

文章编号: 1007-4619 (2001) 06-423-05

基于小波分解的星载 SAR 图像纹理信息提取

胡召玲^{1,2}, 郭达志¹, 盛业华¹

(1. 中国矿业大学 测绘与空间信息工程研究所, 徐州 221008; 2. 徐州师范大学 城市环境学院, 徐州 221116)

摘 要: 论述利用小波变换提取合成孔径雷达(SAR)图像的多尺度纹理信息, 借助 Daubechies³ 正交小波, 对图像进行小波分解, 将小波变换各个频带输出的 l_1 范数作为纹理特征值。选取徐州市区局部的 Radarsat 卫星 SAR 图像, 提取出纹理图像, 实验证明, 该纹理提取方法能有效地提取出面目标的纹理信息。

关键词: SAR 图像; 小波变换; 纹理; 特征提取

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A

1 引 言

合成孔径雷达(SAR)成像是通过对景区相干波照射和对后向散射信号相干检波以获得方位向的高分辨率图像, 从一地面单元后向散射回来的全部信号是地面散射中后向散射信号的相干总和。因此, 雷达图像具有多斑点噪声, 高空间分辨率的特点^[1]。纹理是在某一确定的影像区域中, 相邻像素的灰度(或色调、颜色)服从某种统计排列规则而形成的一种空间分布。雷达图像中含有丰富的纹理信息, 不同的地表粗糙度呈现出不同的纹理特征, 因而可从雷达图像中提取有关信息。它是雷达识别地物的一项关键技术, 也是雷达图像处理研究的热点问题。雷达图像的纹理有细微、中等和宏观 3 种。细微纹理分辨单元的大小和分辨单元内的独立样本数有关。以分辨单元为尺度表示的空间色调变化, 由雷达图像固有的光斑特性决定。这种纹理特征不能用于识别目标。中等纹理是以多个分辨单元为尺度来表示空间色调变化, 同一种目标的若干分辨单元空间排列的不均匀性, 以及不同目标的细微纹理所占分辨单元的个数, 是识别面目标的重要信息之一。这是识别目标的主要依据。宏观纹理是由于雷达回波随地形结构特征的变化改变雷达波束与目标之间的几何关系和当地入射角形成的, 反映地形地貌的结构特征, 因此, 是雷达图像地质地貌解译的重要标

志之一^[2]。近年来, 随着雷达遥感的发展及雷达对细微地形变化的敏感性, 雷达图像的纹理分析越来越受到重视。传统上, 主要是采用灰度共生矩阵的各种度量指标作为图像的纹理特征, 近几年, 人们在前人工作的基础上, 又开始探索新的雷达图像纹理分析方法和途径, 如采用分形和小波变换法提取影像的纹理特征。

SAR 图像中的纹理由下面两个部分组成^[3]:

(1) 场景后向散射的固有纹理 $T(x)$ (Intrinsic Texture);

(2) 由于光斑所造成的纹理, 也称乘性相关噪声 $S(x)$ (Multiplicative Correlated Noise)。

SAR 图像的影像纹理实际上是场景的固有纹理 $T(x)$ 与光斑噪声纹理 $S(x)$ 共同作用的结果, 通常情况下, 我们只对固有纹理感兴趣, 所谓固有纹理是指在雷达图像上对应一定区域的地面目标所产生的雷达后向散射信号的空间调制的不同而产生的图像亮度变化(不同于边缘, 它是交叉部分的突然中断, 或两个固定区域的边界), 因此, 在提取 SAR 图像的纹理信息时, 应先降低图像的斑点噪声水平。

由于图像纹理取决于空间色调的相对变化, 而不是灰度的绝对值, 所以它较少受到图像未校准的影响, 同一地区的两幅图像间的纹理的外观基本不变。从目前的研究情况看, 纹理特征提取对 SAR 图像分析的主要作用在于 3 方面。首先纹理分析方法可作为一种很有力的边缘检测手段; 其次因为 SAR

收稿日期: 2000-10-18; 修订日期: 2001-01-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 49871089)和博士点科研基金资助项目(No. 97029005)] rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 胡召玲(1973—), 女, 中国矿业大学博士, 现在徐州师范大学工作, 主要研究方向为图形与图像处理, 遥感与 GIS 及其应用, 已发表论文 6 篇。

图像上受噪声影响的均质区,在纹理测度图像上一般对应灰度同一的区域,所以在分类时,引入纹理信息可提高分类精度;第三方面,也是有待深入研究的方面,即有些目标确实能从纹理测度上区分出来^[4]。

2 基于小波分解的纹理特征

近年来,基于多分辨率分析的方法在纹理分析中得到了广泛的关注,而小波变换作为一种多分辨率分析工具,为不同尺度上信号的分析 and 表征提供了精确和统一的框架。在某些区域,例如热带森林地区,大的结构存在于大的尺度中,而在某些区域,纹理则存在于小的尺度中,这为多尺度纹理测度提供了基础,应用小波变换的最终目的是从 SAR 图像中提取多尺度纹理信息。小波变换在纹理分析中的应用是 Mallat 首先提出的,随后人们提出了许多基于小波变换的纹理分类方法。Cater 首先报道了选用 Morlet 和 Mexico 草帽小波的纹理分类结果,而 Naghdy 则选用 Gabor 小波进行纹理分类。Chang 和 Laine 分别利用小波包或称为树结构的小波变换进行纹理分类。树结构小波变换与仅对图像的低频部分进行分解的金字塔结构小波变换不同,它也对高频部分进行分解。Unser 的纹理分类方法则采用一种不对分解输出进行子抽样的小波分解方法——离散小波框架(DWF)。这些方法各有特点,但是采用非正交小波会使小波分解各频带输出之间带有相关性;而采用树结构小波变换和离散小波框架则会使小波分解的计算量和所提取特征矢量的维数增加^[5]。文献[5]针对一些标准纹理利用正交小波变换进行纹理分类,实用性不强。

纹理代表了影像强度的空间变化,由于小波对空间信号变化的敏感性以及在一定尺度下,能分离细节(Details)的特点,我们把小波系数看成是信号在这个尺度上的纹理测度,因此,小波变换是影像分割和分类的一个强有力的工具。作者选用合适的小波函数,利用二维正交小波变换分析纹理,将原始图像分解为分辨率依次减半的一系列图像,分辨率越低的图像,具有的是原图像上越低频的信息,因采用了方向小波变换,每种分辨率的图像由可以代表不同方向信息的一系列图像组成(如水平、垂直、对角),因此,图像的二维正交小波分解可得到一系列不同尺度、不同纹理信息的图像,这样就可以提取出各个频带图像的纹理特征值。

Daubechies 组构了被称为 Daubechies 正交紧子

集小波的小波基函数及其滤波器系数 $h(n)$,考虑到 Daubechies 小波的高纹理分类性能及其正交性、紧支性和低复杂性,笔者选用 Daubechies 3 点小波, Daubechies 3 尺度函数与小波函数分别如图 1、2 所示。从图 2 中可以看出 Daubechies 3 小波函数具有很大的中心峰,因此它适合分析纹理的局部特征。

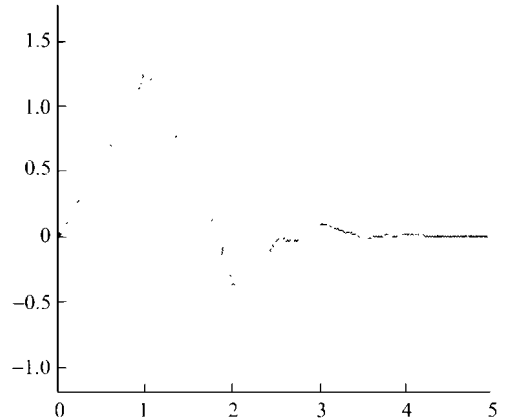


图 1 Daubechies³ 尺度函数

Fig. 1 Daubechies³ scale function

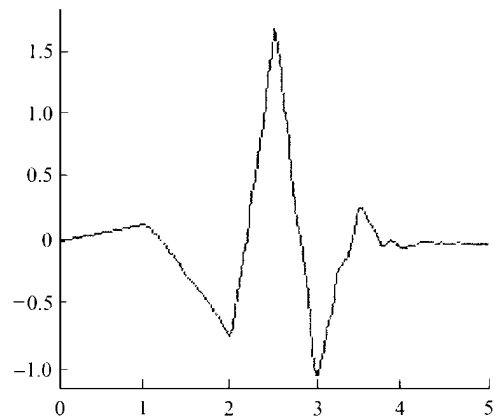


图 2 Daubechies³ 小波函数

Fig. 2 Daubechies³ wavelet function

3 基于小波分解的纹理特征提取

特征提取的目的是获得一些纹理测度,用于区分不同的纹理。基于小波变换的纹理测度指标一般采用 l_1 范数、平均能量、熵等特征^[6]。为简单起见,采用小波分解频带图像的 l_1 范数作为图像纹理测度,其计算式为:

$$e = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |x(m, n)| \quad (1)$$

(1)式中, $M \times N$ 为频带图像的大小, m, n 分别表示

图像的行和列, x 为该频带的小波系数, 由此可见, 对于分解水平为 L 的小波分解, 特征矢量的维数为 $D=(3 \times L+1)$ 。SAR 图像中提取小波纹理特征矢量的具体做法如下:

(1) 降低图像的斑点噪声水平: 由于合成孔径雷达系统产生的相干信号使得星载 SAR 图像受到了斑点噪声的污染, 给图像的信息提取带来了困难, 因此, 在对图像进行信息提取之前必须降低斑点噪声的水平。本文利用小波分解和软门限理论去除 SAR 的斑点噪声。

(2) 选取合适的图像局部方形区域, 采用 Daubechies³ 小波对其进行小波分解。一般选取 $2^n \times 2^n$ (n 为正整数) 的局部区域。

(3) 从图像的左上角开始, 选取合适的局部 $2^n \times 2^n$ 的方形区域做滑动窗口, 对其进行小波分解, 分解水平为 L , 然后根据(1)式计算各个输出频带图像的 l_1 范数, 赋给区域图像的中心像元, 作为这个

像元的特征矢量; 滑动窗口, 每次滑动的步长取为 2, 依次类推, 计算下一个图像局部区域中心像元的特征矢量。

(4) 依据第(2)步所提取出的特征矢量的每一分量形成一个纹理图像。

4 试验分析

试验研究选取徐州市区的星载 SAR 图像(大小为 400×400), 获取图像的时间是 1999-04-18, 像元大小是 $8.333\text{m} \times 8.334\text{m}$ 。图 3 是经平方根增强后的 SAR 图像, 图 4 是采用小波去噪后的 SAR 图像。根据上面的算法, 选取 8×8 的图像局部区域, 利用 Daubechies³ 小波分解, 分解水平为 2, 提取出每个像元的 7 个特征矢量, 形成 7 个纹理特征图像如图 5—图 11 所示。纹理图像的大小按实际图像的 50% 显示。



图 3 原始图像
Fig. 3 Original image



图 4 降低斑噪后的图像
Fig. 4 Speckle-suppressed image

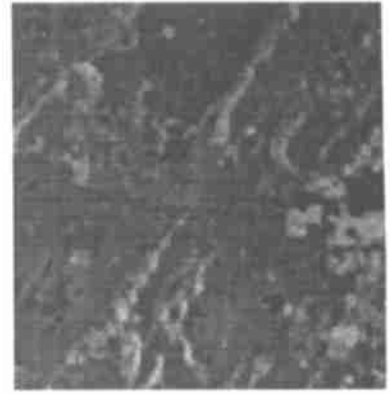


图 5 第 1 纹理图像
Fig. 5 The first texture image



图 6 第 2 纹理图像
Fig. 6 The second texture image



图 7 第 3 纹理图像
Fig. 7 The third texture image



图 8 第 4 纹理图像
Fig. 8 The fourth texture image

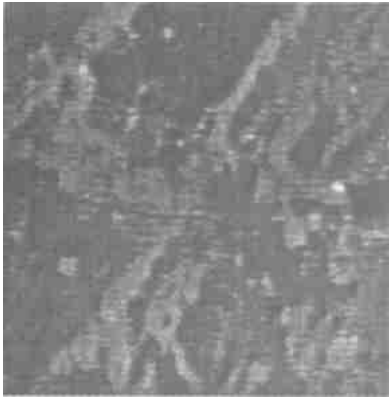


图 9 第 5 纹理图像

Fig. 9 The fifth texture image

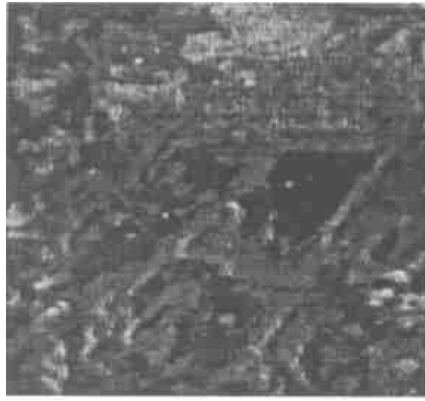


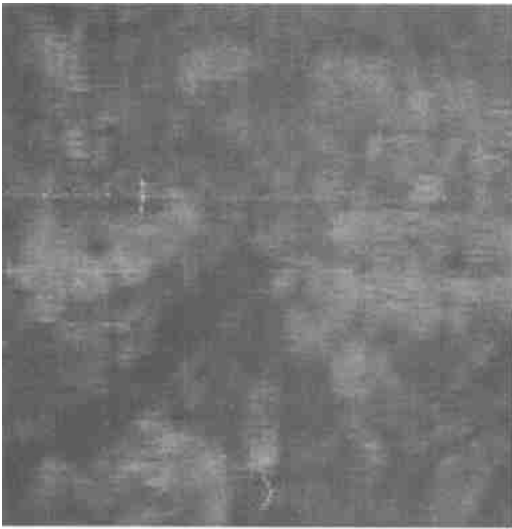
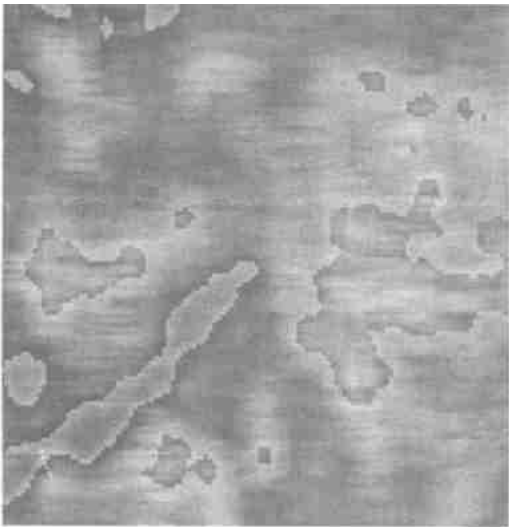
图 10 第 6 纹理图像

Fig. 10 The sixth texture image



图 11 第 7 纹理图像

Fig. 11 The seventh texture image

图 12 8×8 窗口纹理图像Fig. 12 Texture image of 8×8 window图 13 16×16 窗口纹理图像Fig. 13 Texture image of 16×16 window

5 结论与讨论

(1) n 的选择问题。笔者选取了一小块图像(图像大小为 $246 \text{ 像素} \times 256 \text{ 像素}$), 用以比较窗口的大小对纹理信息的影响, 当 $n=3$, 即窗口大小为 8×8 , 分解水平 $L=2$ 时, 提取出纹理特征图像, 为了将原 SAR 图像上的灰度和纹理信息转化为色调信息, 取第 1 纹理特征图像为红通道, 第 2 纹理特征图像为绿通道, 第 3 纹理特征图像为蓝通道, 组成假彩色合成图像, 见图 12。而当 $n=4$, 即窗口大小为 16×16 , 分解水平 $L=2$ 时, 取同样的纹理特征图像的假彩色合成图像见图 13。比较图 12 和图 13, 发现与灰度共生矩阵一样, 利用小波法获得的纹理图像对目标具有平滑作用, 消除了大部分的噪声和微地形的影响, 使其在纹理图像上表现为较连续的灰度均匀的区域, 从而改善了它的显示效果, 如图像中的一个村庄表现非常明显; 当 n 大时, 适合提取具有较粗糙纹理的信息, 当 n 小时, 适合提取具有较细微纹理的信息, 实际应用中需根据对图像进行信息提取的要求和目的选取合适的 n 。另外从图像上还可看出, 对于山体而言, 在纹理图像上其立体感比较强, 这是由于当遇到山坡时, SAR 图像会出现叠掩效应和阴影现象, 而纹理图像又对原图像具有平滑作用, 基本消除了斑点噪声的影响, 使得山体的前坡和后坡的灰度反差加大。

(2) L 的选择问题。文献[3]中指出, 光斑的大小(2-3 个像素)主要影响小波分解的前两个水平。并且, 统计小波系数的方差 (Variance of wavelet coefficient) 发现, SAR 图像的能量大部分存在于小波分解的第一、第二水平。当尺度比光斑颗粒大时(在

多分辨率分解中, 水平为 3 和 4), 对小波系数值的主要贡献来自于光斑的一阶分布, 并且随着分解水平数的增多, 计算量也增大。因此, 我们选择 $L=2$ 。

(3) 由于光斑的乘性特征, 小波系数与影像的平均反射率成正比, 因此, 固有纹理 $T(x)$ 相同, 但是具有不同的均值反射率, 小波系数也不相同, 这个性质在小波系数用于图像纹理分析中, 是极为重要的。

参 考 文 献 (References)

- [1] Guo H D. Analysis of Radar Remote Sensing Image in China [M]. Beijing: Science Press, 1999. [郭华东. 中国雷达遥感图像分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [2] Shao Y, Guo H D. *et al.* Macroscopical Texture Analysis and Geology Application Effect of Radar Image [A]. Guo H D. Airborne Radar Remote Sensing and Application [M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1992. [邵芸, 郭华东等. 雷达图像的宏观纹理分析和地质应用效果. 郭华东, 机载雷达遥感应用实验研究 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.]
- [3] Marc Simard, Gianfranco DeGrandi. Analysis of speckle noise contribution on wavelet decomposition of SAR images. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1998, **36** (6): 1953–1962.]
- [4] Chen S P, Tong Q X, Guo H D. Study of Mechanism on Remote Sensing Information [M]. Beijing: Science Press, 1998. [陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1998]
- [5] Wu G H, Zhang Y J, Lin X G. Wavelet Transformation-based Texture Classification Using Feature Weighting [J]. *Pattern Recognition & Artificial Intelligence*, 1999, **12**(3): 262–267. [吴高洪, 章毓晋, 林行刚. 利用特征加权进行基于小波变换的纹理分类 [J]. 模式识别与人工智能, 1999, **12**(3): 262–267.]
- [6] Seisuke Fukuda and Haruto Hirotsawa. Land Cover Classification from Multifrequency Polarimetric Synthetic Aperture Radar Data Using Wavelet-Based Textural Information. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings*, 1998, 357–359.

Extracting Textural Information of Satellite SAR Image Based on Wavelet Decomposition

HU Zhao-ling^{1,2}, GUO Da-zhi¹, SHENG Ye-hua¹

(1. Institute of Surveying & Mapping and Spatial Information Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;

2. College of Urban and Environmental Science, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Texture extraction from SAR image is an important frontier field because SAR image has characteristics of high spatial resolution and abundant texture information. Wavelet transformation can provide an effective tool for multi-scale texture analysis of SAR image. This paper describes a method to extract multi-scale textural information from satellite SAR image using wavelet transformation. Firstly the SAR image is decomposed using Daubechies³ orthogonal wavelet and l_1 norms of every band image are computed as feature value of image pixels. According to the feature value on every channel, texture images which respectively denote texture on different scale of SAR image are produced. The method has been applied for the extraction the textural information from a Radarsat image of Xuzhou city. The experiment shows that the facial target textural information can be effectively extracted using the method.

Key words: SAR image; wavelet transformation; texture; feature extraction