

SAR 图像分割的 G_A^0 统计模型-水平集方法

殷戴乾¹, 田 铮^{1,2}

(1 西北工业大学 理学院应用数学系, 陕西 西安 710129;

2 中国科学院 遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要: 由于合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)图像易受相干斑噪声的影响,光学图像的分割方法并不适用于 SAR 图像,更不能获得精确的分割结果,首先基于 G_A^0 统计模型定义能量映射函数以代替像素值进行后续的处理,该方法可以减小相干斑的影响;其次,使用水平集算法对处理后的图像进行分割处理,选用了一种形式更为简单的水平集函数,并可以较容易地推广到多区域 SAR 图像分割情况.实验结果表明该方法可以减少相干斑噪声对 SAR 图像分割过程的不良影响,具有较好的准确性.

关键词: SAR; G_A^0 统计模型; 能量映射函数; 水平集; 多区域 SAR 图像

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)05-0024-04

SAR Image Segmentation Based on G_A^0 Statistical Model-level Set method

YIN Dai-qian¹, TIAN Zheng^{1,2}

(1 Department of Applied Mathematics, School of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China;

2 The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: To solve the problem that optical image segmentation method is not suitable for SAR image and cannot obtain the accurate segmentation results, which is affected by synthetic aperture radar image' speckle noise, a SAR image segmentation method based on G_A^0 statistical model and level set is presented in this paper. Firstly, a energy mapping function based on G_A^0 statistical model is defined to instead of pixel values for subsequent image processing, which can reduce the speckle noise' influence; Secondly, using level set method to finish images' segmentation, this article uses a more simple energy function which is easy to be used to deal with multiregion SAR images' segmentation. Experimental results show that this method can reduce speckle noise' influence in SAR image segmentation process, and has better accuracy and adaptive.

Key words: synthetic aperture radar (SAR); G_A^0 statistical model; energy mapping function; level set; multiregion SAR image

1 引言

SAR 图像感兴趣区域和目标的分割问题是雷达遥感图像应用领域的重要研究内容之一.受 SAR 图像成像机理中固有相干斑噪声的影响,目前很多方法不适用于 SAR 图像或需要通过预处理抑制相干斑噪声^[1].这些预处理方法在抑制相干斑噪声的

同时,模糊了感兴趣区域和目标的边缘信息,影响了分割效果.

在处理斑点噪声时,一般需要统计模型对 SAR 图像进行精确建模,该方法利用了图像的统计信息,可以和水平集方法相结合实现 SAR 图像的分割^[2].在 SAR 图像分割问题中,基于分段常值图像模型的水平集方法组成了一类重要的算法^[3-4].水平集方法利用图像的区域信息,可以适应拓扑结构的变化,而

收稿日期: 2013-08-13; 修回日期: 2013-09-01

基金项目: 国家自然科学基金(60972150,61201323)

且算法稳定性高,并解决了多区域SAR图像的分割问题^[5].虽然水平集函数的演化需要大量的计算,使得水平集的分割过程较慢.但该方法所具有的优点使其广泛的被应用到图像分割中^[4].

本文首先引入 G_A^0 统计模型对SAR图像数据建模,然后定义一个关于像素点的能量映射函数,该函数与 G_A^0 统计模型的累计分布函数相关.用每个像素的能量映射函数值代替像素值进行后续的处理,减少了相干斑噪声的不良影响.水平集函数的计算较为复杂,本文使用一种形式更为简单的水平集函数实现SAR图像的分割,该方法可以简单的推广到多区域SAR图像的分割^[2].

2 SAR图像的 G_A^0 统计模型-水平集算法

2.1 SAR图像关于 G_A^0 统计模型的能量映射函数

令 $Z: \Theta \rightarrow IR$ 是幅值SAR图像,其中 $\Theta = \{x = (i, j); i, j \in \mathbb{Z}\}$,根据相干斑噪声模型,通过选取不同的参数, G_A^0 可以分别描述SAR图像的同质区域、非同质区域和异常非同质区域,其概率密度函数为

$$f_{G_A^0}(z; \alpha, \gamma, n) = \frac{2n^n \Gamma(n - \alpha)}{\gamma^n \Gamma(-\alpha) \Gamma(n)} \frac{z^{2n-1}}{(\gamma + z^2 n)^{n-\alpha}},$$

$$-\alpha, \gamma, z > 0, n \geq 1 \quad (1)$$

参数空间的取值如下:

$$\gamma > 0, \text{ if } \alpha \leq 0, \gamma \geq 0, \text{ if } \alpha > 0 \quad (2)$$

G_A^0 分布的参数 α 和 γ 分别描述SAR图像的粗糙度和尺度^[6].定义图像像素点的区域为 $\Omega = \{\Omega_i; \Omega_i \subset \Theta\}$,满足 $\Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset, i \neq j$ 和 $\bigcup_{i=1}^N \Omega_i = \Theta$.用 G_A^0 分布模型对SAR图像建模最大的特点在于来自不同区域的两个样本点不能用同一个分布函数表示.即如果 Ω_i, Ω_j 是SAR图像中不同的区域,则样本点 $Z_i \in \Omega_i: \Theta_i \rightarrow IR$ 和 $Z_j \in \Omega_j: \Theta_j \rightarrow IR$ 分别是具有参数向量 θ_i 和 θ_j 的 G_A^0 分布且 $\theta_i \neq \theta_j$.进一步,对于任何点 $P \in \Omega_i$,参数向量可以通过 $\hat{\theta}_P \approx \hat{\theta}_i$ 估计得到,因此 $Z_i \sim f_{G_A^0}(z, \hat{\theta}_P, n)$.对于位于同一区域的任意两个不同点 $Q \in \Omega_i$ 和 $P \in \Omega_i$,其具有相似的粗糙度参数和尺度参数.它们之间累积分布函数($P(z \leq z_m) = F_{G_A^0}(z_m, \hat{\theta}, n)$)的关系为

$$F_{G_A^0}(z_m, \hat{\theta}_P, n) \approx F_{G_A^0}(z_m, \hat{\theta}_Q, n) \quad (3)$$

即 G_A^0 统计模型的不同累积分布函数(粗糙度参数和尺度参数不同)可以对不同的区域进行描述^[7].

基于上述事实,可以将能量映射函数设为与粗糙度参数和尺度参数相关的函数,即可以直接使用 G_A^0 分布的累积分布函数作为能量函数:

$$\epsilon(\hat{\theta}; n, z_m) = \Upsilon_{2n-2\alpha} \left(\frac{-\hat{\alpha} z_m^2}{\hat{\gamma}} \right) \quad (4)$$

粗糙度参数和尺度参数可以在所有像素点 $x \in \Theta$ 估计得到,因此上面的能量映射函数可定义为

$$\epsilon_x = \epsilon(\hat{\theta}(x); n, z_m) \quad (5)$$

基于 G_A^0 统计模型粗糙度参数和尺度参数的特性,能量震动的幅值应该在边界处达到最大,在区域上的能量震荡可以通过总的能量变化求出

$$\mathbb{C} = \sum_{x \in \Theta} |\nabla \epsilon_x| \quad (6)$$

式中, $|\nabla \epsilon_x|$ 是空间梯度的量级. 因 ϵ_x 是 z_m 的函数, 所以有

$$\left| \frac{\partial \epsilon_x}{\partial x} \right| = \left| \frac{\partial z}{\partial x} \right| \left| \frac{\partial \epsilon_x}{\partial z} \right| = |\nabla z| \left| \frac{\partial \epsilon_x}{\partial z} \right| \quad (7)$$

$$\left| \frac{\partial z}{\partial x} \right| = |\nabla z| \text{ 是图像的梯度, } \left| \frac{\partial \epsilon_x}{\partial z} \right| \text{ 是累积}$$

分布函数的微分,由此知其必为 G_A^0 的概率分布函数.总能量变化(6)可以写成如下形式:

$$\mathbb{C} = \sum_{x \in \Theta} |\nabla Z| \cdot f_{G_A^0}(z, \theta(x), n) \quad (8)$$

当式(8)取最大时能够最好地区分每个区域.因此令

$$z_m = \arg \max_z \{ \mathbb{C} \} \quad (9)$$

以每个像素为中心取一个 5×5 区域,计算该区域中 G_A^0 统计模型的参数,然后计算式(9)得到 z_m 后,最终由式(5)即可得到 ϵ_x , ϵ_x 代替SAR图像的像素值进行水平集演化的计算^[3].

2.2 SAR图像分割的统计模型—水平集方法

在文献[3]中,作者通过实验分析提出使用线性能量函数即可在不放大随机误差的情况下区分不同的区域,该能量函数表示为

$$f_c = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i}^N |u_i - u_j| \quad (10)$$

式中, u_i 是由下式定义的区域能量均值:

$$u_i = \frac{\int_{\Omega_i} \epsilon dx}{A(\Omega_i)} \quad (11)$$

该方法能够推广到多区域图像分割情况.但本文注意到,随着图像的区域 N 增大时,式(10)的项数与 N^2 成正比,这使得水平集的推广到多区域分割的公式较为复杂并计算量有极大的增加.基于文献[3]中提出线性能量函数即可很好地区分不同的区域,本文使用如下能量函数:

$$f_c = \sum_{i=1}^N u_i \quad (12)$$

为了获得光滑的分割结果并避免小的孤立分割点,

将该能量函数加上一个正则项,由此得到如下函数:

$$F_c = \sum_{i=1}^N u_i + \lambda \sum_{i=1}^N \oint_{\partial R_i} ds \quad (13)$$

式中, ∂R_i 是区域 R_i 的边界, λ 是一个正常数以衡量函数两项之间对分割的相对贡献. 下面先给出两区域 SAR 图像的分割算法, 然后将其推广到任意固定多区 SAR 图像的分割上.

关于 $\vec{\gamma}$ 最小化 F_c 可以通过计算下面的偏微分方程得到

$$\frac{d\vec{\gamma}}{dt} = -\frac{\partial F_c}{\partial \vec{\gamma}} = -\frac{\partial f_c}{\partial \vec{\gamma}} - \frac{\partial R}{\partial \vec{\gamma}} \quad (14)$$

通过类似文献[3]中的方法, 经过计算可得

$$-\frac{\partial f_c}{\partial \vec{\gamma}} = -(u_1 - u_2) \cdot \vec{n} \quad (15)$$

根据文献[8], 经过欧拉-拉格朗日等式的标准计算过程, 可以得到 $\frac{\partial R}{\partial \vec{\gamma}}$ 的结果为

$$\frac{\partial R}{\partial \vec{\gamma}} = -\frac{\partial \oint_{\vec{\gamma}} ds}{\partial \vec{\gamma}} = \lambda k \vec{n} \quad (16)$$

式中, k 是 $\vec{\gamma}$ 的平均曲率函数. 关于 $\vec{\gamma}$ 的最终演化等式为

$$\frac{d\vec{\gamma}}{dt} = -(u_1(\epsilon) - u_2(\epsilon) + \lambda k) \cdot \vec{n} \quad (17)$$

通过水平集迭代计算^[9], 对应于式(17)的水平集演化公式为

$$\frac{\partial \vec{\gamma}}{\partial t} = -(u_1(\epsilon) - u_2(\epsilon) + \lambda k_u) \parallel \vec{\nabla}(x, t) \parallel \quad (18)$$

在两区域水平集分割中, 通过水平集曲线演化可以直接的将区域分割成互不相交的区域. 因式(12)要相对简单的多, 使用文献[5]中方法, 可以很容易得到类似的多区域 SAR 图像的分割算法, 这里不再给出.

3 实验结果与分析

本文和文献[1]中使用了相同的水平集函数进行 SAR 图像分割, 但本文增加了使用统计模型对 SAR 原图像进行处理的过程, 减小了相干斑的影响, 为了验证本文方法的有效性, 使用真实 SAR 图像进行实验, 大量的实验结果表明 G_A^0 统计模型-水平集方法具有较好的分割性能.

在实验中, 本文方法的参数设置为: 每个像素的能量映射函数的参数以该像素为中心取一 5×5 区域进行计算. 如果选用较大的区域, 如 7×7 , 计算

G_A^0 分布的参数以计算能量映射函数, 会使每个像素受周围像素的平滑影响, 区分度有所降低; 若选用较小区域, 如 3×3 , 则不能保证结果的稳健性; 多次实验表明 5×5 区域能够得到较好的结果.

真实 SAR 图像分割选用两组 ALOS-PAL SAR 图像进行实验: 第一组为 2008 年“5.12”汶川地震前后安县上游水库图像, 图像大小均为 205×240 , 其中震前图像拍摄于 2008 年 2 月 17 日, 震后图像拍摄于 2008 年 5 月 19 日; 第二组图像为绵阳市涪江上游白水湖震前和震后图像, 震前图像拍摄于 2008 年 2 月 17 日, 图像大小为 233×240 , 震后图像拍摄于 2008 年 5 月 19 日, 图像大小为 232×240 . 图 1 给出了两种方法所得的分割结果. 其中第一列为原始图像, 第二列为使用文献[1]方法得到的真实 SAR 图像分割结果, 第三列是使用本文方法得到的分割结果. 从实验结果来看, G_A^0 统计模型-水平集方法的分割结果明显优于 RSF 方法的分割结果. 特别是当真实 SAR 图像中目标的轮廓较复杂和模糊时, 文献[1]方法已不能将目标轮廓完整的分割出来, 而本文方法能够准确的将目标轮廓分割出来. 其原因是在对真实 SAR 图像分割时, 文献[1]方法不能降低斑点噪声的影响, 这使得该方法不能直接的应用到真实 SAR 图像分割中, 更不能得到精确的结果, 而本文方法使用能够很好描述 SAR 图像的 G_A^0 统计模型对图像进行建模, 利用能量映射函数降低了斑点噪声的影响, 这使得水平集方法可以直接应用到经过处理的图像数据, 得到精确的结果.

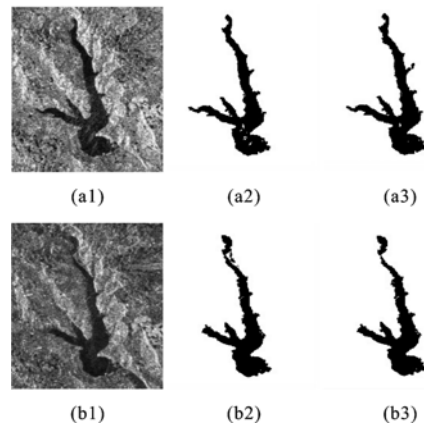


图 1 真实 SAR 图像分割结果

(a1)(b1)分别为上游水库和白水湖水震前震后的真实 SAR 图像. (a2)(b2)为使用文献[2]方法分割真实 SAR 图像所得结果; (a3)(b3)为本文方法分割结果.

4 结束语

G_A^0 统计模型-水平集的 SAR 图像分割方法首

先使用 G_A^0 模型定义能量映射函数以特征化每个像素,该方法使用能量映射函数值代替像素值进行后续处理,即由每个像素的能量映射函数值作为像素值构建“新”的图像,减小了相干斑影响,也使得应用到光学图像、医学图像上的分割方法不经较大修改即可处理该图像,然后结合水平集方法,可以很好的实现 SAR 图像的分割.通过大量的实验并与 RSF 方法相对比,证明了该方法的有效性和适用性.

利用基于 G_A^0 统计模型-水平集方法虽然能得到较好的分割效果,但该方法需要用能量映射函数对每个像素进行处理,计算量较大,如何减小计算量仍需要进一步研究.

参考文献:

- [1] Ismail Ben Ayed, Amar Mitiche. A partition constrained minimization scheme for efficient multiphase level set image segmentation[C]//IEEE International Conference on Image Processing. USA: Atlanta, 2006.
- [2] Jilan Feng, Zongjie Cao. Multiphase SAR image segmentation with G_A^0 -statistical-model-based active contours[J]. IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing, 2013, 51(7): 4190-4199.
- [3] Regis C.P. Marques, Fatima N., et al. SAR image segmentation based on level set approach and G_A^0 model[J]. IEEE Trans On Pattern Analysis and Machine intelligence, 2012, 34(10): 2046-2057.
- [4] Vese L, Chan T. A multiphase level set framework for image segmentation using the Mumford and Shah model[J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 50(3): 271-293.
- [5] Ayed I B, Mitiche A. Multiregion level-set partitioning of synthetic aperture radar images[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(5): 793-800.
- [6] Frery A C, Muller H J. A model for extremely heterogeneous clutter[J]. IEEE Trans On Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35(3): 648-659.
- [7] Frery A C, Nascimento A D C. Contrast in speckled imagery with stochastic distances[C]//Proceedings of 2010 IEEE 17th International Conference on Image Processing. Hong Kong, 2010: 69-72.
- [8] Zhu S C, Yuille A. Region competition: unifying snakes, region growing, and bayes/MDL for multiband image segmentation[J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 1996, 18(6): 884-900.
- [9] Sethian J A. Level set methods and fast marching methods [M]. 2nd ed. Cambridge, U K: Cambridge University Press, 1999.

作者简介:

殷戴乾 男, (1987—), 硕士. 研究方向为模式识别与图形图像处理.

(上接第 23 页)

6 结束语

本文提出一种分块 LBP 算法. 将 3×3 像素邻域的局部灰度均值代替其中心像素作为阈值计算 LBP 值, 改善了传统 LBP 算法存在的缺陷, 增强了其对噪声的鲁棒性; 然后通过对图像采用分块处理, 更好地提取了图像的局部特征. 实验数据表明, 该算法所提取的图像特征具有较好的鉴别能力, 能够有效提高图像检索的准确率.

参考文献:

- [1] Ojala T, Pietiainen M, Hardwood D. A comparative study of texture measures with classification based on feature distribution[J]. Pattern Recognition, 1996, 29(1): 51-59.
- [2] Ojala T, Pietikainen M, Maenpaa T. Multiresolution grayscale and rotation invariant texture classification with Local Binary Patterns[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and machine Intelligence, 2002, 24(7): 971-987.
- [3] Guo Zhenhua, Zhang Lei, Zhang David. Rotation invariant texture classification using LBP variance (LBPV) with global matching [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(3): 706-719.
- [4] 毋小省, 孙君顶. 基于增强纹理谱描述符的图像检索[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(7): 221-223.
- [5] 毋小省. 改进的旋转不变区域纹理谱描述符[J]. 光子·激光, 2011, 22(5): 783-787.
- [6] Yang Zhao, Wei Jia. Completed robust local binary pattern for texture classification[J]. Neurocomputing, 2012(106): 68-76.

作者简介:

王 锋 男, (1974—), 博士, 副教授. 研究方向为计算机技术及应用.