

文章编号: 1005-8893 (2004) 01-0053-03

利用各向异性扩散去除 SAR 图像中的斑点噪声

石澄贤¹, 王洪元²

(1. 江苏工业学院 信息科学系, 江苏 常州 213016; 2. 江苏工业学院)

摘要: 合成孔径雷达 (SAR) 图像受到相干斑点噪声的干扰, 严重影响合成孔径雷达图像的质量。我们利用各向异性扩散方程抑制合成孔径雷达 (SAR) 图像中的斑点噪声, 只要选择合适的扩散方向和速度, 就能较好地保留图像的边缘和细节信息。最后对合成孔径雷达图像进行去噪实验, 并与小波去噪滤波方法进行比较, 各向异性扩散方程具有更好的抑制噪声的效果。

关键词: 合成孔径雷达图像; 斑点噪声; 非线性扩散

中图分类号: TP 391

文献标识码: A

合成孔径雷达 (SAR) 以其全天候、多视角及对一些地物的穿透性能等优点得到愈来愈多的应用。当 SAR 发射的相干电磁波照射目标时, SAR 图像上会产生相干斑点噪声, 使图像的质量变得较差, 图像的判读和后续处理出现困难, 严重时不能正确地反映地面目标特征。因此在 SAR 图像中, 消除斑点, 保持目标散射特性的空间分布特性是非常重要的。改善和滤除斑点噪声影响的技术手段基本上可分为两类: 一类是成像前的多视平滑预处理, 其最大缺陷是会损害像元空间分辨率。另一类是成像后的去斑点噪声滤波技术。这又可分为: ①空间滤波技术; ②频域滤波技术。在 SAR 图像去噪的研究中, 斑点噪声在理论上被认为是一种与信号有关的乘性噪声, 斑点噪声通常表示为非相关的乘性噪声模型。因此 SAR 观测数据可表示为 $u_0 = u + G \times u$ 。式中 u_0 为观测数据, u 为理想的图象亮度值, G 为与 u 相对独立的斑点噪声随机变量。本文提出的算法属于成像后的滤波技术。把图像作为一个二元函数, 采用各向异性扩散的方法对 SAR 噪声图像进行滤波, 去除图像中的斑点噪声。

1 非线性扩散滤波

基于偏微分方程 (PDE) 的处理图像^[1,2]的方法有了令人激动的发展。在图像去噪、增强、除模

糊和分割等方面都有专门的方法。基于 PDF 处理图像能具有保持图像边缘、细节。数值计算精确和稳定。用于图像除噪声和模糊的最广泛的变分模型是总变差极小。这一方法第一个提出的是 Osher 和 Rudin^[1], 把图像作为一个二元函数, 且认为这个函数大致是分片光滑和一些重要数据 (如边缘) 是不连续的。而有界变差空间中极小化的结果允许有不连续且是保护尖点边界的。Perona and Malik^[2]给出了一个推广的非线性扩散滤波模型。最早的正则化模型之一是有 Catté, Lions, Morel 和 Coll^[3]提出的。下面我们要涉及的是 Aubert G. 和 Vese L.^[4]提出的正则化模型。设受噪声污染退化的初始图像 u_0 , 问题是要从 u_0 重建没有噪声污染的图像 u 。

设 u 是一个定义在开集 Ω 上的一个实数函数 ($\Omega \subset \mathbb{R}^2$, 一般 Ω 取矩形区域)。

$$u_0 = K \times u + \eta \quad (1)$$

其中 K 为线性算子, η 为随机噪声。

$$\min_u \int_{\Omega} \phi(|\nabla u|) d\Omega + \frac{1}{2} \alpha \int_{\Omega} (Ku - u_0)^2 d\Omega \quad (2)$$

$\phi: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^+$ 为偶函数。因为 SAR 图像斑点噪声是一种乘性噪声, 故取 $\alpha=0$ 。设 $g(r) = \frac{\phi'(r)}{r}$,

收稿日期: 2004-02-24

作者简介: 石澄贤 (1961-), 男, 江苏无锡人, 副教授, 感兴趣的研究方向: 模式识别和图像处理。

式(2)泛函的最小化可以经梯度流达到,这样得到欧拉-拉格朗日方程。

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \operatorname{div} (g(|\nabla u|)) \nabla u \\ u(x, y, 0) = u_0(x, y) \end{cases} \quad (3)$$

同时在边界上满足均匀 Neumann 边界条件。这里 u_0 是观测数据构成的图像, ∇ 是梯度算子, $|\cdot|$ 为向量的模。

注意到方程(3)可表为

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla g(|\nabla u|) \cdot \nabla u + g(|\nabla u|) \cdot \Delta u \\ u(x, y, 0) = u_0(x, y) \end{cases} \quad (4)$$

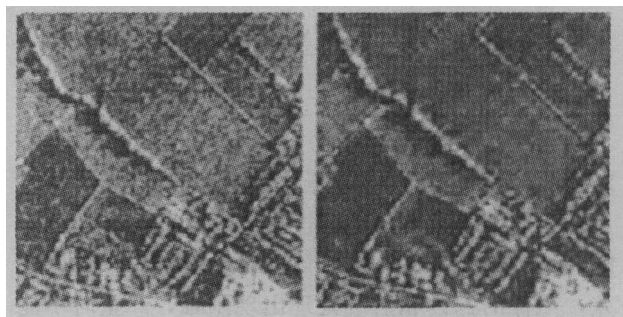
其中 Δ 为拉普拉斯算子。 $|\nabla u|$ 当较大时,对应的点为边缘的可能性大。此时若 $g(|\nabla u|)$ 有小的值, $g(|\nabla u|) \Delta u$ 的扩散流动就慢,说明在图像的边缘特征上扩散就停下来, $\nabla g(|\nabla u|) \cdot \nabla u$ 表现出在图像边缘上有自聚集特性,也就是加强边缘。因此我们说 $g(|\nabla u|)$ 具有边缘停止的性质,这也是各向异性扩散方程既能除噪又能加强边缘特征的本质所在。为了既能除噪又能保持图像的细节和边缘,选择合适的扩散系数是非常重要的。我们想要保护边缘和细节,就要求在边缘处 $g(x)$ 接近于零。一般认为梯度模大时为图像的边缘,这就要求 $g(x)$ 在图像梯度模大时接近于零。在图像均匀区域要求有较快的扩散速度,平滑区域来去除噪声,要求 $g(x)$ 在图像梯度模为零时接近于1。扩散方程(3)可取为如下函数:

$$\phi(z, c_1, c_2) = \begin{cases} \frac{z^2}{2c_1}, & |z| < c_1 \\ |z| - \frac{c_1}{2}, & c_1 \leq |z| \leq c_2 \\ \frac{z^2}{2c_2} - \frac{c_2 - 1/c_1}{2}, & |z| > c_2 \end{cases} \quad (5)$$

这样,当 $|\nabla u| < c_1$, 非线性扩散方程(3)为各向同性扩散,若 c_1 小于1,扩散速度是大于1的。当 $|\nabla u| > c_2$ 时非线性扩散方程(3)为各向同性扩散,因为 c_2 取较大的值,这时扩散速度是很小的,对边缘不会产生多大影响。否则为各向异性扩散,根据梯度的大小,沿着与梯度正交的方向作扩散。扩散方程(3)的数学性质有很多研究结果,它的数值解可利用欧拉方法进行求解。

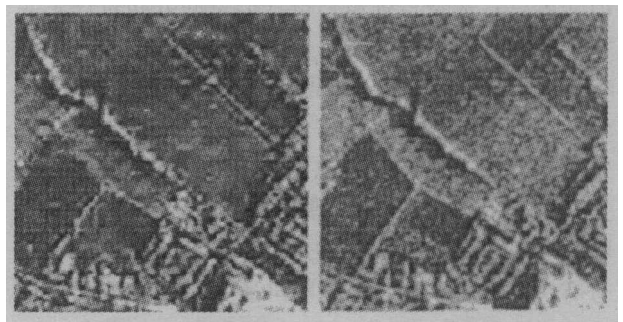
2 实验结果及比较

下面就非线性扩散滤波与小波阈值滤波作一下实验数据比较。试验选取一幅星载 SAR 图像的局部部分,图像灰度级为每像素 8bit。图 1(a)为原始的 SAR 图像^[5]。如图 1 所示从目视效果来看,图 1(b)(c)采用小波阈值滤波算法^[5,6]滤波后基本消除了小的斑点,能保持一定的图像边缘,但细节和边缘受到模糊和丢失,产生了新的摄动严重干涉图像;图 1(d)利用非线性扩散滤波,式(5)中取 $c_1 = 0.0045$, $c_2 = 220$, 图像的斑点噪声已基本消除且图像细节、边缘保持较好,具有良好的视觉效果。当时间 t 趋向无穷大时,非线性扩散方程(3)的数值解趋向于常数。



(a) SAR 图像原图

(b) 小波硬阈值除噪



(c) 小波软阈值除噪

(d) 本文非线性扩散滤波

图 1 SAR 图像滤波结果

定量地评价 Speckle 滤波效果从两个方面考虑:①滤波对斑点噪声的抑制能力;②滤波保留边缘和细节信息的能力。可以用图像灰度值的均值 μ 、相对标准差 $=\sigma/\mu$ 以及有效视数 =

$\frac{1}{\overline{u^4}/(\overline{u^2})^2 - 1}$ 综合衡量斑点噪声滤波效果^[7]。其中 σ 为图像灰度值的标准差 u 为图像灰度值, $\overline{u^4}$, $\overline{u^2}$ 分别为 u^4 , u^2 的均值。均值反映图像灰度亮度。相对标准差反映了图像的灰度动态变化范围,反映平滑噪声的能力。有效视数反映去除斑点噪声的能力。相对标准差小图像平滑效率高,有效视数大去除斑点噪声的能力强。当然还要看保持图像边缘和

细节的能力。表 1 是小波阈值滤波和本文非线性扩散滤波的平滑指数。

表 1 不同滤波方法去 Speckle 能力比较

	原图	小波硬阈值	小波软阈值	本文方法
均值	0.595 3	0.533 2	0.524 5	0.591 0
相对标准差	0.241 8	0.254 9	0.288 4	0.223 7
有效视数	3.921 1	3.144 5	2.418 6	4.618 6

从表 1 可以看出,小波硬、软阈值滤波结果的均值略要小一点,相对标准差不降反升,因均值变小,标准差变化不大,说明在去除噪声的同时又产生了新的摄动。有效视数也下降,说明斑点噪声仍然存在,从图像上可以明显看到,图像边缘和细节较难分清楚。本文提出的算法均值基本不变,相对标准差变小,也就是标准差变小了。因为各向异性扩散在对图像平滑的同时增强边缘,这有别于一般的仅作平滑的去噪方法。说明图像在均匀区域得到了较大的平滑。有效视数有较大提高,说明斑点噪声得到很好抑制。利用非线性扩散滤波对斑点噪声滤波在处理单视数 SAR 图像时优于其他两种滤波算法。利用非线性扩散滤波虽然能较好地保持边缘、去除 Speckle 噪声,但对图像的细节仍有平滑作用,会丢失一部分图像细节。

3 结 论

本文依据非线性扩散原理,选择合适的扩散系数对 SAR 图像进行滤波和增强。真实 SAR 图像处

理结果证明,该算法在目视效果、斑点噪声抑制和细节保护这两个方面获得了比小波阈值滤波方法更好的效果。应该指出的是本算法还有待根据 SAR 图像的特点进一步完善和发展。

参考文献:

[1] Rudin L, Osher S, Fatemi E. Nonlinear Total Variation Based Noise Removal Algorithms [J]. Physica D, 1992, 60: 259-268.

[2] Perona P, Malik J. Scale-space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion [J]. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell, 1990, 12 (7): 629-639.

[3] Catte F, Lions P L, Morel J M, et al. Image Selective Smoothing and Edge Detection by Nonlinear Diffusion [J]. SIAM J Numer Anal, 1992, 29 (1): 182-193.

[4] Aubert G, Vese L. A Variational Method in Image Recovery [J]. SIAM J Numer Anal, 1997, 34 (5): 1 948-1 979.

[5] 郭小卫,田铮. 基于小波域边缘方向的 SAR 图像噪声抑制方法 [J]. 中国图象图形学报 (A), 2003, 8 (4): 453-458.

[6] Marc S, Gianfranco DeGrandi, Thomson K P B, et al. Analysis of Speckle Noise Contribution on Wavelet Decomposition of SAR Images [J]. IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36 (6): 1 953-1 962.

[7] Wakabayashi H, Arai K. A Method of Speckle Reduction for SAR Data [J]. Remote Sensing, 1996, 17 (10): 1 837-1 849.

Speckle Noise Filtering on SAR Images with Anisotropic Diffusion

SHI Cheng-xian¹, WANG Hong-yuan²

(1. Department of Information Science, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China; 2. Jiangsu Polytechnic University)

Abstract: Synthetic Aperture Radar (SAR) images are usually corrupted by speckle noise. A method that uses the anisotropic diffusion to suppress the speckle noise in Synthetic Aperture Radar images is presented. The diffuse coefficients are selected so that the edge information and local detail in images can be well preserved. And this method is compared with the wavelets filter. The numerical results of the application to SAR images demonstrate the good performance of anisotropic diffusion filtering.

Key words: SAR image; speckle noise; anisotropic diffusion