

文章编号: 1000-050X(2000)04-0334-37

# 基于分形理论的 SAR 图像边缘检测

巫兆聪<sup>1</sup> 方圣辉<sup>1</sup>

(1 武汉测绘科技大学信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

**摘要** 分析了 SAR 图像的基本特点, 阐述用 DFBR 模型表达 SAR 图像的基本原理, 提出两种基于分形理论的 SAR 图像边缘检测方法。通过对传统方法、分形方法和多尺度分形方法的特性分析和实验, 说明分形方法有较强的抗干扰性能, 适用于 SAR 图像的边缘检测, 并且基于多重分形的方法能获得更好的检测结果。

**关键词** SAR 图像; 边缘检测; DFBR 场模型; 多尺度分形

**分类号** P231.5; TP751.1 **文献标识码** A

边缘检测是各类图像分析与应用中的一个重要研究内容。对于 SAR 图像, 由于传感器本身固有的特性, 普遍存在图像边缘模糊、噪声较大的缺点。经典的边缘检测方法大都考察图像中各个像素点邻域内的灰度变化, 利用边缘邻近一阶或二阶方向导数的变化规律来检测边缘, 其中引入了梯度运算, 因而对噪声极为敏感, 常将噪声误检为边缘, 难以获得较好的结果。

分形几何为图像几何特征的描述开辟了一个新途径。PentLand 的研究证明, 自然界大多数景物表面是空间各向同性的分形, 它们的表面映射成的灰度图像是具有分形特性的分形灰度表面; 而各向同性的分数布朗随机场模型(FBR)是描述自然景物的有效方法之一, 同一图像区域的灰度表面具有统计意义上的自相似性, 通过对其 FBR 模型参数的提取和研究, 可以获得图像许多重要的几何参数<sup>[1]</sup>。然而, 在不同图像区域的交界处, 这种分形的一致性将被破坏, 在此求出的分形参数  $H$  值将会超出其理论取值范围(如用 DFBR 描述图像灰度表面, 其分形参数  $H$  的理论取值范围应为  $0 < H < 1$ ), 正是这些  $H$  值发生奇异的地方预示了不同区域的交界位置。因此, 通过对  $H$  值的计算和分析, 可以检测出图像中的边缘<sup>[2]</sup>。本文采用 DFBR 场模型作为描述图像区域的数学模型, 据此定义一种新的分形参数  $H$  值的计算方法, 分析探讨边缘处  $H$  值的奇异性, 并将它用于 SAR 图像边缘的检测实验。

## 1 图像区域的 DFBR 场模型

定义 1 设  $H$  满足  $0 < H < 1$ ,  $b_0$  为任意实数, 若随机函数满足:

$$B_H(0, \omega) = b_0$$
$$B_H(t, \omega) = \frac{1}{\Gamma(H + \frac{1}{2})} \cdot \left\{ \int_{-\infty}^0 [(t-s)^{H-\frac{1}{2}} - (-s)^{H-\frac{1}{2}}] dB(s, \omega) + \int_0^t (t-s)^{H-\frac{1}{2}} dB(s, \omega) \right\} \quad (1)$$

则称  $B_H(t, \omega)$  为分数布朗运动。其中  $H$  为分形参数,  $H = 1/2$  时,  $B_H(t, \omega)$  为普通布朗运动,  $\omega$  为样本空间  $\Omega$  的样本。

定义 2 设  $B_H(x)$  为一高斯随机场, 对于  $0 < H < 1$ , 若满足

$$P_Y \left\{ \frac{B_H(x + \Delta x) - B_H(x)}{\|\Delta x\|^H} < Y \right\} = F(Y) \quad (2)$$

则称  $B_H(x)$  为分数布朗随机场。其中  $P_Y(\cdot)$  表示概率测度;  $\|\cdot\|$  表示范数;  $H$  为 Hurst 分形指数。

定义 3 若  $x$  与  $\Delta x$  取离散值为  $n$  和  $m$ , 则称  $c(n, m) = B_H(n) - B_H(n, m)$  为离散分数布朗随机场(即 DFBR 场)。

由上述定义可知, 分数布朗随机场是非平稳的, 而对应的离散增量(即 DFBR 场)则具有统计平稳自相似性, 即 DFBR 场满足:

$$E\{ | B_H(n+m) - B_H(n) | \} =$$
$$E\{ | B_H(n+E) - B_H(n) | \} \cdot \|m\|^H \quad (3)$$

$$E\{|B_H(n+m) - B_H(n)|^2\} = E\{|B_H(n+E) - B_H(n)|^2\} \cdot \|m\|^{2H} \quad (4)$$

式中,  $E$  为单位矢量。由上式看出, DFBR 场的一、二阶绝对矩是各向同性的。DFBR 场模型是描述自然景物自相似性的一种有效模型, 其局部统计特性有效地吻合图像区域的局部统计特性<sup>[3]</sup>。因此, 用 DFBR 场模型作为描述图像区域的数学模型,  $H$  参数能够表征同一图像区域的自相似性(即灰度表面的均匀程度), 对应的图像区域灰度表面的分形维数  $D$  可由  $H$  参数获得:

$$D = D_T + 1 - H \quad (5)$$

式中,  $D_T$  为图像区域的拓扑维数,  $D_T = 2$ 。

## 2 图像边缘的分形检测

用 DFBR 场模型描述图像,  $H$  参数表征图像区域灰度场的自相似性, 而在图像区域的交界处将不再具有这种自相似性,  $H$  参数出现奇异, 这种奇异性正好可以用于边缘检测。对于不同的  $H$  参数估计方法, 其奇异性在边缘处表现形式各异, 边缘检测效果亦不相同。因此, 寻找一种抗干扰性能好、又不遗失重要边缘细节的  $H$  参数估计方法是图像边缘分形检测的关键。

### 2.1 $H$ 参数的定义

设图像区域的灰度表面满足 DFBR 场模型,  $I(x_0, y_0)$  表示图像中  $(x_0, y_0)$  处的灰度值, 由 DFBR 场模型的性质得:

$$E\{|I(x, y) - I(x_0, y_0)|\} = E\{|I(x_1, y_1) - I(x_0, y_0)|\} \Delta\gamma^H \quad (6)$$

式中,  $\Delta\gamma = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$ ;  
 $\sqrt{(x_1-x_0)^2 + (y_1-y_0)^2} = 1$ 。

若定义

$$\gamma = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$$

$$\Delta I(\gamma) = |I(x, y) - I(x_0, y_0)|$$

则上式可改写成:

$$E\{\Delta I(\gamma)\} = E\{\Delta I(1)\} \cdot \gamma^H, \quad \gamma > 1$$

两边同取对数得:

$$H(\gamma) = \frac{\log E\{\Delta I(\gamma)\} - \log E\{\Delta I(1)\}}{\log(\gamma)} \quad (7)$$

由 DFBR 场模型的定义及性质可知, DFBR 场为平稳过程, 满足均值历经性, 则有:

$$\langle \Delta I(\gamma) \rangle = \frac{1}{N_{\gamma}} \sum_{\gamma} \Delta I(\gamma) = E\{\Delta I(\gamma)\} \quad (8)$$

式中,  $N_{\gamma}$  为到点  $(x_0, y_0)$  之间距离为  $r$  的像素点

数。式(8)可改写为:

$$H(\gamma) = \left[ \log \frac{1}{N_{\gamma}} \sum_{\gamma} |I(x, y) - I(x_0, y_0)| - \log \frac{1}{N_{\gamma}} \sum_{\gamma} |I(x, y) - I(x_0, y_0)| \right] \log(\gamma) \quad (9)$$

### 2.2 $H$ 参数的估计

$H$  参数可直接按式(9)计算, 按最小二乘法拟合数据点对, 由拟合直线的斜率即可求出  $H$ 。显然, 这一计算过程需逐点判断距离, 操作较繁琐。

为简化计算, 可设置  $n \times n$  矩形移动窗口, 在计算  $H$  参数时, 仅计算  $n \times n$  窗口边界像点与中心像点  $(x_0, y_0)$  之间的灰度级差值的绝对值均值。其中, 当  $n$  取值较大时, 边缘检测的结果将遗漏较多的重要细节, 且检测的边缘也较粗; 当  $n$  取值较小时, 抗干扰性能较差。一般情况下, 取  $n$  为 3 或 5 较合适。

### 2.3 单一分形维数的边缘检测准则

由图像区域的 DFBR 场模型假设及  $H$  参数的估算方法可知: 当  $(x_0, y_0)$  位于区域内部时, 分形参数估值应在 0 与 1 之间, 即  $0 < H < 1$ , 而局部分形维数  $D$  则介于 2~3 之间; 若  $(x_0, y_0)$  位于图像区域的边缘处, 分形参数估值将超出其理论范围  $(0, 1)$ , 即  $H < 0$  或  $H > 1$ 。

因此, 相应的边缘检测准则可定义为:

$$\begin{cases} I(x_0, y_0) = 0 & , \quad 0 < H(\gamma) < 1 \\ I(x_0, y_0) = 1 & , \quad \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

亦即, 当  $0 < H < 1$  时,  $(x_0, y_0)$  为非边缘, 对应边缘影像像素取值为 0; 当  $H > 1$  或  $H < 0$  时,  $(x_0, y_0)$  为边缘, 对应边缘影像像素取值为 1。

### 2.4 多尺度分形维数的边缘检测准则

一个理想的分形体应在所有的尺度上均满足自相似性, 分形维数与尺度无关。然而对于自然景物或人造物体的图像, 理论分析与计算机仿真均表明, 图像是由一些只在有限范围尺度上具有自相似性的灰度图像曲面组成的, 相应的分形维数只有在较小的范围内才具有稳定性, 即分形维数是随着尺度的改变而改变的。由于图像边缘点处灰度变化剧烈, 不具有自相似性, 不满足分形特性, 因此, 提取出来的边缘点处分形维数随尺度的变化应当大于非边缘点处。利用灰度图像边缘点与非边缘点处分形维数随尺度变化的大小差异即可进行边缘检测。具体操作步骤为:

- 1) 计算多种尺度 ( $n = n_1 \sim n_2$ ) 下的分形参数值  $H$  (可取  $n_1 = 3, n_2 = 5$ );
- 2) 获得不同尺度下分形参数的差值矩阵  $D$ ;
- 3) 对分形参数差值设置阈值获得边缘灰度

图像;

4) 阈值的选取可依经验选定或用简单的直方图分析方法获得。

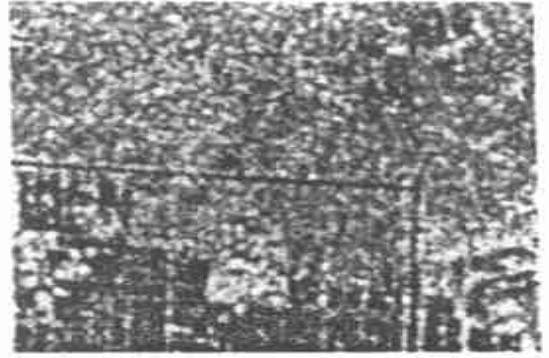
### 3 实验结果及分析

实验选择武汉地区的一幅 SAR 影像 (256×256), 见图 1(a), 影像区域内含居民地、耕地等多种土地利用类别。对这幅影像利用传统的 Sobel、Prewitt 及单一分形和多尺度分形方法进行了边缘检测。

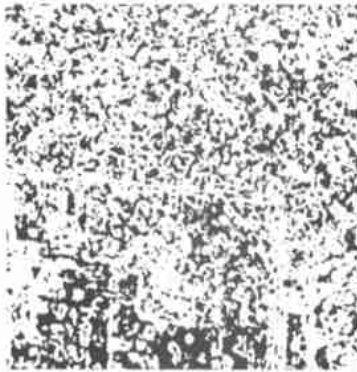
Sobel、Prewitt 为经典的边缘检测算子, 它们的计算方法简单、快速, 但对噪声较为敏感, 在实验用原始 SAR 影像未经降噪处理, 存在较多斑点噪声的情况下, 检测效果较差。两种方法的检测结果都将大量的噪声误检为边缘, 影像中大部分的像素被检测为边缘像素, 以致难以有效地进行后续的边缘提取, 见图 1(b)、图 1(c)。应该说明的是, 边缘检测也可以在降噪处理后进行, 但目前各种去噪方法对 SAR 影像的去噪声效果不甚理想, 因此, 其效果亦不会太好。分形方法相对来说计算量大一些, 但经简化以后的算法, 计算量已经明显减小, 计算速度仍较快。单一的分形方法由于引入了相似性度量, 其抗噪声干扰能力获得明显的加强, 检测结果排除了多数斑点噪声的影响, 见图 1(d)。对于简化算法, 其尺度是单一的, 因此, 移动窗口的大小  $n$  的选取极为关键。多尺度分形方法从多尺度角度考察灰度图像的自相似性, 其抗噪声干扰能力获得进一步的加强, 检测结果受噪声的影响较少, 见图 1(e), 其计算相对来说较为复杂, 在边缘点判断标准上, 阈值选取结果的好坏将影响边缘检测的结果。

#### 参 考 文 献

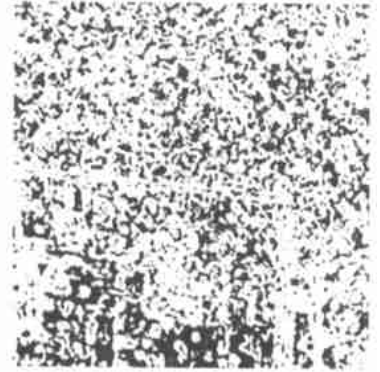
- 1 Pentland. Fractal Based Description of Natural Sciences. IEEE Transon PAMI, 1984, 6(6): 661 ~ 673
- 2 Chen C C, Daponte J S, Fox M D. Fractal Feature Analy-



(a) 原始输入图像



(b) Sobel 算子检测结果



(c) Prewitt 算子检测结果



(d) 分形方法检测结果



(e) 多尺度分形算法检测结果

图 1 实验结果

Fig. 1 Image and Result of Edge Detection

sis and Classification in Medical Imageing, IEEE Transon Medical Imaging, 1989, 8(2): 133 ~ 142

- 3 薛东辉, 朱耀庭, 朱光熹, 等. 基于 DFBR 场的图像边缘提取的一种新方法. 信号处理, 1996, 12(1): 7 ~ 11

巫兆聪, 男, 31 岁, 助理研究员。现从事数字摄影测量研究。代表成果: 基于分形理论的地形分析技术。

E-mail: wuzc@wtusm.edu.cn

## Edge Detection of SAR Images Based on the Fractal Theory

WU Zhaocong<sup>1</sup> FANG Shenghui<sup>1</sup>

(1 School of Information Engineering, WTUSM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

**Abstract** After discussing the SAR images' properties and the principles of image description with discrete Fractional Brownian incremental random field model (DFBR model), this paper presents two new methods of edge detection for SAR images based on the Fractal theory.

It is known that the Fractal Brownian random model is valid to describe the image of nature scene. In one tiny region of image, the gray surface is self similar to statistics. But for the edge points, the point located in the boundaries between adjacent regions, this property will be lost. And the Fractal parameters of these points will be out of range. So we can determine whether the point of image is edge point via calculating its Fractal parameters. A new fast method to calculate the Fractal dimension and the principles of determining edge point based on single Fractal dimension are discussed in this paper.

Moreover, the Fractal parameters of image points must not depend on the scale. But for the edge points, because they have lost the self similar, their Fractal parameters will change more quickly with the scales than the other points. So we can estimate the points' Fractal parameters in different scales and calculate their difference matrix (edge magnitude map). Then we can obtain binary edge image by thresholding this edge map.

In the end, the authors present experimental results of edge detection of a SAR images with the Sobel operator, the Prewitt operator, and these two methods are mentioned above. After analyzing the experimental results in detail, the authors draw the conclusion: these two new methods have better ability to anti noise for SAR images edge detection. And the second method, the Multi-fractal Method, get better results of edge detection than the first method, the single fractal method.

**Key words** SAR image; edge detection; DFBR model; multifractal dimension

---

WU Zhaocong, male, 31, associate researcher. He is concentrated on the research and education in digital photogrammetry. His typical work is in the areas of theories and methods for terrain analyses based on the Fractal theory.

Email: wuzc@wtusm.edu.cn

### 欢迎订阅《测绘软科学研究》

《测绘软科学研究》是国家测绘局主管、黑龙江测绘局主办的全行业理论性刊物,由国家测绘局经济管理科学研究所承办。创刊以来,为宣传党和国家有关测绘事业的方针政策,交流测绘软科学研究的成果和经验,推动测绘事业的发展做出了积极的贡献。

《测绘软科学研究》由邮局发行,每册 3 元,全年 12 元,邮发代号 14-277。如错过征订时间,可直接与编辑部联系。

地址:哈尔滨市南岗区保健路铁三街 2 号,黑龙江测绘局院内

邮编:150086 电话:0451-6664797