

自适应边缘保护的 SAR 图像降斑算法

李富城, 周利莉, 李 磊, 闫 斌

(解放军信息工程大学信息工程学院, 郑州 450002)

摘要: 针对以往 SAR 图像相干斑抑制算法中存在的难以兼顾均匀区域平滑和边缘细节保护的不足, 提出一种自适应边缘保护的 SAR 图像降斑算法。采用方差系数、均值比值和空间相关性等信息作为滤波器权重分配因子。实验结果表明, 综合运用以上 3 种图像的局部邻域信息, 该算法在均匀区域平滑和边缘保护两方面都有较好的效果。

关键词: SAR 图像; 相干斑抑制; 边缘保护

Adaptive Edge-preserving Algorithm for SAR Image Despeckling

LI Fu-cheng, ZHOU Li-li, LI Lei, YAN Bin

(Institute of Information Engineering, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450002)

【Abstract】To solve the shortage of the existing despeckling algorithms which can not suppress the noise and preserve the edge at the same time, an adaptive edge-preserving algorithm for Synthetic Aperture Radar(SAR) image despeckling is proposed. Relative deviation, ratio of averages and spatial correlation of pixels are applied to distribute the weight for the filter. Due to the use of the three kinds of local information synthetically, experimental results show that better performances are achieved both in area smoothing and edge preserving.

【Key words】 Synthetic Aperture Radar(SAR) image; speckle reduction; edge preserving

1 概述

合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)是一种高分辨率成像雷达, 以其全天候、全天时等优越性被广泛用于军事和国民经济的诸多领域。目标散射信号之间的干涉作用在 SAR 图像中所产生的相干斑点噪声严重影响了 SAR 图像的辐射分辨率, 给 SAR 图像的分析 and 自动解译带来很大的困难。因此, 抑制 SAR 图像中的相干斑点噪声有着十分重要的意义^[1]。

目前, 研究人员已经在相干斑处理方面提出了很多的算法, 主要可分为 2 类: 一类是成像前的多视处理; 一类是成像后滤波技术, 包括空间滤波技术和频域滤波技术。另外还有一些基于新兴数学工具的相干斑抑制算法: 基于多尺度几何变换, 基于偏微分方程和基于独立分量分析等。在这些抑制算法中, 空域滤波技术的应用最为广泛, 主要有基于线性最小均方误差的 Lee 算法^[2]、Kuan 算法^[3]、基于最大后验概率的 GammaMap 算法^[4]、同时考虑 SAR 图像相干斑纹理特性和空间相关性的 Frost 算法^[5]以及这些算法相应的改进算法等。这些空域算法易于实现, 且在均匀区域中有较好的去噪效果, 被广泛使用。但这些算法主要使用图像的方差系数作为平滑因子, 而没有充分考虑到像素其他更多的邻域信息, 对边缘和细节特征的保持则不够理想。针对上述空域相干斑抑制算法的不足, 基于图像的方差系数、均值比值和空间相关性, 本文提出一种可边缘保护的相干斑抑制算法。

2 自适应边缘保护的相干斑滤波算法

在经典的 SAR 图像局域自适应相干斑抑制算法中, 都使用了图像的方差系数作为滤波因子, 可以在均匀区域取得较好的平滑效果, 但在异质区域或边缘细节处, 模糊了边缘和细节纹理, 不能取得理想的效果。因此, 本文算法另外引入了图像的空间相关信息和均值比度量度的边缘信息来保护图

像的结构和边缘。

2.1 方差系数

方差系数可以作为 SAR 图像的纹理信息度量, 在 SAR 图像处理的各个阶段都是一种很重要的局部特征信息。方差系数的计算式为

$$C_{x,y}(R) = \frac{\sqrt{\sigma_{x,y}(R)}}{\mu_{x,y}(R)} \quad (1)$$

其中, R 为定义的像素邻域; $\mu_{x,y}(R)$ 为像素 (x,y) 处在邻域 R 中的均值; $\sigma_{x,y}$ 为像素 (x,y) 处在邻域 R 中的方差。

2.2 均值比

为得到恒定虚警率的边缘, 在 SAR 图像中采用均值比计算梯度, 度量边缘信息。针对不同方向的边缘信息, 均值比算法需要选择关于中心像素 (x,y) 不同方向上的检测模板, 然后在不同方向的模板两侧对称窗口内分别计算像素均值。通过选取均值比大的作为该方向的边缘性度量:

$$G_{x,y} = \frac{(G_{\theta_{1,x,y}}^2 + G_{\theta_{2,x,y}}^2 + \dots + G_{\theta_{n,x,y}}^2)^{\frac{1}{2}}}{N_{\theta}} \quad (2)$$

$$G_{\theta_{x,y}} = \max\left(\frac{\mu_{\theta_A}}{\mu_{\theta_B}}, \frac{\mu_{\theta_B}}{\mu_{\theta_A}}\right) \quad (3)$$

其中, μ_{θ_A} 和 μ_{θ_B} 分别为 θ 角度方向上中心像素点 (x,y) 对称两侧的邻域像素均值; $G_{\theta_{x,y}}$ 为 θ 方向上的边缘度量; $G_{x,y}$ 为像

基金项目: 河南省基础与前沿技术研究计划基金资助项目 (072300450240)

作者简介: 李富城(1984—), 男, 硕士研究生, 主研方向: SAR 图像处理技术; 周利莉, 副教授; 李 磊, 讲师; 闫 斌, 讲师、博士

收稿日期: 2009-10-20 **E-mail:** lfccandy2007@yahoo.cn

素点 (x,y) 最终的边缘度量; N_θ 为方向数。

2.3 可边缘保护的相干斑抑制算法

在文献[5]中, SAR 图像的空间相关信息和距离 d 有关, 并呈负指数关系。更进一步, 依据最小均方误差准则, 方差系数和滤波器的响应也呈指数关系。滤波算法在使用方差系数作为平滑因子时, 可以采用指数函数的形式, 同时与相干斑的乘性特性相符合。除了使用方差系数和空间相关性外, 本文还引入图像的边缘信息, 防止在平滑时模糊边缘细节。另外, 滤波算法应该有一定的稳定性。综合考虑以上因素, 本文算法的更新迭代式如下:

$$I_{x,y}^{new} = I_{x,y} + \eta_{x,y} \frac{\sum_{(i,j) \in R} \eta_{i,j} \gamma_{i,j} (I_{i,j} - I_{x,y})}{\sum_{(i,j) \in R} \eta_{i,j} \gamma_{i,j}} \quad (4)$$

其中,

$$\eta_{i,j} = e^{-\alpha c_{i,j}} \quad (5)$$

$$\gamma_{i,j} = e^{\frac{-G_{i,j} d_{i,j}}{S}} \quad (6)$$

其中, α 和 S 是调节参数; $d_{i,j}$ 为到中心像素点的距离。

本算法的性能取决于 3 个因素: 方差系数, 均值比和空间距离。首先, 方差系数作为平滑均匀区域的因素, 参数 α 为控制平滑速度因子, 该参数值越小, $c_{i,j}$ 的影响越小, 算法的平滑速度越快, 平滑效果越好, 对细节的保持作用越小; 其次, 均值比表示的边缘信息联合空间距离一方面可以辅助方差系数平滑均匀区域, 更重要的可以保护区域边缘和细节纹理。其中参数 S 决定了边缘信息保护程度。均值比只在边缘或细节部分有较大的值, 因此, 参数 S 只影响到边缘梯度较大的值。 S 越小使得边缘梯度较小的值也参与了边缘的保持, 结果是细节边缘保持越好; S 越大, 将会消除较大的边缘梯度值, 使得边缘梯度的作用减弱。

算法流程如下:

输入 待原始 SAR 图像 $I_{x,y}$

初始化: 设定参数 α, S , 方差系数的窗口尺寸 W_σ , 均值比窗口尺寸 W_E 以及滤波窗口尺寸 W_f , 迭代次数 T

步骤:

(1) 依据窗口尺寸 W_f , 计算到中心像素的距离 $d_{i,j}$ 。

(2) 依据窗口尺寸 W_σ , 对每个像素 (x,y) 计算:

$$\eta_{x,y} = e^{-\alpha c_{i,j}}$$

(3) 对于 $t \leq T$, 对每个像素 (x,y) 计算:

1) 依据窗口尺寸 W_E 计算 $G_{x,y}$;

2) 依据窗口尺寸 W_f , 在滤波窗口内计算 $\gamma_{i,j} = e^{\frac{-G_{i,j} d_{i,j}}{S}}$;

3) 更新 $I_{x,y}^{new} = I_{x,y} + \eta_{x,y} \frac{\sum_{(i,j) \in R} \eta_{i,j} \gamma_{i,j} (I_{i,j} - I_{x,y})}{\sum_{(i,j) \in R} \eta_{i,j} \gamma_{i,j}}$ 。

输出 $\hat{I}_{x,y} = I_{x,y}^{new}$

3 SAR 图像相干斑抑制性能评价方法

相干斑抑制算法的性能评价有客观和主观 2 种标准。在客观评价标准中, 衡量相干斑抑制效果应遵循 2 条原则^[6]:

(1) 衡量对相干斑的抑制程度; (2) 衡量图像细节信息的变化程度。主观评价标准可以依据紧随相干斑抑制的后期处理效果来进行评价。本文在客观评价标准中采用等效视数 (Equivalent Number of Looks, ENL) 来评价算法对区域一致性平滑的效果, 在主观标准中采用边缘检测来检测相干斑抑制

算法对边缘细节的保护。

在 SAR 图像中的均匀区域 A 内, 等效视数 ENL 的定义为

$$ENL = \frac{\mu_A^2}{\text{var}_A} \quad (7)$$

其中, μ_A^2 为图像中均匀区域 A 中像素的均值; var_A 为均匀区域 A 中像素的方差。

4 实验结果及讨论

选用 NASA/JPL 实验室 AIRSAR 系统于 1989 年 8 月 16 日获取的 L 波段荷兰 Flevoland 地区 4 视 HH 极化合成 SAR 图像的一部分, 大小为 600×500 像素。分别运用增强 Lee 算法、增强 Frost 算法和本文的相干斑抑制算法对其进行滤波处理, 为进行对比结果, 选取增强 Frost 算法参数 $\alpha=1$, 本文算法参数 $\alpha=1, S=1$, 迭代次数 $T=1$ 。滤波窗口大小全为 5×5 像素, 其结果和原图如图 1 所示。

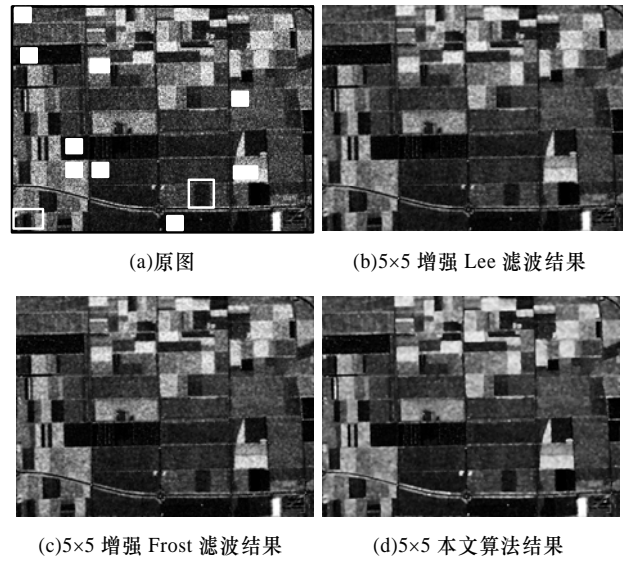


图 1 相干斑抑制算法结果

从原图中选择 9 块区域, 计算相应的等效视数 ENL , 所选区域情况如图 1(a) 所示。同时依据式(7)可计算出 ENL 值。所选择均匀区域的详细信息和不同算法所得到的相应 ENL 值如表 1 所示。

表 1 各滤波算法结果的 ENL 值比较

区域号	灰度属性	X 坐标	Y 坐标	宽度	高度	增强 Lee ENL	增强 Frost ENL	本文算法 ENL
1	暗	20	100	115	25	0.432 047	0.435 379	0.716 744
2	暗	100	290	50	40	0.960 707	0.755 201	0.962 242
3	暗	300	465	65	25	0.830 148	0.864 645	1.611 152
4	灰	10	10	120	20	16.169 89	23.410 37	19.169 41
5	灰	166	345	114	42	7.213 487	8.083 742	11.384 36
6	灰	450	190	80	70	22.399 33	23.410 37	30.717 92
7	亮	100	345	50	55	32.538 99	32.370 38	51.905 52
8	亮	153	117	37	25	133.063 5	133.063 5	237.319 4
9	亮	443	363	504	386	163.133 2	163.175 1	380.370 6

在表 1 中, 粗斜体表示最大的等效视数值, 即最好的相干斑抑制效果。可以看出, 除了 4 号区域外, 本文算法的等效视数都大于其他 2 种算法; 同时在 4 号区域中, 取得第二大的等效视数值。这样, 89% 的区域检测结果表明本文算法的性能比其他 2 种好。

在主观评价的边缘检测技术中, 选择理论上最优的边缘
(下转第 250 页)