

基于区域的 MRF 模型用于 SAR 图像分割

何楚 夏桂松 曹永峰 杨文 孙洪

(武汉大学电信学院 信号处理实验室 武汉 湖北 430079)

摘要: 本文提出了一种建立在流域算法过分割结果区域图上的马尔可夫随机场模型的 SAR 图像分割算法。由于将马尔可夫随机场 (MRF) 模型建立在预分割的基础上, 极大减少了计算复杂度, 并利用 SAR 图像的分布模型建立多层 MRF 模型, 采用模拟退火优化得到 MAP 估计的分割结果。实验证明较传统的基于像素的马尔可夫随机场分割算法, 该方法极大提高了运算速度, 并能取得较为满意的分割结果。

关键词: 马尔可夫随机场 (MRF), 流域分割, 图像分割

SAR Image Segmentation Using MRF Model Based on Regions

He Chu Xia Guisong Cao Yongfeng Yang Wen Sun Hong

(SPL, College of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079)

Abstract: A segmentation method of SAR image using MRF model based on regions over-segmented by morphological watershed method is proposed in this paper. Because the MRF model is based on pre-over-segmentation of image, the complexity is less than general methods'. And a hierarchical random field of SAR image is used our method and we used simulated annealing (SA) technique to obtain the MAP estimate. Experiments with this method on real SAR image show that it can improve the rapidity of computing compared with MRF method based on pixel-to-pixel, and obtain a satisfactory result.

Key words: Markov random field (MRF), Watershed segmentation, Image segmentation

1. 介绍

合成孔径雷达 (SAR) 是一种高分辨率成像雷达[1]。作为一种主动成像方式, 并且由于雷达波的穿透能力, 使得 SAR 具备全天时和全天候的成像能力, 并能穿透稀疏的树叶以及识别埋藏在干燥地区下的微弱结构。另外, 雷达波的极化特性使反射波可以携带去极化这些精细信息, 在农业、地质学、土地规划等方面都能得到很好的应用。最后, 和光学图像相比, SAR 图像对目标的几何特性, 无论是粗糙度和表面效应还是朝向都极其敏感。这些较光学图像无法替代的优越性使得近年来 SAR 及 SAR 图像的研究与应用成为热点。但与此同时, 由于 SAR 图像的乘性相干斑噪声特性和极低的信噪比, 也使得 SAR 图像的解译特别是自动解译成为研究的难点。

图像分割是图像解译的一个关键步骤。其目的是将观测图像分为多个内部性质比较均匀的区域, 一般可分为非监督和监督两类方法。目前人们已经提出了大量图像分割的算法: 早期的基于灰度门限、区域增长的算法代表了对这个问题的基本认识[2], 取得了一定结果。但是由于噪声和图像纹理的特点, 这些基本算法在应用中存在很大问题; 在此基础上, 人们进一步从各个方面提出了具有更深刻理论基础和更完善策略的算法, 如形态学流域分割算法[3], 基于小波的方法[4], 基于分形理论的方法[5], 基于马尔可夫随机场 (MRF) 模型等统计理论的算法[6-10]。其中基于 MRF 模

型的算法因为易于引入图像先验模型和噪声的统计分布的特性在最近二十年的研究中取得了大量的成果, 但同时由于其极大的计算复杂度, 使得该算法在应用上具有一定局限性。文[8],[9]通过初分割和边缘特征建立邻接图上的马尔可夫场, 减少运算复杂度, 但过多依赖边缘等其它高层特征, 没有充分利用图像分布等统计特性。

本文在对上述 SAR 图像特性和经典分割算法进行深入研究的基础上, 提出了一种新的分割算法框架: 首先采用流域分割算法, 通过适当选取参数, 获得一个过分割但不会破坏理想分割边界的初始结果; 随后在初始分割的区域图上基于 SAR 图像统计模型和 Gibbs 分布建立多层马尔可夫随机场模型; 最后通过模拟退火算法对其进行优化得到最终分割结果。对实际 SAR 图像的实验证明该算法可以取得较为满意的结果, 而且由于初始分割的区域数目大大少于原始像素数目, 因此运算速度获得了较大提高。

在以下章节中, 本文首先在第二部分对基于 MLL 马尔可夫随机场模型的分割算法进行一个简单描述; 随后在第三部分进一步阐述本文提出的基于 SAR 图像的分布特性在流域算法预分割基础上建立 MRF 模型的算法; 然后在第四部分对实验结果进行讨论; 最后通过第五部分给出结论。

2. 基于 MRF 的 MLL 模型的分割算法

MRF 是基于邻域系统和集团系统定义的。Hammersley-Clifford 定理确定了 Gibbs 随机场和 Markov 随

机场的对应关系[7]，使得 MRF 的局部特性可以从 Gibbs 组合分布中获得。MLL 模型是一种常见的 MRF 模型。其中集团的势能通常可以定义如式(2.1)：

$$V_c(f) = \begin{cases} \zeta_c & \text{all sites on } c \text{ have the same label} \\ -\zeta_c & \end{cases} \quad (2.1)$$

式中 ζ_c 为集团c的势能。基于图像像素灰度的分割算法通常采用8-邻域系统的具有4种类型的二阶双格点集团。

记观测图像为 Y ，理想分割标号图像为 X 。图像分割的目的就是由被噪声感染的可观测数据 Y 估计不可观测的标号 X 。在 Bayesian 估计框架下，我们将图像分割问题描述为一个最大后验概率估计问题： $\hat{x} = \arg \max_x (P(X|Y))$ 。由 Bayese 公式可知： $P(X|Y) \propto P(Y|X)P(X)$ 。在 SAR 图像中，通常认为同质区域服从 Gamma 分布，这里可以假设不同标号的区域服从不同参数的 Gamma 分布。即：

$$P(y_i | x_i) = \frac{L^i y_i^{L^i - 1}}{\Gamma(L)\mu^L} \exp\left(-\frac{Ly_i}{\mu_i}\right) \quad (2.2)$$

式中 $i=1...k$ 为分割区域标号。

同时认为标号图像 x 可用 Gibbs 分布描述，即：

$$P(x) = \frac{1}{Z(x)} \exp\left(-\frac{U(x)}{T}\right) \quad (2.3)$$

由(2.2)、(2.3)式和 $P(X|Y) \propto P(Y|X)P(X)$ ，通过模拟退火优化算法[7][9]可以求出最大后验估计值 \hat{x} ，即为最后分割算法。

3. 流域算法预分割图上的马尔可夫随机场模型分割算法

以上基于 MLL 马尔可夫模型的分割算法，当像素个数为 $M \times N$ ，分类个数为 k 时，是一个复杂度为 $k^{M \times N}$ 的遍历择优问题。虽然模拟退火可以解决这样的优化问题，但其计算复杂度仍然较大，这成为制约 MRF 模型分割算法应用的关键问题之一。

流域分割是另外一种常用的分割算法[3]，具有可以同时分割和标记多个区域并得到单像素宽度闭合区域轮廓线的显著优点，算法复杂度低，但存在过分割的问题。可以发现，作为一种单纯考虑灰度变化的算法，流域分割的分割结果一般不会破坏理想分割结果的边界。只会因为缺乏对灰度变化纹理的处理能力，而可能在理想分割结果的内部产生更多过分割的结果。

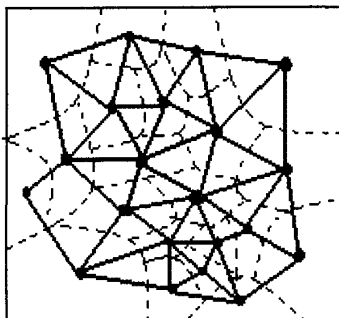


图 3.1: 建立在图上的 MRF 场

因此将该过分割结果作为节点，通过将具有共同边界的两块区域作为邻域建立集团系统，并在此基础上建立 MRF 模型。由于基础单元不再是像素而是区域，所以该 MRF 模型具有以下几个特点：

1、随机场是一个建立在图结构而不是标准整数栅格上的 MRF 场模型（如图 3.1，其中虚线是分割结果，实线实分割的图结构）。因此其邻域也不再仅仅有 4 或者 8 连通域，而是根据相邻区域的数目不同而具有不定数的邻域系统（如图 3.2）。

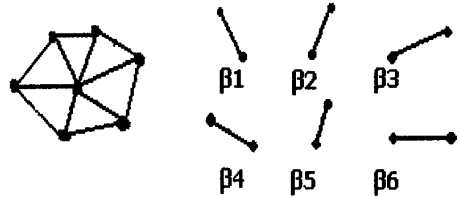


图 3.2: 图中的邻域和双格点集团系统

2、似然函数 $P(y_i | x_i)$ 中的 y_i 不再是一个像素值，而是一个区域的像素集团。因此可以建立似然函数如下：

$$P(y_i | x_i) = \frac{\sum_{z_j \in y_i} \frac{L^i z_j^{L^i - 1}}{\Gamma(L)\mu^L} \exp\left(-\frac{Ly_i}{\mu_i}\right)}{Z} \quad (3.1)$$

由(3.1)式所示的似然函数和第二节中的 MLL 模型，并通过模拟退火算法可得到最大后验估计的 x ，即为分割结果。

4. 实验结果

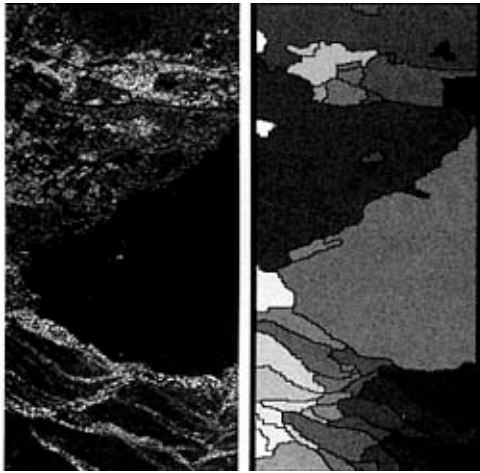
本文实验软件基本环境为 Win2000, Matlab6.0, 硬件基本环境为 P4 芯片, 512M 内存。针对真实 SAR 图像分别采用上述经典算法和本文提出的算法进行了实验。

实验结果如图 4.1 所示。图 4.1(a)为一幅 144×414 的 X 波段的 3 视数的机载 SAR 幅度图像，它显示的是瑞士的一个湖，图中有湖泊、山地和城区。图 4.1(b)是图(a)的流域过分割结果（分为 120 块），图 4.1(c)是图(a)的传统的基于象素更新的 MRF 分割结果，图 4.1(d)是在图(b)的流域过分割的图的基础上进行 MRF 分割的结果。

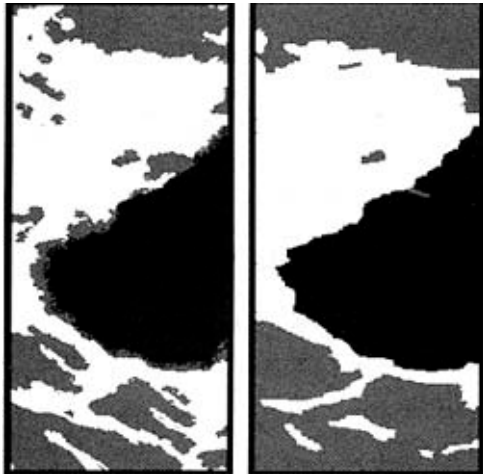
表 1: 算法时间比较

算法	经典 MLL 马尔可夫场分割算法	基于流域区域 MRF 分割算法
时间复杂度	约 5 小时	不超过 5 分钟

在统一环境下，采用相同的分割参数，其耗时比较如表 1 所示。



(a).3 视 X-SAR 图像 (b) 流域过分割结果



(c).传统基于像素更新的 MRF 分割结果; (d)基于流域过分割图上的 MRF 结果

图 4.1

5. 结论

本文通过对 SAR 图像分布特性和经典分割算法特别是流域分割和 MLL 马尔可夫随机场模型分割算法的深入研究,提出了一种新的 SAR 图像分割框架。首先采用流域分割算法,选择适当参数,得到一个过分割但不会破坏理想分割边缘的初始结果;随后在这个初始结果区域图上建立 MRF 模型:在下层的区域节点间通过建立 Gibbs 分布模型引入先验信息,同时通过 SAR 图像伽马分布特性建立标号与实际 SAR 图像观测数据之间的似然函数。通过贝叶斯准则将分割问题变为一个基于上述先验函数和似然函数的最大后验估计问题。最后通过模拟退火优化算法得到上述问题的结果。

通过实验数据可以看出,本文提出的算法首先采用的流域分割算法计算复杂度低,而且该算法可以基本保证本文所需要的可以过分割但不能破坏理想分割边界的特性。随后的

区域图上的 MLL 马尔可夫模型分割算法由于区域节点数目大大少于图像像素数目,较直接在原始图像上建立 MRF 模型进行分割极大降低了计算复杂度,同时又可以利用 MRF 易于引入图像先验约束和图像灰度分布信息的特点,在实际 SAR 图像上取得了较为满意的效果。

参考文献

- [1] Henri Maitre 孙洪等译,“合成孔径雷达图像处理”北京:电子工业出版社 2005 年 2 月
- [2] Rafael C. Gonzalez 阮秋琦等译,“数字图像处理(第二版)”北京:电子工业出版社 2003 年 3 月
- [3] Meyer F. “Topographic distance and watershed lines,” *Signal Processing, special issue on mathematical morphology*, vol. 38, no.1, pp.113-126, July, 1994.
- [4] B.B.Choudhuri, N.Sarkar and P.Kundu, “An improved fractal geometry based textured segmentation technique,” *Proc. IEEE*, vol. 81, pp. 140-241, 1993.
- [5] S.Mallat 杨力华等译,“信号处理的小波导引”北京:机械工业出版社 2002 年 9 月
- [6] H.Derin and H.Elliott, “Modeling and segmentation of noisy and textured images using Gibbs random fields,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-9, no. 1, pp. 39-55, 1987.
- [7] S. Geman and D. Geman, “Stochastic relaxation Gibbs distributions, and the Bayesian restoration of images,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-6, pp. 721-741, 1984.
- [8] I. Y. Kim and H. S. Yang,, “An integration scheme for image segmentation and labeling based on Markov random field model,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 18, pp. 69-73, 1996.
- [9] A. Sarkar, M. K. Biswas, and K. M. S. Sharma, “A simple unsupervised MRF model based image segmentation approach,” *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, pp. 801-812, May 2000.
- [10] S. Krishnamachari and R. Chellappa, “Multiresolution Gauss-Markov random field models for texture segmentation,” *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, pp. 251-267, Feb. 1997.

作者简介

何楚男 1974 年生,讲师,博士生,1996 年于武汉大学电信学院获学士学位,1999 年于武汉大学获硕士学位。研究兴趣为图像压缩,图像分析。参加了多项国家八六三项目、自然科学基金项目。

通信地址:武汉大学电信学院通信工程系

邮编:430079

电话:027-68778181

Email: hechu529@etang.com

hc@eis.whu.edu.cn