

面向对象的 ICA 变化检测新方法

李小春 贾春阳 李卫华

(空军工程大学信息与导航学院 西安 710077)

摘 要 通过分析高分辨率影像变化检测方法存在的问题,提出了结合面向对象和非抽样小波变换(undecimated discrete wavelet transform, UDWT)的独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)变化检测新算法。利用面向对象处理方法提取的影像对象特征图作为构建 ICA 子空间估计输入向量的数据,改善了对噪声抑制的效果,同时,提出了自适应权值的影像对象提取算法,进一步优化了面向对象的处理方法;采用非抽样小波变换进行分块有效克服了现有分块方法带来的 ICA 子空间估计输入向量尺寸缩减、子空间估计不准确的突出问题。定性定量仿真结果表明:与典型的 ICA 算法和 UDWT 算法相比,新算法在高分辨影像变化检测的准确性和鲁棒性方面都得到了很大的改善。

关键词 影像对象,变化检测,非抽样小波变换,独立成分分析

中图法分类号 TP391.41 文献标识码 A

Novel Change Detection Method Using Independent Component Analysis and Oriented-object Method

LI Xiao-chun JIA Chun-yang LI Wei-hua

(Information and Navigation college, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract Through analyzing problems brought on change detection methods of remote sensing images with high resolution, a novel change detection algorithm using Independent Component Analysis combined with oriented-object and undecimated discrete wavelet transform (UDWT) was proposed. First, feature images of image's objects extracted using oriented-object method serve as data of input vector to estimate sub-space for Independent Component Analysis, which can improve effect of noise suppression, simultaneously, a new algorithm using self-adapted weight was proposed in order to extract image's object, which optimizes processing method on oriented-object deeply. New partitioning scheme using undecimated discrete wavelet transform overcomes effectively prominent problem as follows: the size of input vector becomes shrinking which leads to unprecisely estimation of sub-space for independent component analysis using present partitioning scheme. Simulation results show that compared with typical algorithm, such as Independent Component Analysis and undecimated discrete wavelet transform, new algorithm improves robust and veracity of change detection for high-resolution images greatly by using qualitative and quantitative results.

Keywords Image's objects, Change detection, UDWT, ICA

1 引言

利用变化检测技术对地球表面的变化进行分析是遥感技术最重要的应用之一^[1]。随着传感器技术的发展,遥感影像分辨率越来越高,所能表示的地物信息也更加复杂。因此,需要一种鲁棒性好、准确率高的变化检测算法来应对这种情况。为解决这一问题,目前有两种主要的研究思路,1)对基于像素变化检测算法进行改进,2)研究基于影像对象的实现方法。本文通过对两种思路的深入分析发现,思路 1)中,基于变换的变化检测算法对高分辨影像的变化检测具有较好的应用前景,在基于变换的变化检测算法^[2]中,与小波变换方法、主成份分析(PCA)方法、多变量变化检测(MAD)方法相比,基于子空间映射的独立成份分析(ICA)方法具有明确的物理意义,能够对变化检测结果做出合理的解释,在实际中得到了较

好的应用。但随着影像分辨率的提高,基于像素的 ICA 变化检测算法对背景噪声抑制效果差成为一个突出的问题,另外在 ICA 变化检测算法中,分块方案以及分块的大小对变化检测结果也有较大的影响,分块不合理会造成漏检和错检。思路 2)中,以影像对象作为变化检测的基元,对背景噪声的抑制有很大的改善,不过影像对象的提取和影像对象特征利用成为影响变化检测准确性的两个关键性因素,对影像对象的提取而言,目前唯一使用的方法就是分形网络演化方法(FNEA)^[4,5],但该方法采取经验性的固定权值法,使得对影像对象提取的适应性和准确性都不够理想,对影像对象特征的利用问题,无论是最优特征法^[6],还是特征加权法^[7,8],首要的问题就是必须保证单特征变化检测的准确性,这都使得目前基于影像对象的处理方法对高分辨率影像也难以取得令人满意的变化结果。

本文受陕西省自然科学基金项目(2012JQ8016)资助。

李小春(1974—),女,博士,主要研究方向为图像处理与多元信息融合研究, E-mail: chunwind@sohu.com; 贾春阳(1988—),男,硕士,主要研究方向为图像处理; 李卫华(1964—),男,博士,教授,主要研究方向为图像处理与多元信息融合。

本文综合两种思路的优势,提出了结合面向对象与非抽样小波变换(UDWT)的 ICA 高分辨率影像变化检测新方法,该方法针对 ICA 变化检测算法处理高分辨率影像变化检测时存在鲁棒性和准确性的突出问题,利用面向对象的处理方法提高了经典 ICA 变化检测算法对噪声的鲁棒性,利用 UDWT 进行分块克服了分块大小对变化检测准确性的影响。新算法在对背景噪声抑制的鲁棒性和变化检测的准确性两个方面得到了较好的改善。

2 基于子空间映射的 ICA 变化检测原理

基于子空间映射的 ICA 变化检测的原理,给定两个随机信号变量 X_1, X_2 ,如果能够估计出 X_1 的独立成分 S_1 ,那么我们可以子空间映射的方法将 X_2 映射到 X_1 的子空间上,通过求映射后的信号 X_2' 与原信号 X_2 的差就可检测到信号 X_2 相对于信号 X_1 的变化。 S_1 估计的准确性与随机信号 X_1 的构造(即分块方案)直接相关,也是影响变化检测准确性的最重要因素。

$$\begin{aligned} X_1 &= [C_{1j}, D_{11}^1, D_{11}^2, D_{11}^3, \dots, D_{1j}^1, D_{1j}^2, D_{1j}^3] \\ X_2 &= [C_{2j}, D_{21}^1, D_{21}^2, D_{21}^3, \dots, D_{2j}^1, D_{2j}^2, D_{2j}^3] \end{aligned} \quad (1)$$

由于 ICA 是一种统计估计的方法,因此式(1)中 X_1, X_2 各分量的大小及构成要素都会影响最终变化检测的准确性。与均匀分块相比,基于二进制小波变换的方法通过利用小波变换的正交性和方向性,可以更合理地构造 X_1, X_2 的分量,但降采样导致的 X_1, X_2 尺寸缩减,对 ICA 子空间估计的准确性是非常不利的,另外现有的分块方案都是基于像素来实现,这都将直接影响最终变化检测的准确性,这正是本文改进算法的出发点。

3 面向对象 ICA 变化检测新方法

3.1 基于自适应加权影像对象分块数据的构造

对高分辨影像而言:(1)图像目标细节信息的增加,使得基于像素的变化检测算法过于破碎,检测结果中出现了很多似噪声的伪变化;(2)高分辨率增加了地物细节信息,同时也增加了地物干扰信息如噪声、阴影等;(3)空间分辨率的提高解决了混合像元问题,提高了同种地物的光谱可分性,但也减弱了不同种类地物之间的光谱可分性,使得基于像素的变化检测方法对变化类和非变化类的可分性降低。

而“影像对象”是指在多特征信息方面具有同质性的区域,其实质在于可以通过充分利用这些区域丰富的纹理、空间和光谱信息,来充分发挥高分辨率的优势。基于此,本文提出基于影像对象的分块数据构造方案,即以提取的影像对象作为研究对象而不是以像素作为研究对象来构造分块的数据来源。因此影像对象的提取成为一个关键的问题,影像对象的提取主要通过式(2)异质性特征的度量来实现:

$$f = \sqrt{\sum_d (f_{1d} - f_{2d})^2} \quad (2)$$

在典型的 FNEA 算法^[4]中,这里 f_{id} 表示综合了对象光谱特征和空间特征的二维特征度量,定义为:

$$f_d = \omega_{shape} * h_{shape} + (1 - \omega_{shape}) * h_{colour} \quad (3)$$

其中:

$$h_{shape} = \omega_{cpt} h_{cpt} + (1 - \omega_{cpt}) h_{smooth} \quad (4)$$

二维特征的准确性是影响影像对象准确提取的关键,而目前在 FNEA 算法中存在的主要问题是,在构造二维特征时,往往根据经验确定空间判据的权值 ω_{shape} 和影响空间判据值 h_{shape} 的紧凑度权值 ω_{cpt} ,而且在确定这些权值时,往往对影像中的所有对象使用相同的固定权值,这样的处理方法对影像对象的准确提取是非常不利的。为了改进对影像对象提取的准确性,这里提出一种自适应权值确定的方法:

$$\omega_{shape} = h_{shape} / (h_{shape} + h_{colour}) \quad (5)$$

$$\omega_{cpt} = h_{cpt} / (h_{cpt} + h_{smooth}) \quad (6)$$

在准确提取影像对象后,以影像对象特征图来表示影像对象,即以影像对象的某个特征代替原始影像像素灰度值来表示影像对象。本文以影像对象特征图作为分块数据的研究对象,这种处理从理论上讲,可以有效克服基于像素级方法导致的伪噪声的变化,从而大大提高变化检测结果的鲁棒性,同时可以避免某些弱边缘的漏检,从而提高变化检测的准确性。

3.2 基于 UDWT 的分块方案的改进

针对现有分块方案导致分块图像尺度缩减问题,本文提出利用 UDWT 来实现影像数据分块。UDWT 分解的原理^[9]如下:

对于一幅原始遥感影像 F 来说,令 l 和 h 分别代表一维低通和高通滤波器, $N_{s,l}, N_{s,h}$ 分别代表低通滤波器 l_s 和高通滤波器 h_s 的长度。则分解过程可以用数学公式描述为:

$$F_{s+1,l}(i, j) = \sum_{m=0}^{N_{s,l}-1} \sum_{n=0}^{N_{s,l}-1} l_s(m) l_s(n) F_{s,l}(i+m, j+n) \quad (7)$$

$$F_{s+1,h}(i, j) = \sum_{m=0}^{N_{s,h}-1} \sum_{n=0}^{N_{s,h}-1} l_s(m) h_s(n) F_{s,l}(i+m, j+n) \quad (8)$$

$$F_{s+1,hl}(i, j) = \sum_{m=0}^{N_{s,h}-1} \sum_{n=0}^{N_{s,l}-1} h_s(m) l_s(n) F_{s,l}(i+m, j+n) \quad (9)$$

$$F_{s+1,hh}(i, j) = \sum_{m=0}^{N_{s,h}-1} \sum_{n=0}^{N_{s,h}-1} h_s(m) h_s(n) F_{s,l}(i+m, j+n) \quad (10)$$

区别于离散小波变换,UDWT 在分解得到高低频分量后,不对数据矩阵进行下采样,而是对上一级的滤波器组的系数进行插值。在分解过程中,如果 $n/2^s$ 为整数,则 $l_s(n) = l(n/2^s)$,否则 $l_s(n) = 0$ 。即在进行 $s+1$ 级分解时,第 $s+1$ 级的滤波器系数 (l_{s+1}, h_{s+1}) 是对第 s 级滤波器组 (l, h) 的系数进行隔行、隔列插入 $2^s - 1$ 个 0 值处理得到的,于是 $l_{s+1} = [\dots, l_s(-1), 0, l_s(0), 0, l_s(1), \dots]$,因此,分解后的信号尺度与原输入信号相同。

可见,基于 UDWT 方法可以有效克服分块图像尺度缩减问题。另外,对 UDWT 的研究还发现,分解层数 s 的选择对变化检测的鲁棒性也有重要的影响。当 $s=0$ 时,分解得到的子分量等于输入影像本身,由于遥感影像中的噪声一般属于高频部分,因此当分解级数 s 较小时,对噪声的抑制效果较弱,但同时可以保留较多的细节信息,相反,当分解级数 s 较大时,可以有效地减少噪声的影响。

3.3 面向对象的 ICA 变化检测新方法

基于上面对变化检测新算法的理论分析,本文提出面向对象的 ICA 变化检测实现方案(见图 1)。

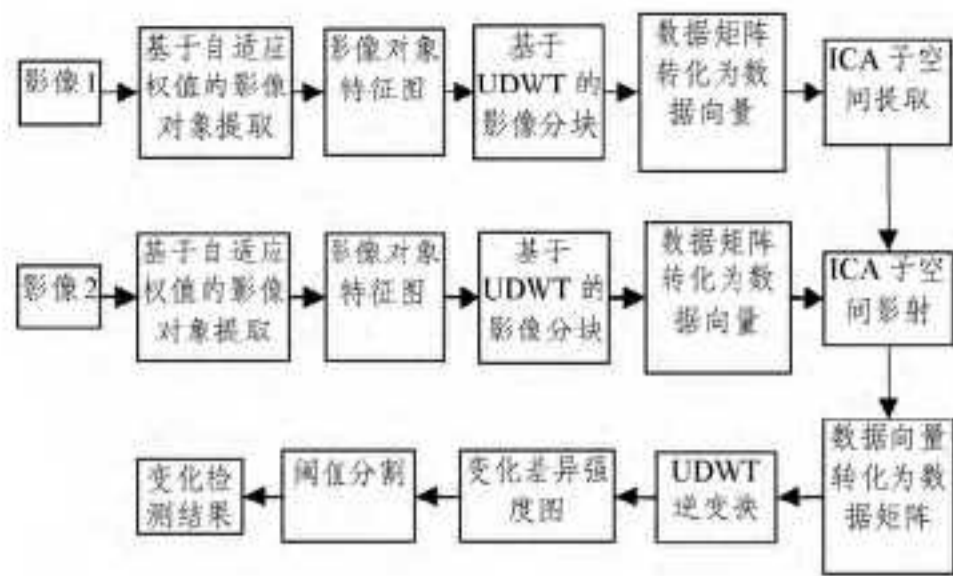


图1 本文所提新算法的实现方案

本文所提算法,首先利用所提的自适应权值 FNEA 方法提取准确的影像对象,这里为了尽可能保留更多的影像对象信息,提高最终变化检测的准确性,可通过选择恰当的分割尺度来控制。在得到准确的影像对象后,提取各影像对象的特征,并用提取到的特征值代替原影像中的灰度值,考虑到对噪声的抑制,对影像对象内部求其像素值的均值,可以平滑掉孤立的噪声点,同时由于已经得到了准确的影像对象,因此求取均值不会造成边缘信息的模糊。紧接着,利用两时相的影像特征图,通过 UDWT 实现数据矩阵的分块,利用 UDWT 的正交性和方向性不仅可以得到更合理的分块矩阵,而且可以实现分块矩阵的尺度不变性,从而保证了 ICA 子空间估计的准确性。同时可以通过合理地控制 UDWT 的分解层数,进一步抑制噪声,最终提高变化检测的鲁棒性和准确性。

4 实验及分析

4.1 实验数据

为充分验证算法的准确性和鲁棒性,分别利用印度河流域和加拿大 Athabasca 镇的 2.4 米分辨率的遥感影像进行了实验验证。其中印度河流域两幅遥感影像分别拍摄于 2009 年 6 月和 2010 年 6 月,大小为 324×216 像素,如图 2(a)、(b) 所示;加拿大 Athabasca 镇的遥感影像大小为 324×216 像素,分别拍摄于 1984 年和 2011 年,如图 2(c)、(d) 所示。

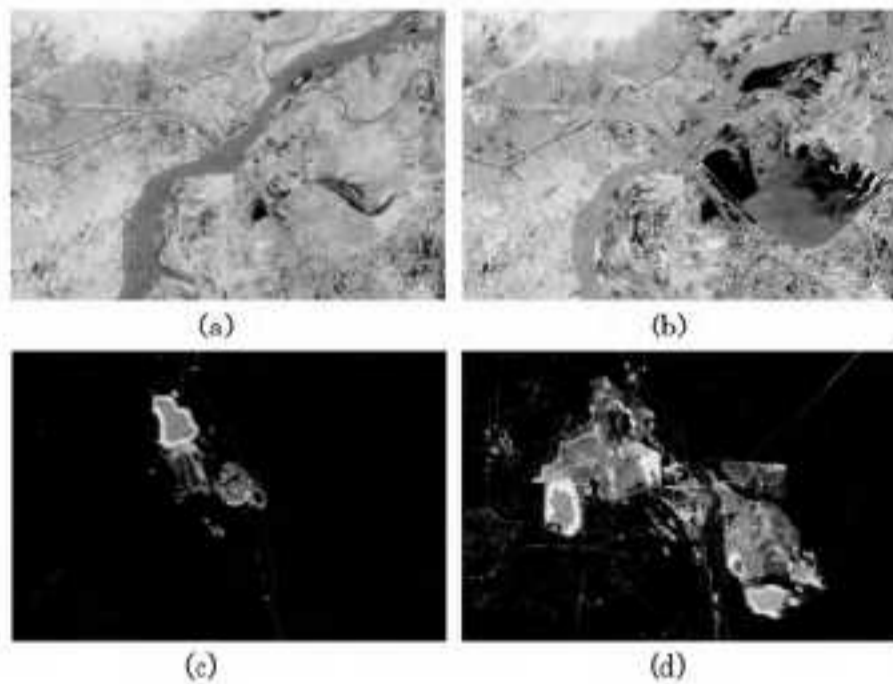


图2 原始遥感影像

按照本文方法,首先对原始影像进行分割,通过实验比较,确定当第一组印度河流域的遥感影像分割阈值(尺度)为 18 时得到的分割结果最接近地表真实分布,当第二组加拿大 Athabasca 镇的遥感影像分割阈值为 5 时,分割结果接近地表真实分布。

4.2 实验结果及分析

按照上述思路对两组原始数据进行实验仿真,并与文献 [3] 中采用二进制小波变换进行分块的典型 ICA 算法以及文献 [9] 中单独采用 UDWT 的算法进行了比较。仿真结果如图 3、图 4 所示。其中 S 为 UDWT 分解层数, p 为文献 [9] 中特

征空间的维数。

对比第一组实验数据,在文献 [3] 方法变化检测的结果中背景噪声较严重,也没能完整地检测出变化的部分,尤其是水面边缘和水面上的弱变化,对于文献 [9] 中的方法,虽然也能较好地抑制背景噪声,但也没能完整地检测出变化的部分,尤其是水面的边缘部分,出现了较大面积的漏检,如图 3(c)~(f) 所示。

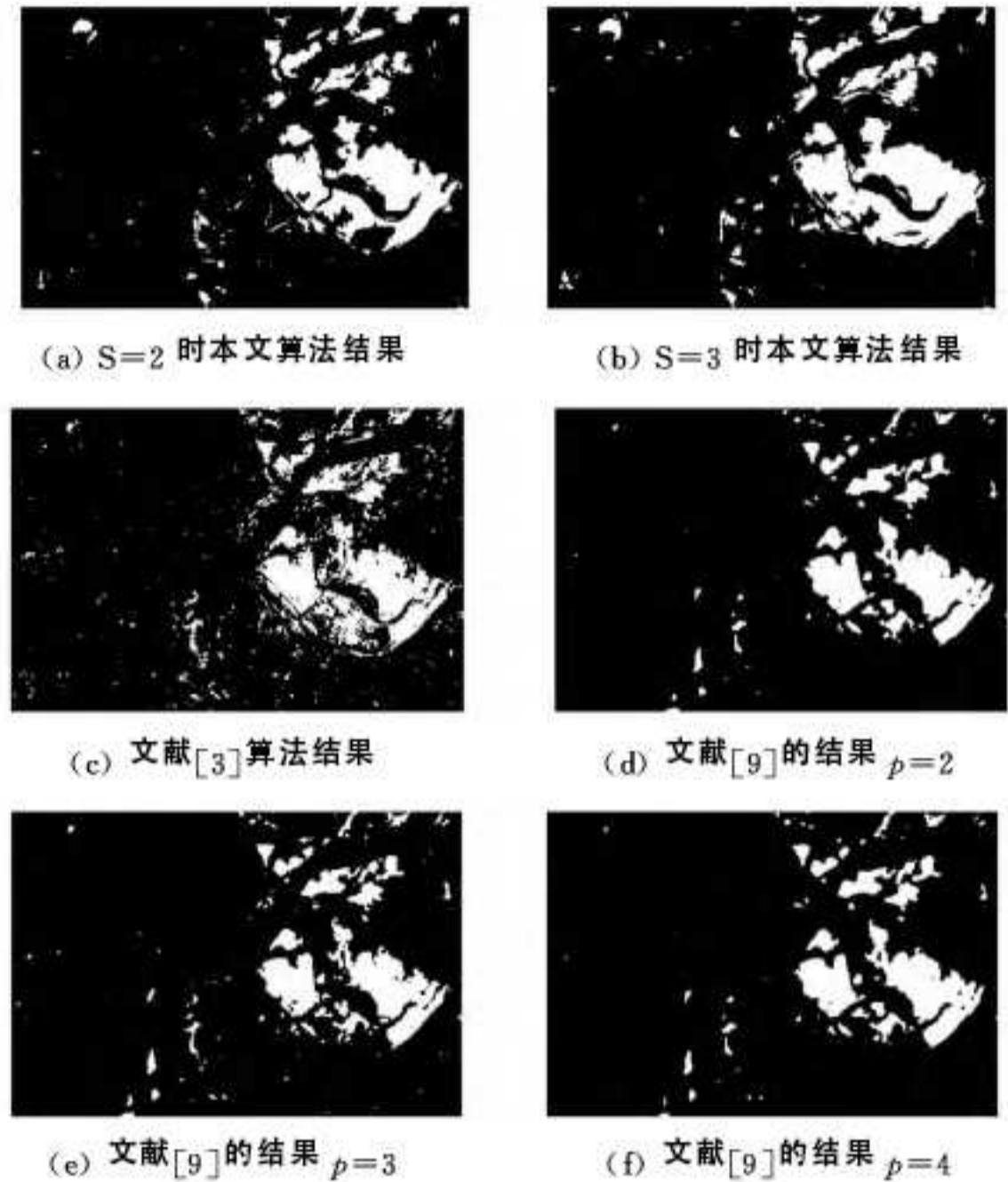


图3 印度河流域遥感影像的变化检测结果

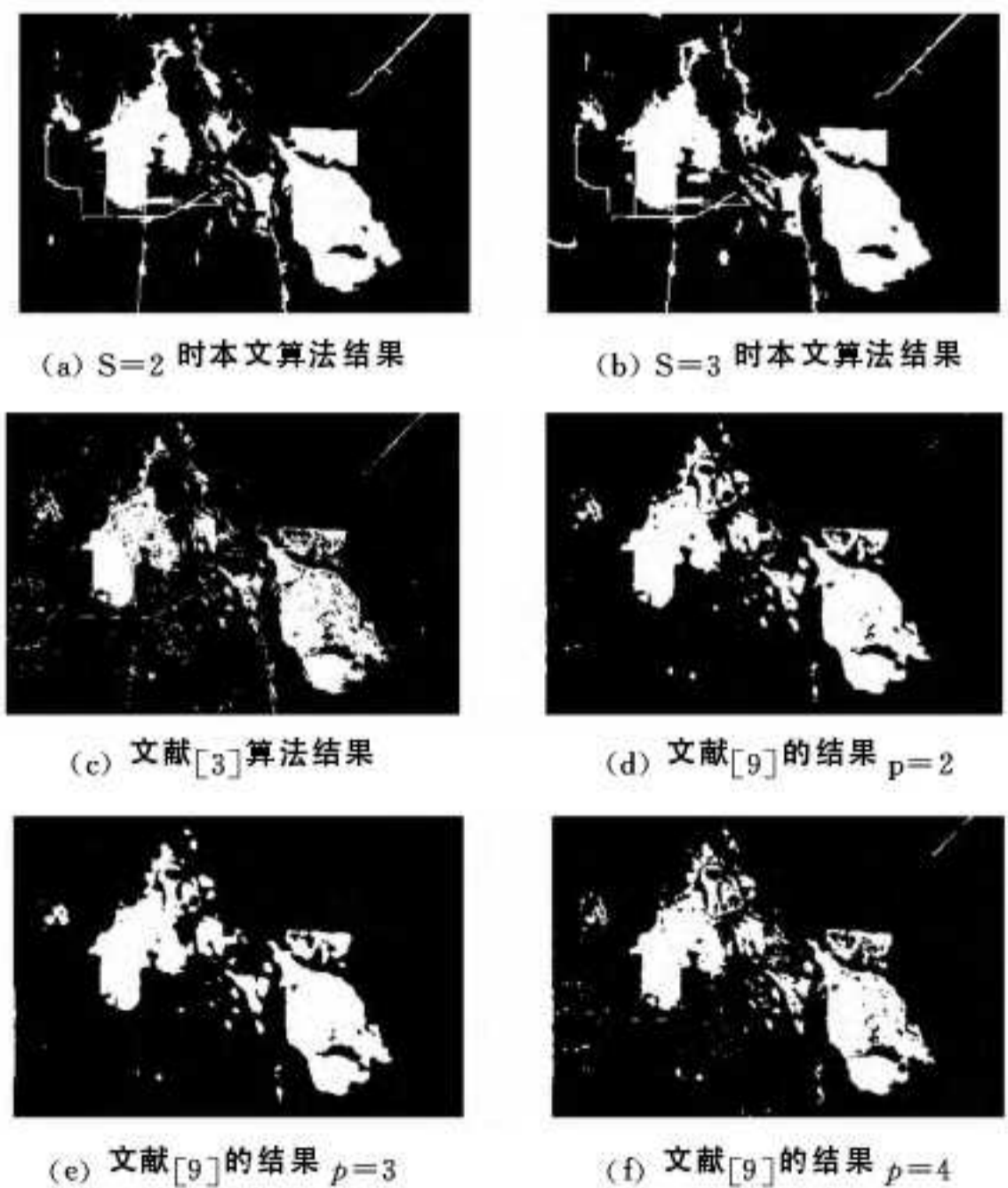


图4 Athabasca 镇遥感影像的变化检测结果

对比第二组实验数据,也有同样的结果,文献 [3,9] 中的方法几乎没能检测出道路的变化,而且,对城市用地的变化检测出现了部分漏检。虽然随着 p 的增加,文献 [9] 漏检得到一定的改善,但效果仍不好。另外,对比本文算法两组实验结果中 $S=2$ 和 $S=3$ 时的变化检测结果可以看出,分解层数的增

(下转第 214 页)

pulse noise[J]. Signal Processing Letters, IEEE, 1996, 3(6): 168-170

[2] Van De Ville D, Nachtegaal M, Van der Weken D, et al. Noise reduction by fuzzy image filtering[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2003, 11(4): 429-436

[3] Yüksel M E, Başürk A. Efficient removal of impulse noise from highly corrupted digital images by a simple neuro-fuzzy operator[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2003, 57(3): 214-219

[4] Beşdok E, Çivicioğlu P, Allç M. Impulsive noise suppression from highly corrupted images by using resilient neural networks [M]// Artificial Intelligence and Soft Computing-ICAISC 2004. Berlin Heidelberg: Springer, 2004: 670-675

[5] Yüksel M E. A hybrid neuro-fuzzy filter for edge preserving restoration of images corrupted by impulse noise[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(4): 928-936

[6] Wu J, Yin Z, Xiong Y. The fast multilevel fuzzy edge detection of blurry images[J]. Signal Processing Letters, IEEE, 2007, 14(5): 344-347

[7] Chaira T, Ray A K. A new measure using intuitionistic fuzzy set theory and its application to edge detection[J]. Applied Soft Computing, 2008, 8(2): 919-927

[8] Yli-Harja O, Astola J, Neuvo Y. Analysis of the properties of median and weighted median filters using threshold logic and stack filter representation[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1991, 39(2): 395-410

(上接第 186 页)

加增强了对背景噪声的抑制,从而进一步提高了变化检测的准确性,如图 3(a)、(b)和图 4(a)、(b)所示。

为对本文算法进行进一步的量化分析,采用 13×13 的平滑窗,以步长 5 个像素在变化检测结果图中进行滑动,计算每个滑动窗下的正确检测率、虚警率、漏警率,最后对所有滑动窗求均值,可得到表 1 所列的结果。结果表明,本文算法在变化检测的准确性方面明显优于文献[3,9],虚警检测明显优于文献[3],比文献[9]稍优。检测参数定义如下:

$$\text{正确检测率} = \frac{\text{正确检测的变化像素数}}{\text{变化像素总数}}$$

$$\text{虚警率} = \frac{\text{虚警检测的变化像素数}}{\text{变化像素总数}}$$

$$\text{漏警率} = \frac{\text{漏检的变化像素数}}{\text{变化像素总数}}$$

表 1 各种算法变化检测结果量化分析

| 算法 | | 本文算法 | | 文献[3] | | 文献[9] | | |
|--------|-------------------|------|------|-------|------|-------|------|-----|
| 分解层数 | | S=2 | S=3 | S=2 | S=2 | | | |
| 特征空间维数 | | | | | | p=2 | p=3 | p=4 |
| 第一组数据 | 正确检测率 | 0.95 | 0.97 | 0.91 | 0.89 | 0.90 | 0.90 | |
| | 虚警率 | 0.03 | 0.02 | 0.11 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | |
| | 漏检率 | 0.05 | 0.03 | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | |
| | 运行时间 _s | 48 | 56 | 46 | 26 | 28 | 31 | |
| 第二组数据 | 正确检测率 | 0.98 | 0.99 | 0.90 | 0.91 | 0.93 | 0.92 | |
| | 虚警率 | 0.02 | 0.01 | 0.13 | 0.04 | 0.02 | 0.07 | |
| | 漏检率 | 0.02 | 0.01 | 0.10 | 0.09 | 0.07 | 0.08 | |
| | 运行时间 _s | 48 | 56 | 46 | 26 | 28 | 31 | |

综上,本文算法对背景和噪声的鲁棒性要优于文献[3]和[9],这和新算法中采用的基于影像对象取代基于像素构造分块数据、用均值特征消除孤立噪声点、选择合适的 UDWT 分解层数等多项抑制噪声的措施是分不开的。同时,从本文算法结果看,消除了文献[3]和[9]中真实变化目标的部分或整体上的漏检,而且对弱边缘的变化取得了很好的效果,这与采用 UDWT 进行分块并控制分块的尺度稳定是分不开的,这些都说明,本文算法变化检测的准确性得到了很好的改善。

结束语 通过对高分辨率影像变化检测方法的深入剖析,本文提出了一种新的 ICA 变化检测算法。通过利用面向对象代替基于像素构造分块数据源,有效地抑制了背景及噪

声对变化检测结果的影响,而且,由于采用 UDWT 进行矩阵分块,有效地保留了原始影像信息,能够得到更准确的子空间估计,从而提高了变化检测结果的准确性。仿真结果验证了本文算法对鲁棒性和准确性的改善。下一步的工作重点是如何利用纹理特征改善影像对象提取的准确性以及如何有效地引入影像对象的多特征,进一步提高变化检测的准确性。

参考文献

[1] Celik T. Unsupervised change detection in satellite images using principal component analysis and k-means clustering[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2009, 6(4): 772-776

[2] 李小春. 多源遥感影像融合技术及应用研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2005

[3] 李小春, 陈鲸. 一种变化检测的新算法[J]. 宇航学报, 2005, 26(3): 334-338

[4] Baatz M, Schape A. Multiresolution segmentation-an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation [C]// Strobl J, Blaschke T, eds. Angewandte Geogr. Information sverarbeitung XII. Heidelberg: Wichmann, 2000: 12-23

[5] 徐国华. 面向对象的遥感图像变化检测技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学测绘学院, 2011

[6] Liu Wen, Yamazaki F. Object-Based Shadow Extraction and Correction of High-Resolution Optical Satellite Images[J]. Journal of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing, 2012, 5(4): 1296-1302

[7] Wang Wen-jie, Zhao Zhong-ming, Zhu Hai-qing. Object-oriented Multi-feature Fusion Change Detection Method for High Resolution Remote Sensing Image[C]// 17th international conference on geoinformatics. 2009: 1-6

[8] Du Pei-jun, Liu Si-cong, Tan Kun, et al. Fusion of Difference Images for Change Detection Over Urban Areas[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations And Remote Sensing, 2012, 5(4): 1076-1086

[9] Celik T, Ma Kai-kuang. Multitemporal Image Change Detection Using Undecimated Discrete Wavelet Transform and Active Contours[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(2): 706-716