

文章编号: 1671-8860(2004)04-0367-04

文献标识码: A

# 基于小波的 SAR 影像纹理分析

倪 玲<sup>1</sup> 张剑清<sup>1</sup> 姚 巍<sup>1</sup>

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

**摘要:** 在分析 SAR 影像特征的基础上, 引入了基于小波的纹理提取方法, 并采用第二代提升小波与双正交小波对 SAR 影像进行小波二级分解, 提取影像各尺度上的小波特征系数。对机载的 SAR 影像进行了纹理分析及分类, 得出了不同小波的分类分析结果。

**关键词:** 小波; SAR 影像; 纹理分析

中图法分类号: P237.3

## 1 SAR 影像纹理特征及纹理提取方法

合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)是一种高分辨率二维成像雷达, 特别适用于大面积的地表成像, 它通过对景区相干波照射和对后向散射信号相干检波而获得图像。

由于 SAR 成像机理完全不同于其他多光谱扫描成像, 其影像含有独特而丰富的纹理信息, 它不仅与地物形态、类别、坡向、粗糙度、复介电常数等有关, 还与所采用的工作波长、极化方式、入射角等因素有关。目前雷达图像多为单波段、单极化图像, 不像 TM、SPOT 图像那样, 采用多波段的计算机处理和地类识别方法。因此, 图像灰度及灰度空间变化所构成的纹理就是从雷达图像中提取信息的主要依据。以往的纹理分析方法多集中在同一尺度上, 不同尺度之间的纹理特征反映不出来。而小波变换理论给出了多尺度和时频分析框架下纹理分析提取的方法和途径, 使得纹理测度能在不同尺度和细节上得到反映, 并给出了图像纹理全新多分辨率测度的新方法, 为提高 SAR 影像识别的精度和效率提供了一条较好的思路。

## 2 小波分解及多分辨率分析

小波分析是 20 世纪 80 年代中期发展起来的, 目前广泛应用于图像的恢复、增强、分割、检

索、配准等领域, 成为信号处理的强有力工具。Mallat 首先将小波变换应用于图像纹理分析, 构造了小波  $\psi$  使得伸缩、平移函数族  $\{\psi_{j,n}(t) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \psi(\frac{t-2^jn}{2^j})\}$  是  $L^2(R)$  的一组规范正交基,  $(j, n) \in \mathbb{Z}^2$ 。按  $2^j$  伸缩的正交小波承载了信号在分辨率  $2^{-j}$  上的变化, 使基的构造与多分辨率信号逼近, 从而导出了小波基与共轭镜像滤波器之间的等价性。一维滤波器  $h$  和  $g$  的可分离乘积作为滤波器可获得快速小波变换。在尺度  $a_{j+1}$  上, 小波系数可使用二维可分离卷积及子采样从  $a_j$  算出:

$$a_j[n] = \langle f, \phi_{j,n}^2 \rangle$$

$$d_j^k[n] = \langle f, \psi_{j,n}^k \rangle, 1 \leq k \leq 3$$

使用六组一维卷积, 并沿图像的行和列进行子采样, 见图 1。将  $a_{j+1}$  进一步分解, 可得二级分

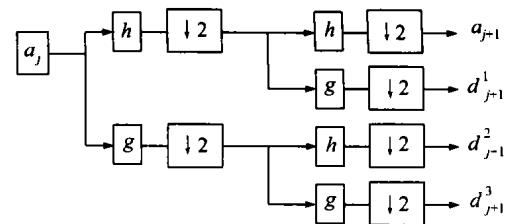


图 1 二维小波处理

Fig. 1 Two-Dimensional Wavelet Processing

解图, 如图 2 所示。

设计共轭镜像滤波器还可以给出新的小波正交

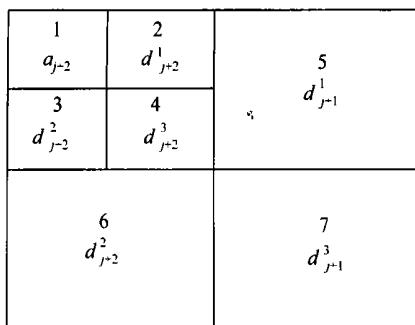


图 2 二级分解示意图

Fig. 2 Dyadic Decomposition

基。在多维情况下,  $L^2(R^d)$  的小波基通过单变量函数的可分离乘积来构造。正交小波多分辨率理论明确地指出共轭镜像滤波器完全刻画了标准正交小波而且快速离散小波变换可以通过级联这些共轭镜像滤波器来实现。这样, 多分辨率分析下的规范正交小波基理论与滤波器理论融合在一起从此使得数字信号处理与调和分析有了紧密的结合。试验中选用双正交小波, 所采用的低、高通滤波器分别为:

$\text{Lo-D}[23] = \{-0.002, -0.003, 0.006, 0.006, -0.013, -0.012, 0.030, 0.023, -0.078, -0.035, 0.307, 0.542, 0.307, -0.035, -0.078, 0.023, 0.030, -0.012, -0.013, 0.006, 0.006, -0.003, -0.002\};$

$\text{Hi-D}[23] = \{0, 0, 0.002, -0.003, -0.006, 0.013, -0.012, -0.030, 0.023, 0.078, -0.035, -0.307, 0.542, -0.307, -0.035, 0.078, 0.023, -0.030, -0.012, 0.013, -0.006, -0.003, 0.002\}.$

另外, 还采用了两类提升小波。提升是对完全重构滤波器的初步修正, 用于改善小波性质, 还可引发实施滤波器组分解的快速多相位策略, 可在非平移不变区域上构造小波基。用两个提升卷积修正原始滤波器组, 可实现提升和对偶提升, 其中  $l$  和  $L$  分别是提升和对偶提升序列, 如图 3 所示。

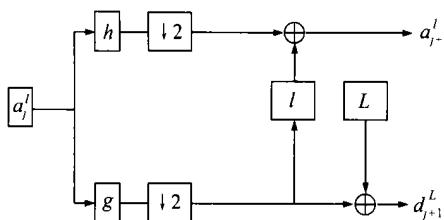


图 3 提升方法图

Fig. 3 Lifting Method

### 3 基于小波的 SAR 影像纹理分析与影像识别试验

采用广东肇庆地区 1 000 像素×1 000 像素机载雷达影像进行处理, 处理流程如下。

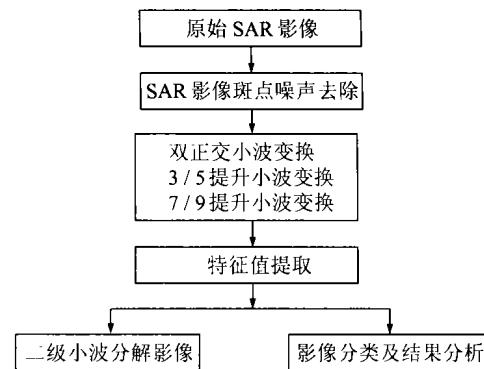


图 4 处理流程图

Fig. 4 Flow Chart of Processing

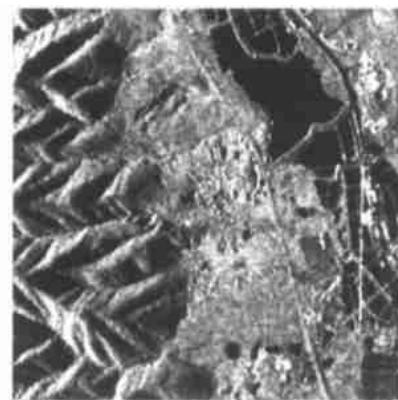


图 5 广东肇庆地区 512 像素×512 像素机载雷达去噪后影像

Fig. 5 Denoised 512×512 SAR Image of Guangdong

对广东肇庆地区 1 000 像素×1 000 像素机载雷达影像, 截取 512 像素×512 像素区域范围(图 5), 分别用 3/5 提升小波、7/9 提升小波、双正交小波进行了小波变换, 生成了小波二次分解影像图(图 6), 并以不同频带图像的能量值作为其特征值。

频带内图像的能量为:

$$e_i = (\sum \sum |x(i,j)|^2) / M^2$$

式中,  $x(i,j)$  是频带图像的像素值;  $M \times M$  为频带图像的大小。二次分解各频带图像的能量特征值见表 1。

表 1 小波二次分解特征值

Tab. 1 Eigenvalues of Wavelet Transform

特征值	变 换		
	3/5 提升 小波	7/9 提升 小波	双正交 小波
二层低频 $e_1$	254.945	126.440	49.534
二层垂直 $e_2$	17.107	10.910	3.772
二层水平 $e_3$	12.118	10.852	2.622
二层对角 $e_4$	7.447	6.007	1.561
一层垂直 $e_5$	4.124	2.291	1.486
一层水平 $e_6$	2.954	2.649	1.057
一层对角 $e_7$	1.592	1.103	0.517



图 6 双正交小波二次分解影像图

Fig. 6 Biorthogonal Wavelet Dyadic Decomposed Image

本试验在肇庆机载 SAR 影像上, 经重采样选取了 4 个已知类别, 图像大小为 64 像素  $\times$  64 像素, 8 bit 灰度图。每种类别又提取了 2~6 个样本, 该类别纹理图像的特征值  $W$  由所选的同样本小波二层分解变换相应频带图像特征值求平均得到(图 7)。对二层分解的 7 幅不同尺度、不同方向的小波变换图像进行能量计算, 获取了 7 个能量值作为特征值参与分类计算。同时, 在该地区影像上另外选择了 85 个区域作为未知区重采样, 图像大小为 64 像素  $\times$  64 像素, 8 bit 灰度图。经过小波二层分解变换, 提取了相应的 7 个能量值作为特征值  $x$ 。

在试验中, 还采用了距离分类器  $d_i = \|w_i - x_i\|$ , 将已知区域各频带上的特征值与未知区域相应频带的特征值相减后取绝对值求和。若  $d_k = \min\{d_i\}$ , 则判定  $x$  属于特征向量为  $w_k$  的第  $k$  类。设图像的小波分解层次为  $L_1, L_2$  层, 试验中用不同层次的特征值进行了识别, 得到了分类的结果(表 2 中的数字代表正确率(%))。表 3 给出了双正交小波变换 7 个特征值参与分类的各个类别的试验结果。

表 2 不同小波不同特征值 SAR 影像分类精度

Tab. 2 Classification Precisions of the SAR Image on Different Wavelets and Different Eigenvalues

变 换	参加分类特征值的正确率/%		
	$L_1, L_2$ 8 个特征值	$L_2$ 4 个特征值	$L_1$ 4 个特征值
3/5 提升小波	89.7	85.2	84.7
7/9 提升小波	90.1	86.1	86.2
双正交小波	90.6	86.6	86.3

通过以上试验可以看出, 对 SAR 影像进行小波变换, 可得到多种尺度的纹理信息, 用它来识别 SAR 影像, 可以得到较好的识别效果。识别精度

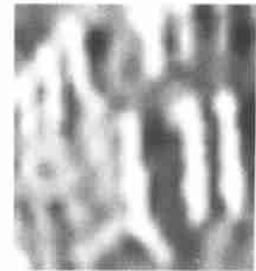
表 3 双正交小波变换分类结果

Tab. 3 Experimental Result of Biorthogonal Wavelet

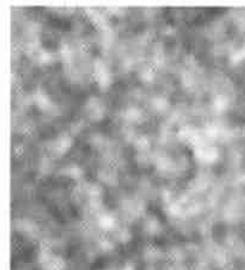
类别	试验区个数	错判个数	正确率/%	带权平均精度
山地	30	2	93.3	
居民地	10	2	80	
旱地	30	3	90	90.57
水塘	15	1	93.3	



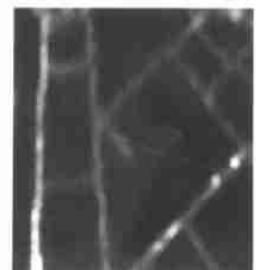
(a) 山地样本



(b) 居民地样本



(c) 旱地样本



(d) 水塘样本

图 7 分类目标样本影像

Fig. 7 Sample Images of Classified Objects

与采用的小波变换有关, 小波基的长度越长, 分类精度越高, 但计算量也越大。小波分解各层次图像对分类正确率的影响也不相同, 在进行处理时, 要注意正确选择。取第一、二层的特征进行分类, 可使分类正确率高于 90%, 但高于第三层后正确率开始下降, 这说明分类层次并非越多越好。分解层次太高, 会使小波变换产生边界效应, 从而影响分类的正确率。

## 参 考 文 献

- 杨绍园. 分形多尺度纹理图像分割. 模式识别与人工智能, 1989, 11(3): 347~350
- 陈哲. 基于小波分形特征提取的图像分割方法. 中国图像图形学报, 1999, 12(4): 1 072~1 075
- 付新文. 基于小波生成特征符号随机场的纹理匹配与分类. 中国图像图形学报, 1993, 4(3): 243~247
- 黄胜华. 基于非乘积型小波的纹理分析. 中国图像图形学报, 1998(3): 750~752
- 胡召玲. 基于小波分解的星载 SAR 图像纹理信息提取. 遥感学报, 2001, 5(6): 423~427
- Mallat S. 信号处理的小波导引. 杨力华, 戴道清, 黄文良, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2002
- 陈武凡. 小波分析及其在图像处理中的应用. 北京: 科学出版社, 2002

第一作者简介: 倪玲, 副教授。主要从事遥感影像处理方面的研

究工作。

E-mail: niling98@yahoo.com.cn

## SAR Image's Texture Analysis Based on Wavelet

NI Ling<sup>1</sup> ZHANG Jianqing<sup>1</sup> YAO Wei<sup>1</sup>

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University,  
129 Luoyu Road Wuhan 430079, China)

**Abstract:** By using wavelet theory, texture measure can be presented in different scales and details. The method gives us a new way of image recognition on texture. This paper introduces the wavelet analysis method for extracting the texture of SAR image. Four kinds of image texture samples are selected from aerocraft SAR image, three kinds of wavelet transform (3/5 waveform lifting, 7/9 waveform lifting, biorthogonal wavelet) are used in the dyadic wavelet transform for SAR image, and minimum distance classification method based on wavelet character coefficients is used to classify image texture. The experiment shows that the target textual information can be effectively extracted by using wavelet transform.

**Key words:** wavelet; SAR image; texture analysis

**About the first author:** NI Ling, associate professor. She is concentrated on the research in remote sensing.

E-mail: niling98@yahoo.com.cn

(责任编辑: 光远)

## 数字近景摄影测量学术研讨会征文通知

为了适应并进一步推动当前数字近景摄影测量的发展,“数字近景摄影测量学术研讨会暨数字近景摄影测量技术培训班”拟于 2004 年 6 月中旬在武汉大学举行。研讨会将就数字近景摄影测量领域当前研究的热点问题开展深入广泛的交流和讨论,届时将特邀著名学者和专家就相关领域的最新研究动态和热点问题作主题演讲,并对我国当前该领域的最新研究成果和产品进行现场演示。研讨会主题包括以下内容:数字近景摄影测量发展动态;数码相机检校;摄影全站仪;动态目标姿态测定;工业测量;古建筑物、古文物数字重建与保护;房产测量与数码城市建模;激光扫描测量系统及其应用;三维可视化;其他。

来稿请发往以下电子邮箱: lm-liu69@sohu.com, shfang963@sina.com, syzheng@263.net