

# 基于区域一致性和 NSCT 的 SAR 图像分割

宋晓峰<sup>1,2</sup>, 刘芳<sup>1</sup>, 李志远<sup>2</sup>

(1. 西安电子科技大学计算机学院, 西安 710071; 2. 西安通信学院, 西安 710106)

**摘要:** 提出反映合成孔径雷达(SAR)图像区域一致性的  $G$  值图, 在此基础上运用区域生长方法对图像进行粗分割。在对粗分图像进行区域合并的过程中, 对于含有丰富方向和纹理信息的 SAR 图像, 使用非下采样 Contourlet 变换(NSCT)进行区域特征提取, 并采用一种新方法进行区域合并。仿真结果证明了 SAR 图像分割算法的有效性。

**关键词:** 合成孔径雷达; 图像分割; 区域一致性;  $G$  值图

## SAR Image Segmentation Based on Region Homogeneity and NonSampled Contourlet Transform

SONG Xiao-feng<sup>1,2</sup>, LIU Fang<sup>1</sup>, LI Zhi-yuan<sup>2</sup>

(1. School of Computer Science and Technology, Xidian University, Xi'an 710071; 2. Xi'an Communication Institute, Xi'an 710106)

**【Abstract】**  $G$ -image representing region homogeneity of Synthetic Aperture Radar(SAR) image is presented. A region growing method is used to segment the image roughly based on the  $G$ -image. During the mergence of the rough-segmented image, for the SAR image which has rich direction and texture information, NonSampled Contourlet Transform(NSCT) is employed to extract regional feature and a new method is used to merge regions. Simulation results show the effectivity of the segmentation algorithm for SAR image.

**【Key words】** Synthetic Aperture Radar(SAR); image segmentation; region homogeneity;  $G$ -image

### 1 概述

合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)具有高分辨率成像及全天候、全天时地对地观测的优点。随着技术的不断提高, 机载和星载 SAR 传感器的分辨率越来越高, 使得 SAR 图像在资源、环境、考古以及军事等方面都发挥着重要作用。分割是 SAR 图像识别和解译的关键步骤, 因此, 精确而高效的分割方法对 SAR 图像处理来说非常重要。

目前, 存在着众多的 SAR 图像分割方法和技术, 如基于阈值的分割方法<sup>[1]</sup>、基于聚类的分割方法<sup>[2]</sup>、基于边界的分割算法<sup>[3]</sup>、基于空域统计模型的分割方法<sup>[4]</sup>等。这些分割算法都有其固有的优势和不足, 阈值法是 SAR 图像分割领域最早采用的一种图像分割方法, 它要求待分割 SAR 图像呈现明显的双模态或多模态灰度级分布特性, 在此基础上通过选择有效的单阈值或多阈值来完成 SAR 图像的分割。基于聚类的分割方法, 往往注重于 SAR 图像特征的提取, 缺乏对空间位置信息的考虑。基于边界的 SAR 图像分割通常采用主动轮廓模型来实现, 这类方法通过最小化轮廓或曲线能量来完成不同区域边界的定位, 对具有不同统计特性的同质区域的 SAR 图像才比较有效。基于空域统计模型的方法有坚实的数学基础, 但要求模型是足够精确的, 优化的过程能够有效地找到一个满意解, 这两点对于复杂的场景来说都比较困难。

近年来, 基于区域一致性分析的分割方法在自然图像分割方面取得了很大的成功<sup>[5-6]</sup>, 但是由于 SAR 图像具有较强的相干斑噪声、丰富的纹理信息等特点, 使这些算法在 SAR 图像方面不能取得很好的效果。因此, 本文提出一种针对 SAR 图像的基于区域一致性分析的图像分割算法, 通过计算表示 SAR 图像区域一致性的幅值图来生成的种子区域, 使用区域

生长算法实现对图像的粗分割, 针对过分割的情况, 提出一种区域合并算法对粗分割图像进行合并, 在区域合并的过程中针对 SAR 图像所具有的丰富的纹理和方向信息, 采用非下采样 Contourlet 变换<sup>[7]</sup>(NonSampled Contourlet Transform, NSCT)进行区域特征提取, 取得了良好的效果。

### 2 局部一致性准则

SAR 图像区域一致性的量化是一个难点, 须考虑对称性、周期性及尺度等许多因素。文献[8]提出一种 SAR 图像的边缘检测方法——GOA(Gradient Of Averages)边缘检测算子。GOA 算子是基于图像局部统计性的一种边缘检测算法, 以  $5 \times 5$  窗口为例, 4 种不同的计算方向如图 1 所示。

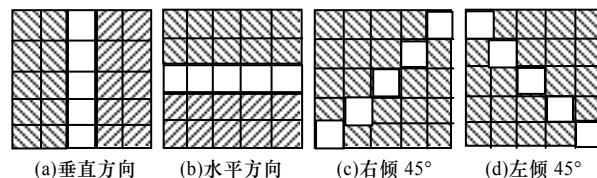


图 1 4 种不同的计算方向

以图像的每一个像素点为待检测点, 取一个滑动窗口, 对于过该点的 4 个直线方向, 计算窗口内两侧不重叠区域的像素点的灰度均值  $P_i, Q_i, i=1, 2, 3, 4$ , 该像素点处相应方向上

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60673097); 国家部委科技基金资助项目(9140A01060606DZ01)

**作者简介:** 宋晓峰(1980-), 男, 讲师、硕士研究生, 主研方向: SAR 图像的智能感知与识别; 刘芳, 教授、博士生导师; 李志远, 硕士研究生

**收稿日期:** 2008-10-04 **E-mail:** fengye\_xty@163.com

的梯度值分别为

$$G_i = \text{abs}(P_i - Q_i), i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

则取该像素点处的梯度值为

$$G = \max(G_1, G_2, G_3, G_4) \quad (2)$$

由  $G$  的定义可以看出,  $G$  越小, 则两区域灰度均值差别越小, 越可能同属一块均匀区域; 反之  $G$  越大, 则两区域灰度均值差别越大, 待计算点越可能处于两区域的边界上。

在实际使用的过程中, 根据图像大小的不同, 可以选择  $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$  等不同尺寸的滑动窗口。SAR 图像在各种滑动窗口下的  $G$  值图如图 2 所示。

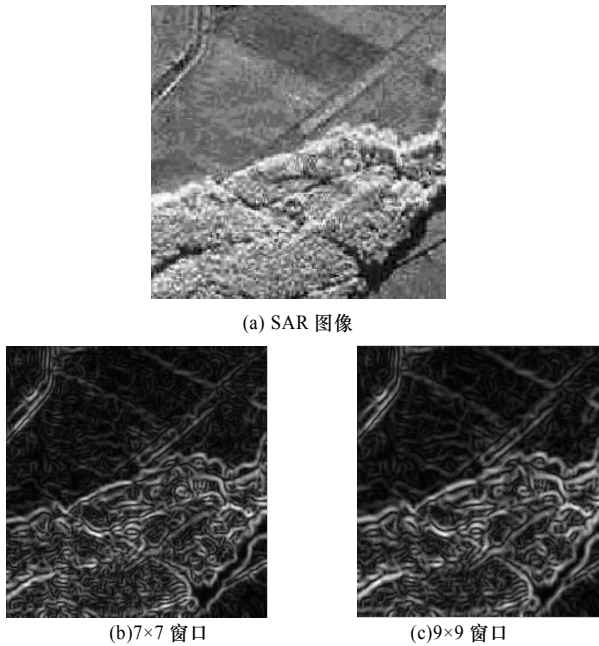


图 2 SAR 图像的  $G$  值图

从图 2 中可以看出, 滑动窗口的尺寸越大对噪声越不敏感, 但对细小的边缘检测能力较弱; 相反滑动窗口的尺寸越小, 对小的边缘定位越准确, 但抗噪性能较差。因此, 可以考虑对图像在不同的窗口尺度上进行处理, 以更好地定位各种边缘。对于视觉上具有一致性的均匀区域, 各像素点处具有较小  $G$  值, 而对于一些边界区域, 各像素点具有较大的  $G$  值, 因此, 可使用图像的  $G$  值图来表示其局部区域一致性。

### 3 非下采样Contourlet变换

在图像处理中, 小波变换被广泛应用于包括编码、去噪、融合、分割等几乎所有图像应用中。尽管如此, 由于小波变化只能反映信号的零维奇异性, 对高维的图像信号, 小波基却并不是最优基。为了避免小波变换的不足, 更加有效地表示和处理图像等高维空间数据, 研究者们提出一种新的信号分析工具——多尺度几何分析。NSCT<sup>[7]</sup>继承了 Contourlet 的多尺度、多方向的特性, 具有完全平移不变性。在实现时, NSCT 通过非下采样的金字塔尺度分解和基于非下采样的方向性滤波器组的方向分解来实现, 即首先对图像进行塔形分解已捕获点状奇异, 然后由方向滤波器组将分布在不同方向上的不连续点连接成周线结构, 最终以类似周线结构来逼近原图像。相对于小波变换, NSCT 具有更强的各向异性, 能够把高频信息分解成多个方向性分量的组合, 具有较优的非线性逼近性能。因此, 它能更好地捕捉图像的方向和纹理信息, 且具有平移不变性, 非常适合对图像进行特征提取。

NSCT 滤波器组结构和频带划分如图 3 所示。

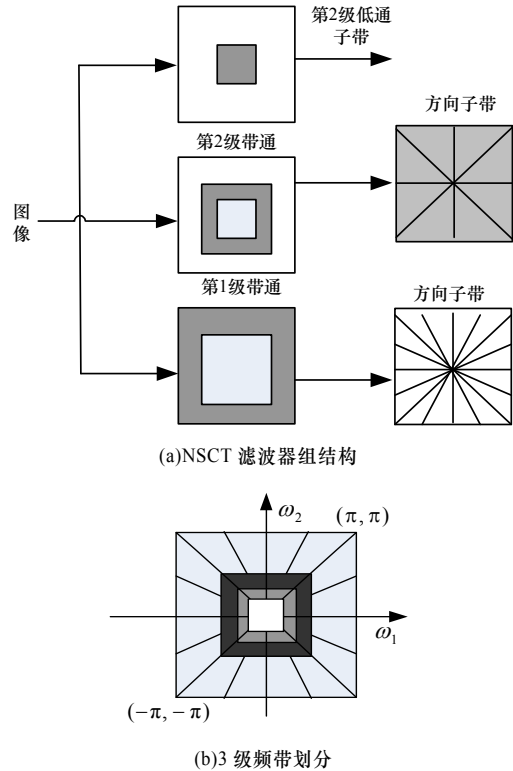


图 3 NSCT 滤波器组结构和频带划分

每级分解通过金字塔尺度分解获得低通和带通部分, 然后将带通部分通过方向滤波器组, 实现多方向分解, 在每一尺度可将频域分解成  $2^l$  个方向, 低通部分则作为下一个分解级的输入。

## 4 SAR 图像区域生长算法

区域生长算法的基本思想是将具有相似性质的像素集合起来构成区域, 主要包括种子点或种子区域的选择、生长准则的确定, 以及过分割情况下的区域合并。在  $G$  值图上的 SAR 图像区域生长算法分析如下。

### 4.1 种子区域生成

在进行区域生长之前, 必须确定一定数目的种子区域, 根据 SAR 图像  $G$  值图的特点, 种子区域应该具有最小的  $G$  值并且面积不能太小。这里采用一种简单的确定种子区域的方法, 具体如下:

(1) 计算图像的所有像素点  $G$  值的均值  $\mu$  和方差  $\sigma$ 。

(2) 对于图像所有像素点计算其在相应滑动窗口内  $G$  值的局部均值  $\mu_i$  和局部方差  $\sigma_i$ , 则设该像素处阈值  $T_i$  为

$$T_i = \min(\max(\mu_i - \alpha_1 \cdot \sigma_i, \mu - \alpha_2 \cdot \sigma), \mu + \alpha_3 \cdot \sigma) \quad (3)$$

其中,  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  为可调参数。如果一个像素点的  $G$  值小于该点处的  $T_i$ , 则该点为候选种子点。

(3) 以 4 连通的方式连接所有候选种子点, 得到候选种子区域, 如果候选种子区域的面积大于设定的阈值, 则该候选种子区域确定为种子区域。

### 4.2 区域生长

确定好种子区域后, 可通过以下 2 步完成区域生长过程:

(1) 去除种子区域中的空洞。

(2) 对于剩余的像素点按其  $G$  值从小到大排序。对  $G$  值最

小的像素点进行处理, 如果和某种子区域相连接, 则将其分配到该种子区域; 否则对  $G$  值次小的像素点进行同样的处理, 依次类推。反复进行上述过程, 直到对所有像素点完成划分。

### 4.3 区域合并

区域生长后对图像的分割一般存在着过分割现象, 如何进行区域合并也非常重要, 特别是对于含有丰富纹理和方向信息的 SAR 图像, 就需要各区域进行有效的特征提取以后再行合并。NSCT 作为一种有效的多尺度几何分析工具, 能更有效地捕捉图像的纹理和方向信息, 因此, 可以通过对原图像进行多尺度多方向的 NSCT, 用各区域在不同尺度和方向上的能量测度来描述区域的特征, 然后进行有效的合并。具体步骤如下:

(1) 对原图像进行 NSCT, 分解的层数和各层的方向数可以根据需要选择。

(2) 对区域生长后的各个区域, 提取其在相应的各个子带的能量测度, 这里采用的是  $L^1$  范数能量测度:

$$E_{i,d} = \frac{1}{N} \sum ||coef(m,n)|| \quad (4)$$

其中,  $i$  表示区域索引;  $d$  表示子带索引;  $N$  为区域中像素的个数;  $m, n$  表示子带中系数的索引。该区域的特征就是由其在各个子带的能量测度所构成的一维向量:

$$F_i = [E_{i,1}, E_{i,2}, \dots, E_{i,D}] \quad (5)$$

其中,  $D$  为该区域对应的子带数目。

(3) 计算各个区域和相邻区域特征之间的相似度

$$W_{i,j} = Dist(F_i, F_j)$$

其中,  $i, j$  分别表示区域索引;  $Dist(F_i, F_j)$  表示  $F_i$  与  $F_j$  之间的欧氏距离。

(4) 按照  $W$  的大小, 从小到大进行排序, 第  $i$  个区域的初始阈值为

$$T_i = K / C_i \quad (6)$$

其中,  $K$  为可调参数;  $C_i$  为第  $i$  个区域像素的个数。

(5) 从最小的  $W_{i,j}$  开始, 如果区域  $i$  和区域  $j$  没有合并, 并且满足:

$$W_{i,j} \leq \min(T_i, T_j) \quad (7)$$

则合并区域  $i$  与区域  $j$ , 更新

$$T_i = T_j = W_{i,j} + K / (C_i + C_j) \quad (8)$$

重复执行步骤(5), 直到对所有的  $W$  处理完毕, 区域合并的过程才算完成。

## 5 实验结果及分析

实验采用一幅真实 SAR 图像进行分割, 原始图像尺寸为  $256 \times 256$ 。参数  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  分别设置为 0.5, 0.4, 0.4, 种子区域面积的阈值为 100, 采用 NSCT 将图像进行 3 层分解, 由粗到细各层分解的方向数为 4, 8, 16。分割结果与空域统计模型的马尔科夫随机场(MRF)模型分割方法、小波聚类分割方法进行了比较。SAR 图像及分割结果如图 4 所示。

从分割结果可以看出, 相对于 MRF 随机场模型的分割算法和小波聚类的分割算法, 本文算法能给出更好的结果。文中的  $G$  值图反映了 SAR 图像的局部区域一致性, 粗分割中所使用的区域生长的方法考虑到了图像的空间位置关系, 在区域合并解决过分割的过程中, 使用了 NSCT 进行区域特征提取, 因此, 对于含有丰富纹理和方向信息且具有较强相干

斑噪声的 SAR 图像, 本文方法能得到更为准确的分割结果。

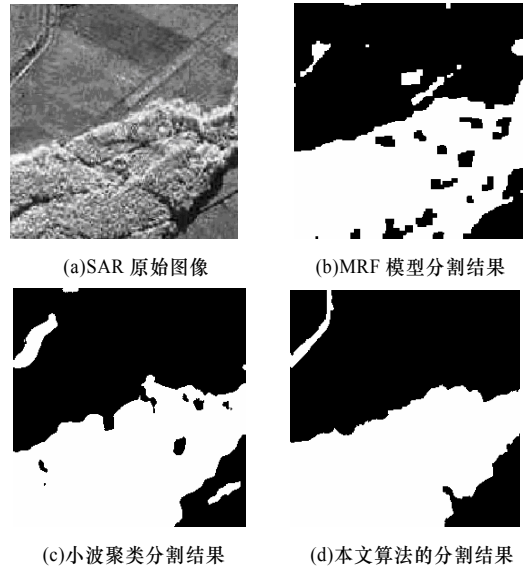


图 4 SAR 图像的分割结果

## 6 结束语

本文提出一种基于图像区域一致性和 NSCT 的 SAR 图像分割算法。对于含有丰富纹理和方向信息的 SAR 图像, 算法能给出较好的分割结果。但本文所采用的  $G$  值图还比较简单, 对于噪声污染很严重的 SAR 图像, 效果不够理想。因此, 研究一种更具抗噪性能、反映图像区域一致性的幅值图是下一步的工作重点。

## 参考文献

- [1] 张红蕾, 宋建社, 张宪伟. 基于二维模糊熵的 GA 在 SAR 图像分割中的应用[J]. 计算机工程, 2007, 33(5): 158-160.
- [2] 薛笑荣, 曾琪明, 赵荣椿. 一种快速的 SAR 图像分类算法[J]. 计算机科学, 2007, 34(5): 222-223.
- [3] Ma Weiying, Manjunath B S. EdgeFlow: A Technique for Boundary Detection and Image Segmentation[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2000, 9(8): 1375-1388.
- [4] 句彦伟, 田 铮, 纪 建. SAR 图像无监督分割的空间变化混合 MAR 模型方法[J]. 计算机学报, 2006, 29(2): 331-336.
- [5] Deng Yining, Manjunath B S. Unsupervised Segmentation of Color-texture Regions in Images and Video[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(8): 800-810.
- [6] 叶齐祥, 高 文, 王伟强, 等. 一种融合颜色和空间信息的彩色图像分割算法[J]. 软件学报, 2004, 15(4): 522-530.
- [7] Cunha A L, Zhou Jianping, Do M N. The Nonsampled Contourlet Transform: Theory, Design, and Applications[J]. IEEE Trans. on Image Process, 2006, 15(10): 3089-3101.
- [8] Zaman M R, Moloney C R. A Comparison of Adaptive Filters for Edge-preserving Smoothing of Speckle Noise[C]//Proceedings of International Conference on Acoustic, Speech, and Signal Processing. Minneapolis, MN, USA: [s. n.], 1993.

编辑 顾姣健