

基于分布差异的多时相 SAR 图像变化检测

季 艳^{1,2}, 胡 蕾¹

(1. 北京航空航天大学计算机学院数字媒体实验室, 北京 100191;

2. 北京遥感信息研究所, 北京 100011)

摘要:结合 SAR 的后向散射特性和成像特点, 利用交叉熵给出一种基于 Edgeworth 多项式的分布差异法检测不同时相的 SAR 图像变化区域。该方法采用 Edgeworth 多项式拟合 SAR 图像的密度分布, 利用交叉熵计算两幅图像的差异指数, 获得的差异图像能较好地反映图像变化情况, 抑制了 SAR 图像固有的斑点噪声影响, 采用 CFAR 分割差异图像得到的变化检测结果表明该方法具有高检测率、低虚警率的特点。

关 键 词:合成孔径雷达(SAR); 分布差异法; 变化检测

中图分类号:TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2010)02-0277-05

1 引 言

合成孔径雷达(SAR)具有全天时、全天候和一定的植被穿透能力等优点, 能够对观测区域进行不间断的成像探测, 已成为一种不可缺少的空间遥感探测技术手段。SAR 图像的变化检测在地表监测等方面有着广泛的应用。不同于光学成像机理, SAR 有其自身的特殊性, 它更多地是反映地面多个散射单元综合叠加的后向散射系数, 其固有的斑点噪声、获取数据的侧视角度等因素严重影响 SAR 图像的变化检测结果。典型的光学遥感图像的变化检测方法, 如差值法、比值法、相关系数法、熵比较法和直方图比较法等, 不能完全适用于 SAR 图像的变化^[1]。Jordi Inglada^[2]和尤红建^[3]等提出了基于分布模型差异的 SAR 变化检测方法, Jordi Inglada 从多尺度的角度分析了高斯、皮尔森和 Edgeworth 分布在拟合 SAR 分布和 SAR 变化检测方面的性能, 发现 Edgeworth 的性能要优于高斯和皮尔森分布; 尤红建分析了瑞利分布在 SAR 变化检测方面的性能, 实验结果表明基于分布模型差异的方法在 SAR 变化检测方面有较好的性能, 主要原因是这些分布模型能在一定程度上反映 SAR 的分布规律。

本文采用分布差异方法实现 SAR 图像的变化

检测, 首先采用 Edgeworth 拟合方法对每幅 SAR 图像的密度分布函数进行统计拟合, 然后利用交叉熵计算两幅图像的差异指数, 从而得到差异图像, 并采用恒虚警率法(CFAR)分割差异图像得到变化检测区域。该方法较好地抑制了 SAR 图像固有的斑点噪声影响, 取得了较好的检测效果。

2 Edgeworth 近似与交叉熵

2.1 基于 Edgeworth 的 SAR 图像拟合

SAR 图像的杂波统计分布模型对于 SAR 图像的分析具有重要意义。先后出现了瑞利分布、高斯分布、韦布分布和 K 分布等一些分布模型^[3], 但均存在一定的适用局限性, 不同区域的分布存在一定的未知性。Edgeworth 展开是一种主要的概率密度函数多项式展开, 在概率密度函数未知的情况下, 把它展开成级数, 代入熵或负熵的定义式中, 可以直接由原始数据估计参数。Edgeworth 已经在图像分析和 SAR 图像拟合方面取得了良好的应用^[4,5], 本文采用 Edgeworth 展开来拟合 SAR 图像的密度分布。

假设两幅不同时相的 SAR 数据, 分别用变量 X 和 \tilde{X} 表示, 它们的均值和方差分别为: μ, σ^2 和 $\tilde{\mu}, \tilde{\sigma}^2$

σ^2 , 则变量 $y = (x - \mu)/\sigma$ 和 $\bar{y} = (\bar{x} - \bar{\mu})/\bar{\sigma}$ 将分别趋近于标准正态分布, 可用 Edgeworth 展开进行逼近表示为^[4]:

$$f(y) = G(y)(1 + v(y) + o(n^{-1})) \quad (1)$$

$$f(\bar{y}) = G(\bar{y})(1 + u(\bar{y}) + o(n^{-1})) \quad (2)$$

其中: $G(y)$ 和 $G(\bar{y})$ 是均值为 0、方差为 1 的高斯分布。

$$v(y) = \frac{1}{6}\rho_3 H_3(y) + \frac{1}{24}\rho_4 H_4(y) + \frac{1}{72}\rho_5^2 H_6(y) \quad (3)$$

$$u(\bar{y}) = \frac{1}{6}\bar{\rho}_3 H_3(\bar{y}) + \frac{1}{24}\bar{\rho}_4 H_4(\bar{y}) + \frac{1}{72}\bar{\rho}_5^2 H_6(\bar{y}) \quad (4)$$

其中: $H_k(y)$ 和 $H_k(\bar{y})$ 是自由度为 k 的 Hermite 多项式, ρ_r 和 $\bar{\rho}_r$ 是 r 阶标准累积量, r 阶标准累积量与 r 阶累积量 K_r 之间的关系是: $\rho_r = K_r/K_2^{r/2}$ 。

采用 Edgeworth 展开拟合 SAR 图像, 不仅可以得到 SAR 图像统计分布模型, 而且削弱了斑点噪声的影响。

2.2 基于交叉熵的差异计算

判定两个分布函数相似度的方法有交叉熵、Pearson- χ^2 距离和全变差距离等。信息论指出交叉熵(Kullback-Leibler Divergence)^[6] 又称为 KL 距离, 较好地描述了两个密度分布函数之间的差异, 是一种常用方法。在 SAR 图像变化检测中, 若不同时相的图像变化越小, 其对应的分布函数差异越小, 交叉熵也就越小。假设两个分布函数分别为: $p(x)$ 和 $q(x)$, 则从 $q(x)$ 到 $p(x)$ 的交叉熵为:

$$K(Q | P) = \int \log \frac{p(x)}{q(x)} p(x) dx \quad (5)$$

为了解决交叉熵的不对称问题, 可以采用公式(6)进行规范化处理, 以保证其非负性、对称性和规范性。

$$KLD = [K(Q | P) - K(P | Q)]^2 \quad (6)$$

3 分布差异法 SAR 图像变化检测

3.1 基于交叉熵的差异计算

假设两幅不同时相的 SAR 图像分别是 $f(y)$ 和 $f(\bar{y})$, 采用交叉熵来度量两幅图像之间的差异, 将它们的 Edgeworth 的展开代入交叉熵计算公式(5)得到公式(7)。

$$\begin{aligned} \int f(y) \log \frac{f(y)}{f(\bar{y})} dy &= \int f(y) \log \frac{f(y)}{G(y)} dy \\ &+ \int f(y) \log \frac{G(y)}{G(\bar{y})} dy \\ &+ \int f(y) \log \frac{G(\bar{y})}{f(\bar{y})} dy \end{aligned} \quad (7)$$

类似也可以得到 $\int f(\bar{y}) \log \frac{f(\bar{y})}{f(y)} dy$ 的具体计算

公式, 具体的计算过程可参考文献[4]。将两个计算结果求差再平方就可以得到规范化的交叉熵, 它表示了两幅图像的差异程度。

3.2 变化区域提取

不同时相的 SAR 图像受侧视角度、辐射校正等因素的影响, 不论是变化区域还是非变化区域, 在图像上都存在差异, 对于变化区域其交叉熵值大, 非变化区域交叉熵值小。因此, 需对由交叉熵获得的差异图像分割, 提取出交叉熵值大的区域作为检测出的变化区域。

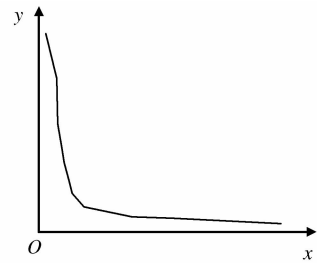


图 1 差异图像的直方图

Fig. 1 Histogram of the differential image

一般来说, 对于较大范围的区域, 一段时间内变化区域不会太多, 因此变化差异图的曲线主要呈图 1 的形状。在差异图像中提取变化区域实质是图像分割, 而寻找分割阈值是关键。CFAR 是一种根据杂波统计特性在给定虚警概率条件下获取检测阈值的技术^[7], 在已知图像分布模型 $f(x)$ 和给定虚警概率 P_{fa} 的情况下, 阈值 T 可由公式(8)确定。

$$1 - P_{fa} = \int_0^T f(x) dx \quad (8)$$

实验发现瑞利分布能较好地拟合差异图像, CFAR 检测阈值的计算就转化为^[3]:

$$T = \frac{\left(\sqrt{-2 \log(P_{fa})} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \right)}{\sqrt{2 - \frac{\pi}{2}}} \sigma' + \mu' \quad (9)$$

σ' 为差异图像的方差, μ' 为差异图像的均值。

分别计算出差异图像的均值、方差, 再给定虚警率, 就可以根据式(9)计算出阈值 T , 然后对差异图像进行二值分割从而得到变化区域:

$$\begin{cases} \text{有变化的像素} & z > T \\ \text{没有变化的像素} & z \leq T \end{cases}$$

4 实验结果及分析

图 2 为两幅不同时相的某地区农田 5 m 分辨



(a) 2006年7月



(b) 2008年1月

图 2 某农田区域不同时相的 SAR 图像
Fig. 2 SAR image of farmland in different temporal



图 3 基于交叉熵计算的差异图像
Fig. 3 The differential image based on cross-entropy



图 4 差值法计算的差异图像
Fig. 4 The diffenrential image based on dispersion

率、HH 极化方式、X 波段的 SAR 图像,图像经过几何配准,配准精度优于 1 个像元。图 3 给出了交叉熵计算的差异图像,图 4 和图 5 分别是插值法和比值法计算得到的差异图像。

采用 CFAR 方法对图 3 进行分割,分割出来的区域就是变化区域,即变化检测结果。分割时设定的最小变化面积为 100,共分割出 11 个区域。为了更好地观测变化检测结果,将分割出来的区域叠加到图 2(a)中,图 6 是叠加后的图像。在图 6 中,带有①②③等数字的 11 处白色区域为变化检测结果。将这些变化检测区域与图 2 对比,发现这 11 个区域均为发生变化的区域,0 个漏检,0 个虚警,即检测率 100%,虚警率 0%。

对比差值法、比值法和交叉熵法的差异图像可

以看出,差值法在地物复杂或包含边缘及纹理的区域不太适用,容易出现虚警,比值法在弱散射的平滑区域检测效果不佳,出现大量虚警,而基于 Edgeworth 拟合的分布差异法能较准确检测出 SAR 图像变化部分,具有检测概率高、虚警率低的特点。但同时也可以看到,基于 Edgeworth 拟合的分布差异法对变化区域的边界界定并不十分清晰。

表 1 给出一组实验数据实验结果,采用不同极化方式、分辨率和波段等参数的 SAR 图像来进一步检测基于 Edgeworth 拟合的分布差异法的效果。通过实验可知,分布差异法能准确检测图像的变化区域,检测率高过 90%,虚警率小于 10%。在实际应用中,可以根据需求,通过对虚警率、变化最小面积等参数的合理设置,来获得更好的变化检测效果。



图 5 比值法计算的差异图像
Fig. 5 The differential image
based on ratio



图 6 从交叉熵差异图像中检测出的变化区域
Fig. 6 The change detection results from the
differential image of cross-entropy

表 1 实验结果
Table 1 The result of test

序号	极化方式	分辨率/m	图像大小	本文方法 检测率/%	本文方法 漏检率/%	本文方法 虚警率/%
1	VV	10	200×200	100	0	0
2	HH	5	500×500	100	0	0
3	HH	10	800×800	100	0	0
4	VV	3	1 500×1 000	90.0	10.0	10
5	HH	3	2 000×10 00	83.3	16.6	8.3

5 结 语

由于 SAR 图像的成像特点,SAR 图像会得到更深入的应用,其变化检测方面的需求会越来越多。本文提出的基于 Edgeworth 分布的交叉熵差异法能较准确地指出发生变化区域的位置,能较好地解决斑点噪声对变化检测造成的影响,但未能圈出变化区域的轮廓细节,有待我们进一步研究。此外,Edgeworth 和交叉熵不仅在本文中应用效果良好,而且在一些图像分析中也表现出良好的性能,可进一步研究 Edgeworth 和交叉熵在 SAR 图像其它处理中的应用。

参考文献:

[1] Kersten P R, Lee J S, Ainsworth T L. A Comparison of Change Detection Statistics in POLSAR Images[C]//Lee J S, eds. IEEE Internatl. Geosci. Remote Sensing Symp., IGARSS 2005, 2005, 4836-4839.

[2] Inglada J, Mercier G. A New Statistical Similarity Measure for Change Detection in Multitemporal SAR Images and Its Exten-

sion to Multiscale Change Analysis[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45(5): 1432-1445.

[3] You Hongjian, Fu Kun. SAR Change Detection Based on Cluster Distribution Divergence[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(5): 454-457. [尤红建, 傅琨. 基于分布模型差异的 SAR 变化检测[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(5): 454-457.]

[4] Lin J J, Saito N, Levine R A. Edgeworth Approximations of the Kullback-leibler Distance towards Problems in Image Analysis [R/OL]. Technology Report, University of California, 1999. <http://www.math.ucdavis.edu/~saito/publications/>.

[5] Jiang Heping, Shen Zhenkang. Image Matching Tracking Algorithm Based on Local Cross-entropy[J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 34(6): 729-732. [江和平, 沈振康. 基于局部交叉熵的图像匹配跟踪算法[J]. 红外与激光工程, 2005, 34(6): 729-732.]

[6] Ghada Al-Osaimi, Ali-El-Zaart. Minimum Cross Entropy Thresholding for SAR Images[C]//3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, 2008, 2008, 1-6.

[7] Novak L M, Burl M C. Optimal Speckle Reduction in Polarimetric SAR Imagery[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1990, 26(2): 293-305.

Multi-temporal SAR Image Change Detection Based on Distribution Divergence

JI Yan^{1,2}, HU Lei¹

(1. *Digital Media Laboratory, Computer Science & Engineering School, Beihang University, Beijing 100191, China*; 2. *Beijing Institute of Remote Sensing, Beijing 100011, China*))

Abstract: According to the characteristic of SAR’s backscatter and imagery feature, the paper presents a distribution divergence method calculating the cross-entropy of Edgeworth polynomial to detect the change area in different temporal SAR images. The method simulates the SAR images’ probability distribution function with Edgeworth polynomial, and simulates the differentia index between two images with cross-entropy. The differentia image from differentia index reflects the images change, and reduces the influence of SAR images speckle noise. The detected results which is the different image segmentation results with CFAR demonstrate the method be of high detecting rate and low fault alarm rate.

Key words: SAR; Distribution divergence; Change detection

更正启示

由于我们工作疏忽,在 2010 年第 1 期谭昌伟等所著“浅析遥感光谱特征参量的原理及基本方法”一文中作者信息有误,在此对作者及读者表示歉意!现更正如下:

浅析遥感光谱特征参量的原理及基本方法

谭昌伟^{1,2}, 郭文善¹, 王纪华³, 朱新开¹, 王君婵¹

- (1. 扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏 扬州 225009;
- 2. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;
- 3. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089)

基金项目:国家自然科学基金(40801122)、2008 年公益性行业(农业)科研专项经费(200803037)和黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-240)资助。
作者简介:谭昌伟(1980—),男,讲师,博士,主要从事遥感的农业应用研究。E-mail:tanwei010@126.com。
通讯作者:郭文善(1961—),男,教授,研究方向为小麦栽培生理与信息化。E-mail:guows@yzu.edu.cn。