合结果。

5) 将特征融合结果用于变化检测,采用最大类间方差法进行变化检测,得到检测结果,并对结果进行分析。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 实验数据

为了验证检测结果的完整性和准确性,分别选用印度河流域和敦煌地区多时相 QuickBird (QB) 2.4 m 分辨率的遥感影像进行实验分析。其中,印度河流域的两影像分别拍摄于2009年6月和2010年6月,图像大小为324像素×216像素,如图3所示;敦煌地区的两影像分别拍摄于2011年和2012年,图像大小为720像素×480像素,如图4所示。

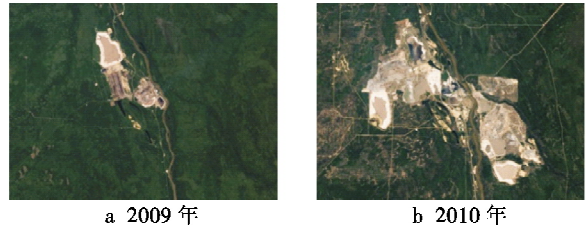


图3 印度河流域的两影像原图

Fig.3 The original image of the Indus Valley

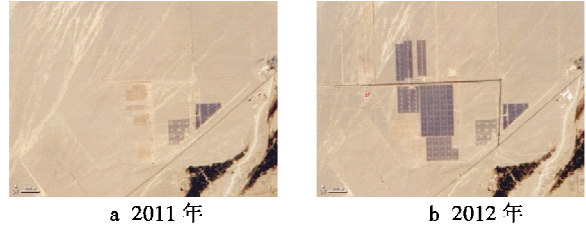
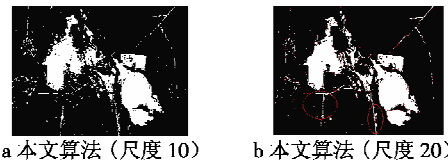


图4 敦煌地区的两影像原图

Fig.4 The original image of Dunhuang

### 2.2 实验结果

按照本文思路,先使用 eCognition 软件提取影像对象,然后提取对象特征,本实验选用的特征为光谱特征(边界内部均值)、纹理特征(同质性)、形状特征(形状系数)。利用神经网络进行训练,得到融合特征进行变化检测得到实验结果。根据实验,选择分割尺度为10,20的变化检测结果分别与文献[12]中的基于PCA的变化检测方法和文献[13]中的改进的最大类间方差法的变化检测算法进行比较,结果如图5、图6所示。



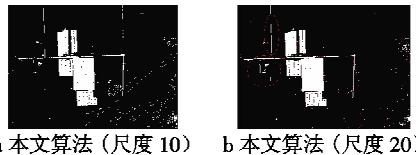
a 本文算法(尺度10) b 本文算法(尺度20)



c 文献[12]的结果 d 文献[13]的结果 e 人工标注参考变化图

图5 不同算法变化检测结果(印度河流域)

Fig.5 Detection results of different algorithms(Indus Valley)



a 本文算法(尺度10) b 本文算法(尺度20)



c 文献[12]的结果 d 文献[13]的结果 e 人工标注参考变化图

图6 不同算法变化检测结果(敦煌地区)

Fig.6 Detection results of different algorithms(Dunhuang)

### 2.3 结果分析

由实验结果可以看出,不同尺度的对象提取会影响检测结果,选择与感兴趣目标尺度匹配的分割尺度,能更好地提高检测精度。相比文献[12]中的PCA检测算法,本文算法保留了更多细节,如图5b中的道路,图6b中的小建筑物,检测结果更加准确;相比文献[13],本文算法检测结果更加连续,有效地减少了“孤岛效应”。

对本文算法进一步进行量化分析,对遥感影像进行人工标定,得到真实变化图。计算正确检测率、虚检率、漏检率和Kappa系数,其中,Kappa系数是一种计算图像分类精度的指标,应用于变化检测结果评估时,可以综合地评价图像变化检测的性能,具有较高的权威性。

$$\text{正确检测率} = \frac{\text{正确检测的变化像素数}}{\text{真实的变化像素总数}} \quad (8)$$

$$\text{虚检率} = \frac{\text{虚检的变化像素数}}{\text{真实的变化像素总数}} \quad (9)$$

$$\text{漏检率} = \frac{\text{漏检的变化像素数}}{\text{真实的变化像素总数}} \quad (10)$$

$$K_{\text{Kappa}} = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \quad (11)$$

$$P_o = \frac{s}{n} \quad (12)$$

$$P_o = \frac{a_1 \times b_1 + a_0 \times b_0}{n \times n} \quad (13)$$

式中:检测结果为0的像元数为 $a_0$ ;检测结果为1的像元数为 $a_1$ ;真实变化图为0的像元数为 $b_0$ ;真实变化图为1的像元数为 $b_1$ ;两图对应像素相等的个数为 $s$ ;  $n$ 为总像素。不同算法检测性能结果如表2所示。

表2 性能参数表

Table 2 The performance parameter

算法	第一组数据					第二组数据				
	正确检测率	虚检率	漏检率	Kappa系数	程序运行时间/s	正确检测率	虚检率	漏检率	Kappa系数	程序运行时间/s
本文算法(尺度10)	0.85	0.13	0.15	0.67	6.96	0.83	0.15	0.17	0.67	8.33
本文算法(尺度20)	0.92	0.10	0.08	0.77	6.23	0.90	0.11	0.10	0.74	7.46
文献[12]	0.81	0.05	0.19	0.70	4.35	0.75	0.06	0.25	0.68	5.12
文献[13]	0.84	0.12	0.16	0.68	2.21	0.78	0.16	0.22	0.64	2.89

由表2可以看出:

1) 不同尺度的选择对实验结果的影响较大,一个合适的尺度选择是提高算法性能的关键,实验结果表明,当尺度分别选择10,20时,两幅影像的正确检测概率比文献[12]与文献[13]有一定的提高;

2) 本文算法Kappa系数达到0.77与0.74,同时

漏检率也仅为0.08与0.10,说明多特征融合对于保持变化信息的完整性和一致性具有较好效果;

3) 本文算法采用神经网络对特征进行训练融合,其算法效率取决于特征的个数,由表中程序运行时间可以得出,本文算法复杂度有所增加,但其检测精度的提高更为明显。

### 3 结论

多特征融合是目前变化检测发展的热门方向,不同特征对变化检测结果的贡献度不同,不同的融合策略会得到不同的结果,这使得变化检测算法准确性降低。本文结合面向对象的思想,提取了遥感影像的光谱、纹理、形状特征,提出了一种基于神经网络特征融合的遥感影像变化检测算法。利用神经网络的学习功能,自适应地调节特征融合权值,使得融合结果保留了更多特征信息,使得变化检测结果更为完整和稳定。实验结果印证了算法对准确性的改善,然而该算法依旧存在一些不足,特征种类的增加会使得神经网络算法变得复杂,所以下一步的工作重点是如何降低算法的复杂度,进一步提高算法效率。

### 参考文献

- [1] 魏立飞,钟燕飞,张良培,等. 遥感影像融合的自适应变化检测[J]. 遥感学报,2010,14(6):1204-1210. (WEI L F, ZHONG Y F, ZHANG L P, et al. Adaptive change method sensing image fusion[J]. Journal of Remote Sensing, 2010, 14(6):1204-1210.)
- [2] GONG J Y. Object-level change detection based on full-scale image segmentation and its application to Wenchuan earthquake[J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2008(51):110-122.
- [3] ZHANG G, LI Y. A new approach toward object-based change detection [J]. Science China Technological Sciences, 2010(53):105-110.
- [4] 杜培军,柳思聪. 融合多特征的遥感影像变化检测[J]. 遥感学报,2012,16(4):670-677. (DU P J, LIU S C. Change detection from multi-temporal remote sensing images by integrating multiple features[J]. Journal of Remote Sensing, 2012, 16(4):670-677.)
- [5] 汪润,张星月. 多特征证据融合的遥感图像变化检测[J]. 遥感学报,2010,14(3):564-570. (WANG M, ZHANG X Y. Change detection using high spatial resolution remotely sensed imagery by combining evidence theory and structural similarity[J]. Journal of Remote Sensing, 2010, 14(3):564-570.)
- [6] 郭泰圣,张新长. 神经网络决策树的矢量数据变化信息快速识别方法[J]. 测绘学报,2013,42(6):937-944.

- (GUO T S, ZHANG X C. Research on change information recognition method of vector data based on neural network decision tree[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2013, 42(6):937-944. )
- [7] 薛寺中,周爱平,梁久祯. 基于小波变换的自适应脉冲耦合神经网络图像融合[J]. *计算机应用*, 2010, 30(12):3225-3228. (XUE S Z, ZHOU A P, LIANG J Z. Image fusion based on wavelet transform and adaptive PCNN[J]. *Journal of Computer Applications*, 2010, 30(12):3225-3228. )
- [8] WANG W J. Object-oriented multi-feature fusion change detection method for high resolution remote sensing image [C]//The 17th International Conference on Geoinformatics, Fairfax:IEEE, 2009:1-6.
- [9] 袁修孝,宋妍. 一种运用纹理和光谱特征消除投影差影响的建筑物变化检测方法[J]. *武汉大学学报:信息科学版*, 2007, 32(6):490-493. (YUAN X X, SONG Y. A building change detection method considering projection influence based on spectral feature and texture feature [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(6):490-493. )
- [10] 郭红钰. 基于信息熵理论的特征权重算法研究[J]. *计算机工程与应用*, 2013, 49(10):140-146. (GUO H Y. Research on term weighting algorithm based on information entropy theory [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2013, 49(10):140-146. )
- [11] 崇元,徐晓刚,徐贯累,等. 基于协方差交叉算法的多源遥感图像融合方法[J]. *电光与控制*, 2013, 20(6):4-11. (CHONG Y, XU X G, XU G L, et al. Multi-source remote sensing image fusion method based on covariance intersection algorithm [J]. *Electronics Optics & Control*, 2013, 20(6):4-11. )
- [12] CELIK T. Unsupervised change detection in satellite images using principal component analysis and *k*-means clustering[J]. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2009, 4(6):772-776.
- [13] 徐国华,张保明,李旭. 基于改进的最大类间方差法的遥感影像变化检测[J]. *测绘科学*, 2012, 37(1):80-82. (XU G H, ZHANG B M, LI X. Change detection for remote sensing images based on improved Otsu algorithm [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2012, 37(1):80-82. )
- 
- (上接第30页)
- Research on sliding mode based spacecraft actuator fault diagnosis and fault-tolerant control [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2012. )
- [4] 丁旭东. 基于滑模观测器的非线性系统故障诊断与故障重构问题研究[D]. 上海:华东理工大学, 2012. (DING X D. Nonlinear system fault diagnosis and reconstruction based on sliding mode observers [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2012. )
- [5] 肖冰,胡庆雷,马广富. 基于观测器的航天器执行机构失效故障重构[J]. *宇航学报*, 2011, 32(2):323-328. (XIAO B, HU Q L, MA G F. Observer based fault reconstruction for spacecraft under loss of actuator effectiveness [J]. *Journal of Astronautics*, 2011, 32(2):323-328. )
- [6] 黄洪剑,林瑞光. 无刷直流电机可靠性及其故障模式分析[J]. *电机与控制学报*, 2000, 4(4):198-201. (HUANG H J, LIN R G. Analysis of BLDCM reliability and failure model [J]. *Electric Machines and Control*, 2000, 4(4):198-201. )
- [7] 杨成顺,杨忠,黄宵宁,等. 四旋翼飞行器的分散式容错控制[J]. *应用科学学报*, 2013, 31(3):321-330. (YANG C S, YANG Z, HUANG X N, et al. Distributed fault-tolerant control for quadrotor [J]. *Journal of Applied Sciences*, 2013, 31(3):321-330. )
- [8] 李少斌. 微型多旋翼飞行器控制技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2012. (LI S B. Research on flight control of micro multi-rotor [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012. )
- [9] 杨成顺,杨忠,许德智,等. 新型六旋翼飞行器的轨迹跟踪控制[J]. *系统工程与电子技术*, 2012, 34(10):2098-2105. (YANG C S, YANG Z, XU D Z, et al. Trajectory tracking control for novel six-rotor aircraft [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2012, 34(10):2098-2105. )
- [10] 何静. 基于观测器的非线性系统鲁棒故障检测与重构方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2009. (HE J. On observer-based robust fault detection and reconstruction for nonlinear systems [D]. Changsha: University of National Defense Science and Technology, 2009. )
- [11] JIANG B, STAROSWIECKI M. Actuator fault tolerant control in nonlinear continuous-time systems [C]//Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), Dalian, China, 2006:5483-5487.
- [12] 曾宪法,王洁瑶,王小虎,等. 基于SMDO的滑模控制器设计及其在导弹上的应用[J]. *航空学报*, 2011, 35(5):873-880. (ZENG X F, WANG J Y, WANG X H, et al. Design of sliding mode controller based on SMDO and its application to missile control [J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2011, 35(5):873-880. )
- [13] 程路. 近空间飞行器鲁棒自适应协调控制研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2011. (CHENG L. Research on robust adaptive coordinative control for near space vehicle [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011. )