

WAN Honglin, JIAO Licheng, WANG Guiting, et al. A Region-of-interest Level Method for Change Detection in SAR Imagery [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2012, 41(2): 239-245. (万红林, 焦李成, 王桂婷, 等. 在感兴趣的区域层面上进行 SAR 图像变化检测的方法研究 [J]. 测绘学报, 2012, 41(2): 239-245.)

在感兴趣的区域层面上进行 SAR 图像变化检测的方法研究

万红林, 焦李成, 王桂婷, 辛芳芳

西安电子科技大学 智能感知与图像理解教育部重点实验室, 陕西 西安 710071

A Region-of-interest Level Method for Change Detection in SAR Imagery

WAN Honglin, JIAO Licheng, WANG Guiting, XIN Fangfang

The Key Laboratory of Intelligent Perception and Image Understanding of Ministry of Education, Xidian University, Xi'an 710071, China

Abstract: A novel approach which works at the region level is proposed based on extracting and handling region of interest (ROI). It contains two key points. One is to obtain a proper label for extracting ROI by combining stationary wavelet transform (SWT), fuzzy C-means (FCM) clustering algorithm with inter-scale fusion strategy. The other is to generate the final change detection map at the region level through the act of searching all connected regions and then looking at each one as a unit to handle. In virtue of both points, this method has both quantitative and qualitative performances superior over other related methods. Results tested on the real SAR datasets have also confirmed this.

Key words: synthetic aperture radar (SAR) image; change detection; region of interest (ROI); at the region level; inter-scale fusion

摘 要: 提出一种基于抽取和处理感兴趣区域, 在区域层面上决策生成变化检测结果的技术。该技术包含两个关键点。一个是借用平稳小波变换 (stationary wavelet transform, SWT), 结合模糊 C-均值 (fuzzy C-means, FCM) 聚类算法和尺度间融合策略获取抽取感兴趣区域的标签。另一个是依据标签搜索感兴趣区域内所有的连通区域, 并把每个连通区域看做为一个数据点, 以使变化检测结果在区域层面上生成。借助于这两点, 本文方法结果的主观效果和客观性能都优于其他相关技术。对真实 SAR 图像数据集的变化检测结果证实本文方法的有效性。

关键词: SAR 图像; 变化检测; 感兴趣区域; 区域层面; 尺度间融合

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1001-1595(2012)02-0239-07

基金项目: 国家自然科学基金 (61072106; 60803097; 60972148; 60971128; 60970066; 61003198; 61001206; 61050110144); 国家教育部博士点基金 (200807010003); 国家部委科技项目 (9140A07011810DZ0107; 9140A07021010DZ0131); 高等学校学科创新引智计划 (B07048); 中央高校基本科研业务费专项资金 (JY10000902001; K50510020001; JY10000902045)

1 引 言

变化检测是分析同一地区不同时刻获取的图像以识别某一目标或某种现象状态差异的过程^[1], 并已成为开展环境监控^[2], 土地利用/覆盖动态研究^[3]等方面的关键技术。然而, 相比于光学图像, 以合成孔径雷达 (synthetic aperture radar, SAR) 图像为研究对象的变化检测技术较少。这主要是因为 SAR 图像数据的内在复杂性, 既要求有效地去除斑点噪声的预处理, 又要求能有效地处理乘性斑点噪声的分析技术。但 SAR 具有不受气候和光照条件影响的特点, 这使得 SAR 图像

具有潜在广泛的应用价值。

一般的, 无监督的 SAR 图像变化检测技术由预处理, 图像比较和阈值分割 3 步构成^[4]。预处理的目的是去除斑点噪声, 以加大差异图中两类的可分性。现有的滤波器, 如 Lee 或 Gamma Map 滤波器均可用于降斑。图像比较是为生成可后续分析的差异图。差异图中两类的对比度越高, 各类的类内一致性越强, 越有利于后续分析。对 SAR 图像而言, 由于其所含斑点噪声的乘性特点, 比算子比差分算子更适合^[5], 如比对数法 (先取对数再作比)、对数比法 (先作比再取对数)、区域均值比法等。差异图生成后, 最简单

易行的想法是阈值处理差异图生成变化检测结果,如手动的人工尝试法^[6]、自动的分析技术^[4,7-9]等。

基于阈值的变化检测技术一般需要降斑预处理,以使变化检测效果更理想^[7],而预处理需人为设定滤波程度。为了避免该操作,文献^[10-12]用多尺度分析工具,如平稳小波变换或对偶树复小波变换等替代滤波器,获取多个具有不同的噪声去除和细节保持平衡度的差异图表示。此外,基于阈值的变化检测技术一般都忽略邻域像素间的关系,而真实图像中邻域像素间具有很大的相关性。为此,文献^[13-14]通过马尔可夫随机场(Markov random field, MRF)模型或基于MRF的融合策略在决策阶段将空间关系引入。结果表明,空间关系的引入有助于提高变化检测性能,但文献^[13]方法涉及分布模型的假设,文献^[14]方法的变化检测性能依赖于阈值技术。而后,文献^[15-18]利用马尔可夫链或结合模糊理论与马尔可夫链在分析过程中考虑空间关系。但变化检测结果仍是在像素层面上决策生成,这易导致变化检测结果中有孤立的像素点,连通区域内有孔洞及锯齿状边缘等缺陷^[19]。

为克服滤波程度的设定及弥补在像素层面上决策生成的变化检测结果的缺陷,笔者提出一种基于抽取并处理感兴趣区域(region of interest, ROI),在区域层面上决策生成变化检测结果的技术。抽取感兴趣区域的策略已成功应用于提高阈值技术分割自然或医学图像的效果^[20]。本文借用该思想并用于SAR图像变化检测,本文方法以使变化检测结果在区域层面上生成,定量性能有所提高的同时,视觉效果也有所改善。本文方法的关键在于无监督地求取合适的、用于抽取感兴趣区域的标签和在区域层面上处理感兴趣区域两方面。首先,本文在平稳小波变换(stationary wavelet transform, SWT)的帮助下,结合模糊C-均值(fuzzy C-means, FCM)聚类算法^[21]和尺度间融合策略获取该标签。而后,为提高变化检测性能并在区域层面上生成变化检测结果,本文依据标签抽取感兴趣区域后,搜索感兴趣区域内所有的连通区域并把每个连通区域看成一个整体,由阈值技术处理生成最终的变化检测结果。对真实SAR图像数据的变化检测结果及比较,表明本文方法变化检测结果在定量性能和视觉效果都有所改善。

2 基于抽取感兴趣区域的变化检测

对已配准、已校正的同一地区获取的两时相SAR图像 I_1 和 I_2 ,构造出比对数法差异图 D_{rl} 和区域均值比法差异图 D_{wr} 后,本文在基于抽取并处理感兴趣区域的策略上完成变化检测。该方法由两步构成:①用SWT对 D_{rl} 分解后,由FCM聚类算法对各层的逼近系数先分析后融合得到结果 L ,为消除因变换而产生的平移,用 L' 替代 L ,其中 L' 为FCM聚类算法处理依据结果 L 在 D_{wr} 内抽取的ROI得到的结果;②依据标签 L' ,在 D_{wr} 内抽取感兴趣区域 ROI' 并由阈值技术(TH)在区域层面上处理生成最终的变化检测结果(change detection map, CDM)。具体的算法流程如图1所示。

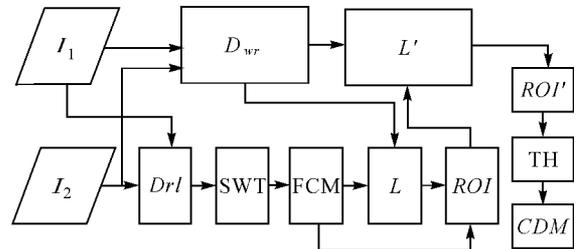


图1 本文方法框架图

Fig. 1 The general scheme of the proposed method

2.1 获取抽取感兴趣区域标签 L'

为得到抽取感兴趣区域所需的标签 L' ,先利用SWT对 D_{rl} 进行多尺度分解并用FCM聚类算法对分解后每层的逼近系数分类,而后进行尺度间的融合。SWT分解 D_{rl} 时,每层都产生1个低频子带和3个高频子带,且各层的低频和高频子带,大小与原图一致。鉴于分解后,斑点噪声一般处在高频系数内,实际工作中只利用低频子带系数。然而这样,细节信息的丢失会随着分解层数的增加而增多,因而本文采用尺度间“并”的融合策略,以使低分解层数下逼近系数内的细节信息能被利用。若用 $l_{D_{rl}}^i$ 表示FCM聚类算法对第 i 层(条)低频子带的分类结果,则标签 L 可表示为

$$L = \bigcup_{i=1}^S l_{D_{rl}}^i \quad i=1, \dots, S \quad (1)$$

式中, S 表示分解层数。

平稳小波变换本具有平移不变性,但标签 L 是分析变换域内的低频子带系数得到的。因而,相对于真实的变化区域, L 指示的变化区域存有偏移。为消除此偏移,用FCM聚类算法对依据标签 L 抽取的感兴趣区域分类所得的结果 L' 替

代 L 。为确保抽取的感兴趣区域包含几乎所有的真实变化的像素,先对 L 进行以 3×3 的全 1 矩阵为结构元素的膨胀后,再依据该标签在区域均值比值法差异图 D_{wr} 中抽取对应位置上的标签值为 1 的像素构成感兴趣区域,即

$$ROI = \{D_{wr}(x), x: L(x) = 1\} \quad (2)$$

FCM 聚类算法分类 ROI 所得结果即为 L' 。该结果相比于 L ,偏移被消除了,同时散落的杂点也有所减少。这是因为 ROI ,相对于差异图,部分属于非变化类的像素对结果的影响被排除。正如文献[19]所说,任何类型的先验信息加入图像处理的应用过程都有利于提高性能。然而,结果仍在像素层面上产生,其内存在如噪声般散落的杂点。

2.2 在区域层面上处理感兴趣区域生成变化检测结果

为清除杂点,依据 L' 抽取感兴趣区域并搜索其内所有的连通区域后,再以连通区域为处理单元,使阈值技术在区域层面上生成变化检测结果。其中处理单元的特征设置为对应区域内所有像素灰度的平均值。但这样处理时存在一个问题,即 L' 中每个杂点都会被看做是一个连通区域,且具有较高的灰度特征,而这易导致杂点仍被判断为属于变化类。为此,引入一个参数:最小面积阈值(minimum area, minA)。对面积小于 minA 的区域,从非感兴趣区域内拉入与该区域相邻的像素以扩大其面积到最小面积阈值。由于被扩充的像素不在感兴趣区域内,通常具有不大于感兴趣区域内像素的灰度值,因而对应于小面积区域的数据点的灰度值会有所下降。这意味着数据点间的对比度被增强,因而更有利于清除小面积区域而提高变化检测性能。

依据标签 L' 抽取感兴趣区域

$$ROI' = \{D_{wr}(x), x: L'(x) = 1\} \quad (3)$$

最终的变化检测结果由阈值技术在区域层面上处理 ROI' 得到。具体步骤如下:

(1) 根据标签 L' 搜寻 ROI' 内所有的连通区域,而后把每个连通区域看做为一个数据点并计算特征。若假设感兴趣区域 ROI' 内存在 M 片连通区域,并用 $\{c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_M\}$ 表示感兴趣区域 ROI' 内所含的连通区域,则对应的数据点的特征值 F_i 为

$$F_i = \begin{cases} \sum_{x \in c_i} D_{wr}(x) / \min A & \text{if } |c_i| < \min A \\ \sum_{x \in c_i} D_{wr}(x) / |c_i| & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

式中, c'_i 表示与 c_i 对应的被扩展的连通区域; $\min A$ 为预先设置的参数值。

(2) 将 M 个数据点分成两类。此处,采用从聚类分析的角度提出阈值标准的阈值技术^[22]。该技术的核心思想为:每迭代一次,合并直方图上相邻且相似度最大的两类,直到只剩下想得到的类别数为止。初始时,若 M 个数据点的特征值均不等,则初始有 M 个类别模式;若有 2 个数据点的特征值相同,则有 $M-1$ 个类别模式,依此类推。假设初始有 K 个类别模式,为将表征 M 片连通区域的数据点归类成 2 类(变化类和非变化类),需重复下列两步 $K-2$ 次:

① 按式(5)

$$Diss(C_s, C_t) = \sigma_l^2(C_s \cup C_t) \cdot \sigma_A^2(C_s \cup C_t) \quad (5)$$

计算在特征值上相邻的两个类别 C_s 和 C_t 间的相似性。该值越大,表示相似性越小。式中, σ_l 表示类间差异,越大越好; σ_A 表示类内方差,越小越好。

$$\sigma_l^2(C_s, C_t) = \frac{P(C_s)P(C_t)}{(P(C_s) + P(C_t))^2} \cdot [m(C_s) - m(C_t)]^2 \quad (6)$$

$$\sigma_A^2(C_s, C_t) = \frac{1}{P(C_s) + P(C_t)} \times \sum_{z \in Z_s \cup Z_t} ((z - M(C_s \cup C_t))^2 p(z)) \quad (7)$$

Z_k 是由类别 C_k 中数据点的特征值构成的真子集;

$P(C_k) = \sum_{z \in Z_k} h(z)$ 为类 C_k 的概率; $m(C_k) = \frac{1}{P(C_k)} \sum_{z \in Z_k} zh(z)$ 为类 C_k 的均值, $k = s, t$;

$M(C_s \cup C_t) = \frac{P(C_s)m(C_s) + P(C_t)m(C_t)}{P(C_s) + P(C_t)}$ 类 C_s 和 C_t 合并后的均值。其中,直方图 h 按如下方式计算得到:若假设特征值 μ 的数据点有 j 个,则其概率 $h(\mu) = \sum_j |c_j| / \sum_{i=1, \dots, N} |c_i|$, $|\cdot|$ 表示一个集合的势。

② 搜索使距离最小的两类,并将其合并,而后再重新分配相应的类别索引。

(3) 生成最终的变化检测结果 CDM 。迭代结束后,灰度值较低类中的最大灰度值为最优阈值 t^* ,则变化检测结果为

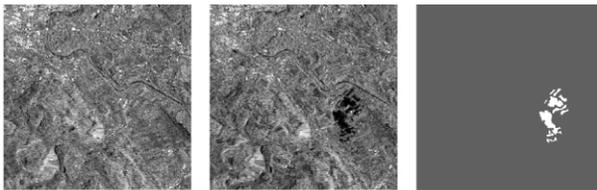
$$CDM(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \in c_i, i: F_i < t^* \\ 1 & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

即特征值大于该阈值 t^* 的数据点对应的连通区域组成的区域即为本文方法检测出的变化区域。

3 参数分析及试验结果对比

3.1 试验数据描述

第1组真实的试验数据是关于 Bern 城市水灾的 SAR 图像,由欧空局 ERS-2 获得,大小为 301×301 。图 2(a)和图 2(b)分别为水灾前 1999 年 4 月的图像和水灾后 1999 年 5 月的图像,图 2(c)为其变化参考图,其中白色区域表示由 1999 年 5 月水灾引起的变化区域,面积为 1155 个像素单元。

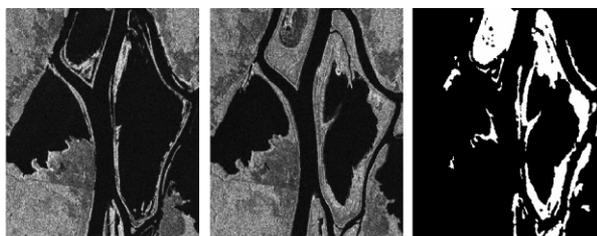


(a) 1999年4月获取的水灾前 t_1 时刻图像 (b) 1999年5月获取的水灾后 t_2 时刻图像 (c) 变化参考图

图 2 Bern 试验数据

Fig. 2 Bern dataset

第2组真实的试验数据是有关 Ottawa 地区水灾的由加空局获取的 RADARSAT-1 SAR 图像(如图 3 所示),大小为 290×350 。图 3(a)为雨季中,1997 年 5 月图像,图 3(b)为雨季过后,1997 年 8 月图像,图 3(c)为变化参考图,其中白色区域表示洪水泛滥前后引起的变化,面积为 16 049 个像素单元。



(a) 1997年5月获取得雨季中的 t_1 时刻图像 (b) 1997年8月获取的雨季过后的 t_2 时刻图像 (c) 变化参考图

图 3 Ottawa 试验数据

Fig. 3 Ottawa dataset

3.2 试验设计

因本文方法涉及参数最小面积阈值 $\min A$ 和分解层数 S ,特组织两组试验分别说明本文技术对两参数的敏感度。为证明本文方法变化检测效果的有效性,将给出均为上下文敏感方法 EM+MRF^[13],Ths+MRF^[14]和 FFL-ARS^[10]的变化检

测结果图,并作比较。本文方法的参数设置为 $S=2, \min A=40$ 。

为了更直观地分析各变化检测结果的效果,给出四个定量评价检测结果的分析指标:漏检数(missed alarms, MA,即变化的像素被判为未变化的像素个数)、虚警(false alarms, FA,即未变化的像素被判为变化的像素个数,也叫错误检测数),总错误检测数(overall errors, OE,即漏检数+虚警)和总错误检测率(总错误检测数与所处理的图像像素个数之比)和 $Kappa$ 系数

$$\left. \begin{aligned} Kappa &= \frac{pr_o - pr_c}{1 - pr_c} \\ pr_o &= \frac{N - Fc - MA}{N} \\ pr_c &= \frac{Tc + Fc}{N} \times \frac{Tc + FA}{N} + \frac{MA + FA}{N} \times \frac{MA + Fc}{N} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中, N 为差异图中像素的个数; Fc 为变化类像素被正确检测的个数; Tc 为非变化类像素被正确检测的个数。若一个变化检测结果的漏检数越少,而总错误检测数也越少, $Kappa$ 系数越大,表明该技术的变化检测性能越好。

3.3 参数分析

第1组试验是为说明本文技术对参数 $\min A$ 的鲁棒性。此处固定参数 $S=2$,分析参数 $\min A$ 对变化检测结果的影响。图 4 给出两组试验数据变化检测结果的定量分析指标受参数 $\min A$ 影响的曲线。

图 4(a)为 Bern 试验数据的变化检测结果的定量分析指标随参数 $\min A$ 的变化曲线。很明显,当 $\min A > 12$ 后,变化检测结果的定量分析指标基本保持不变。图 4(b)为 Ottawa 试验数据变化检测结果的定量分析指标随参数 $\min A$ 的变化曲线,当 $\min A > 40$ 后,变化检测效果基本不变。这说明当 $\min A$ 大于某一阈值后,本文技术受其影响很小。鉴于该参数是为去除小面积的杂点而引入的,一般将 $\min A$ 设置为小于 100 的数值即可。

第2组试验是为说明本文技术受参数分解层数 S 的影响。此处以 Bern 试验数据为例,固定 $\min A=40$,给出 S 取不同值时,两组试验数据的变化检测结果图及定量分析。表 1 给出了分解层数分别从 1 到 6 下 Bern 试验数据变化检测结果的定量分析指标。

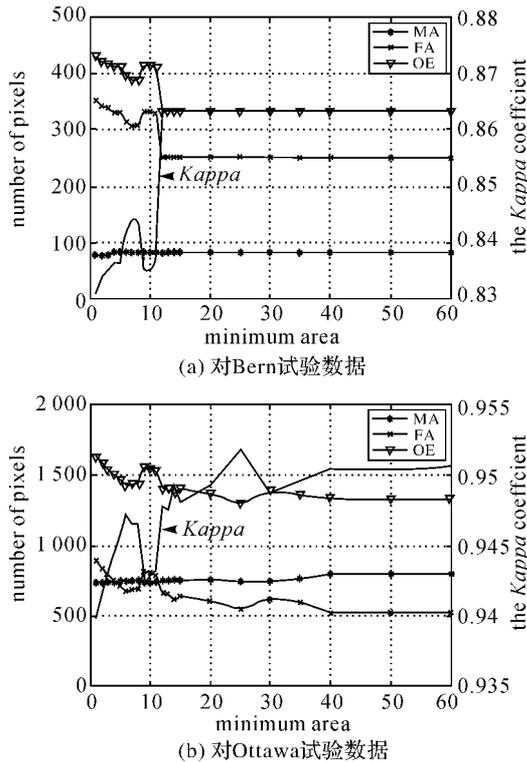


图 4 参数 minA 对两组试验数据变化检测结果的影响
Fig. 4 Behaviors of quantitative analysis terms of two datasets changing with the parameter minA

表 1 不同的分解层数下 Bern 试验数据变化检测结果的定量结果

Tab. 1 Quantitative results of Bern dataset obtained with different S

| | Bern 试验数据 | | | |
|-----|-----------|-----|-----|---------|
| | MA | FA | OE | Kappa |
| S=1 | 83 | 236 | 319 | 0.868 2 |
| S=2 | 82 | 251 | 333 | 0.863 3 |
| S=3 | 78 | 260 | 338 | 0.861 9 |
| S=4 | 140 | 241 | 381 | 0.839 2 |
| S=5 | 135 | 256 | 391 | 0.836 3 |
| S=6 | 128 | 292 | 420 | 0.827 2 |

分析表 1 给出的定量分析数据可知:随着 S 的增大,变化检测结果的总错误检测数呈增加趋势, Kappa 系数呈下降趋势。当 S 较小时,由平稳小波变换引起的偏移较小,融合所得标签指示抽取的感兴趣区域 ROI 内含有较少的非变化类像素。经 FCM 聚类算法处理后,所得的感兴趣区域 ROI 内亦含有较少的非变化类像素。这时,阈值技术能给出一个较好的变化检测结果。当 S 较大时,由平稳小波变换引起的偏移加大,融合后感兴趣区域 ROI 内存在较多的非变化类像素。

这导致 FCM 聚类算法处理该感兴趣区域不能给出一个较理想的用于抽取感兴趣区域 ROI 的标签,故最终的变化检测效果不甚理想。对本文测试的试验数据, $S \leq 3$ 都能给出较满意的结果。

3.4 结果对比及分析

对 Bern 试验数据,图 5 给出了不同变化检测技术的变化检测结果。图 5(a)为上下文敏感技术 EM+MRF 分析 D_n 的变化检测图;FFL-ARS 法的变化检测结果图如图 5(b);图 5(c)为 Ths+MRF 法的变化检测结果图;图 5(d)显示了本文方法的变化检测结果。表 2 给出各变化检测结果的定量分析指标。

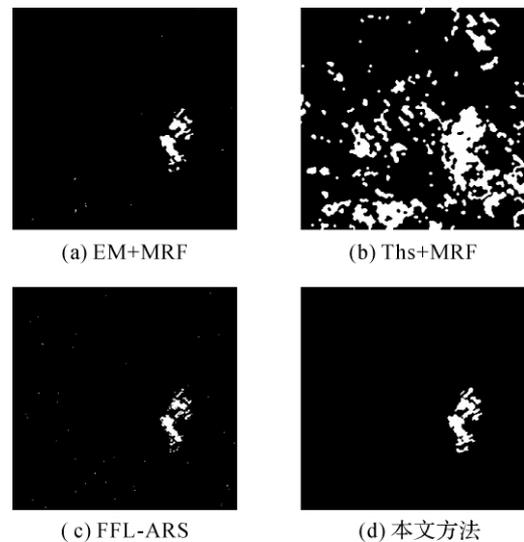


图 5 各技术对 Bern 试验数据的变化检测结果
Fig. 5 Results of Bern dataset obtained by different techniques

表 2 图 5 中各变化检测结果的定量分析指标
Tab. 2 Quantitative analysis terms of results shown in Fig. 5

| | MA | FA | OE | Kappa |
|---------|-----|--------|--------|---------|
| EM+MRF | 242 | 105 | 347 | 0.837 6 |
| Ths+MRF | 2 | 13 619 | 13 621 | 0.123 6 |
| FFL-ARS | 399 | 87 | 486 | 0.752 9 |
| 本文方法 | 82 | 251 | 333 | 0.863 3 |

分析表 2 的数据可看出:本文方法的变化检测效果最好。与 EM+MRF 法比较,本文方法的 Kappa 系数高 0.025 6,这是因为本文方法避免了 EM+MRF 法中假设分布模型与真实情况不太符合的情况,且通过利用无固定形状和大小的邻域信息,弥补了 MRF 模型只能利用固定形状和大小的邻域内信息而带来的不足。与 Ths+

MRF 法相比,效果有了较大的改善,这是因为本文方法克服了性能依赖于阈值技术变化检测结果的限制。相比于 FFL-ARS 法,本文方法的 $Kappa$ 系数增加了 0.110 4,这说明本文方法采取的“并”融合策略的有效性。正是因为此,本文方法的细节信息相比于 FFL-ARS 方法保持得要更好,体现在漏检数比 FFL-ARS 方法的少 317 个像素单元。

上述从定量的角度说明了本文方法的有效性。事实上,本文方法的视觉效果也有较好的改善。比较图 5(d)与图 5(a)~图 5(c)中的任意一个,不难发现图 5(a)~图 5(c)显示的变化检测结果存在较多散落的杂点、连通区域内也有孔洞或边缘不光滑等现象。这是因为其他 3 种方法虽然都考虑了邻域信息,但仍在像素层面上决策生成变化检测结果,而本文方法借助于抽取感兴趣区域操作实现了区域层面上的决策。

分析 Ottawa 试验数据的变化检测结果,同样地能说明本文方法的有效性。图 6 展示了不同的差异图分析技术对 Ottawa 试验数据的变化检测结果。图 6(a)为 EM+MRF 方法处理 D_{var} 的变化检测结果图;图 6(b)~图 6(c)分别为 FFL-ARS 法和 Ths+MRF 法的变化检测结果图。本文的变化检测结果在图 6(d)中显示。表 3 给出了图 6 所列各变化检测结果的定量分析指标。

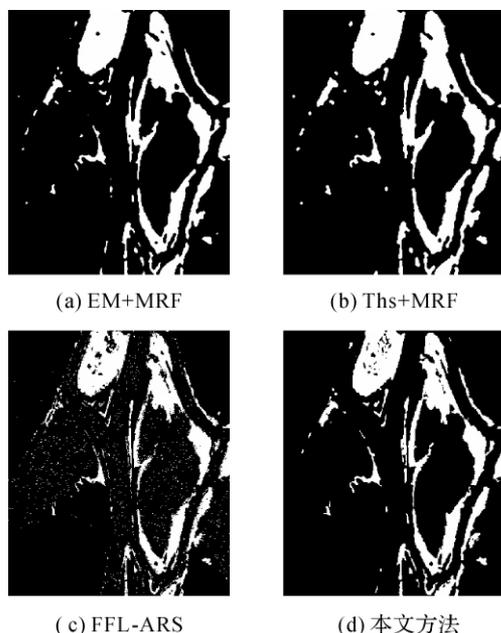


图 6 各技术对 Ottawa 试验数据的变化检测结果
Fig. 6 Results of Ottawa dataset obtained by different techniques

表 3 图 6 中各变化检测结果的定量分析指标

Tab. 3 Quantitative analysis terms of results shown in Fig. 6

| | MA | FA | OE | $Kappa$ |
|---------|------|------|------|---------|
| EM+MRF | 513 | 1293 | 1781 | 0.934 5 |
| Ths+MRF | 308 | 2418 | 2726 | 0.904 2 |
| FFL-ARS | 2260 | 941 | 3201 | 0.877 5 |
| 本文方法 | 775 | 630 | 1385 | 0.947 8 |

分析表 3 的数据可得出与 Bern 试验数据一样的结论,即对 Ottawa 试验数据,本文方法的变化检测效果仍是最好的。一方面,本文方法的 $Kappa$ 系数为 0.947 8,比 EM+MRF 法的高 0.013 3,比 Ths+MRF 法的高 0.043 6,比 FFL-ARS 法的高 0.070 3。这表明本文方法在提高定量性能方面的有效性。另一方面,比较各变化检测效果图的视觉效果,同样发现如图 6(a)~图 6(c)所示的、在像素层面上决策产生的变化检测结果,其内有噪声般的杂点或连通区域内出现孔洞或边缘呈锯齿状等现象出现,而本文方法的变化检测结果不存在类似的现象。这说明本文方法能给出具有较好的视觉效果的变化检测结果。总而言之,对两组真实 SAR 图像试验数据的变化检测结果表明,本文方法相比于其他相关的变化检测技术具有较好的定量性能和视觉效果。

3.5 时间复杂度比较

本文所有的试验在主机为 32 字节的 Windows XP 系统,2GHz, Inter (R), Core (TM) 2 CPU, 2 GB 的内存上安装的 Matlab 平台上实现。表 4 给出了 4 种方法分别获取 Bern 和 Ottawa 试验数据变化检测结果所需的时间。

表 4 各方法运行时间的比较

Tab. 4 Runtime comparisons among different methods

| | | EM+MRF | Ths+MRF | FFL-ARS | 本文方法 |
|---------|--------|--------|---------|---------|------|
| Runtime | Bern | 15.2 | 3 470.2 | 253.96 | 15.0 |
| | Ottawa | 17.1 | 4 740.1 | 267.2 | 15.9 |

从表 4 的数据显示,本文提出的方法,相比于其他的方法所需的运行时间最少。对 Bern 试验数据,本文方法需 15.0 s,与 EM+MRF 法的相当,但比 Ths+MRF 法和 FFL-ARS 法的少很多。对 Ottawa 试验数据,本文方法需 15.9 s,同样与 EM+MRF 法的相当,但比 Ths+MRF 法和 FFL-ARS 法的少很多。这表明本文方法具有一定的实用性。

4 结 论

本文给出了一种基于抽取并处理感兴趣区域的 SAR 图像变化检测方法。该方法考虑了来自无固定形状和大小的邻域内信息,并在区域层面上决策产生变化检测结果。试验表明本文方法相比于相关技术,变化检测结果在定量性能和视觉效果方面都有所提高。其中用抽取和处理感兴趣区域替代 MRF 模型的操作使本文方法能提高变化检测性能的同时,弥补了 MRF 模型的内在缺陷和在像素层面上生成的变化检测结果所含的缺陷。但在采用感兴趣区域策略时,必须确保所抽取的感兴趣区域包含绝大部分的变化类像素和较小的非变化类像素。否则,最终变化检测结果中的漏检数会增多,效果反而会有所降低。

本文方法较适合用于检测突变型变化,如水灾、火灾等引起的,只需两时相图像即可检测的变化。若将该方法用于渐变型变化检测,如绿地覆盖率、森林退化等,效果会不太理想。

参考文献:

- [1] LU D, MAUSEL P, BRONADIZIO E, et al. Change Detection Techniques[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(12): 2365-2407.
- [2] RIDD M, LIU J. A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in an Urban Environment[J]. Remote Sens Environ, 1998, 63: 95-100.
- [3] MAS J F. Monitoring Land-cover Changes: a Comparison of Change Detection Techniques[J]. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20(1): 139-152.
- [4] BAZI Y, BRUZZONE L, MELGANI F. An Unsupervised Approach Based on the Generalized Gaussian Model to Automatic Change Detection in Multitemporal SAR Images[J]. IEEE Transaction Geosciences and Remote Sensing, 2005, 43(4): 874-887.
- [5] RIGNOT E J M, VAN ZYL J J. Change Detection Techniques from ERS-1 SAR Data[J]. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, 1993, 31(4): 896-906.
- [6] DEKKER R J. Speckle Filtering in Satellite SAR Change Detection Imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(6): 1133-1146.
- [7] MOSER G, SERPICO S B. Generalized Minimum-error Thresholding for Unsupervised Change Detection from SAR Amplitude Imagery[J]. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, 2006, 44(10): 2972-2983.
- [8] COULON M, TOURNERET A Y. Bayesian Change Detection for Multi-temporal SAR Images[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Orlando:IEEE, 2002:1285-1288, 2002.
- [9] BAZI Y, BRUZZONE L, MELGANI F. Change Detection in Multitemporal SAR Images Based on Generalized Gaussian Distribution and EM Algorithm[C]//Proceedings of the SPIE Conference on Image and Signal Processing for Remote Sensing X. Gran Canaria: SPIE, 2004: 364-375.
- [10] BOVOLO F, BRUZZONE L. A Detail-preserving Scale-driven Approach to Change Detection in Multitemporal SAR Images[J]. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, 2005, 43(12): 2963-2972.
- [11] HUANG Shiqi, LIU Daizhi, HU Mingxing, et al. Multi-temporal SAR Images Change Detection Technique Based on Wavelet Transform [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2010, 39(2):180-186. (黄世奇,刘代志,胡明星,等.基于小波变换的多时相 SAR 图像变化检测技术[J].测绘学报,2010,39(2): 180-186.)
- [12] CELIK T. Multiscale Change Detection in Multitemporal Satellite Images[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2009, 6(4): 820-824.
- [13] CELIK T, MA K K. Unsupervised Change Detection for Satellite Images Using Dual-tree Complex Wavelet Transform [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2010, 48(3):1199-1210.
- [14] BAZI Y, MELGANI F, BRUZZONE L, et al. A Genetic Expectation-maximization Method for Unsupervised Change Detection in Multitemporal SAR Imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(24): 6591-6610.
- [15] BRUZZONE L, PRIETO D F. Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection[J]. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, 2000, 38(3): 1171-1182.
- [16] MELGANI F, BAZI Y. Markovian Fusion Approach to Robust Unsupervised Change Detection in Remotely Sensed Imagery[J]. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, 2006, 3(4): 457-461.
- [17] BOUYAHIA Z, BENYOUSSEF L, DERRODE S. Change Detection in Synthetic Aperture Radar Images with a Sliding Hidden Markov Chain Model [J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2008, 2(1): 1-13.
- [18] CARINCOTTE C, DERRODE S, BOURENNANE S. Unsupervised Change Detection on SAR Images Using Fuzzy Hidden Markov Chains[J]. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, 2006, 44(2): 432-441.
- [19] RADKE R J. Image Change Detection Algorithms: A Systematic Survey[J]. IEEE Trans on Image Process, 2005, 14(3): 294-307.
- [20] HU Q, HOU Z J, NOWINSKI L. Supervised Range-constrained Thresholding [J]. IEEE Trans on Image Process, 2006, 15(1): 228-240.
- [21] BEZDEK J C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms[M]. New York:Plenum Pub Corp,1981.
- [22] ARIFIN A Z, ASANO A. Image Segmentation by Histogram Thresholding Using Hierarchical Cluster Analysis [J]. Pattern Recogn Lett, 2006, 27(13): 1515-1521.

(责任编辑:丛树平)

收稿日期: 2010-08-27

修回日期: 2011-05-30

第一作者简介: 万红林(1983—),女,博士生,研究方向为 SAR 图像分割、目标检测和变化检测等。

First author: WAN Honglin (1983—), female, PhD candidate, majors in SAR image segmentation, object detection and change detection.

E-mail: hlwan@mail.xidian.edu.cn