

极化SAR改进Lee滤波相干斑抑制研究

江 勇, 张晓玲, 师 君

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】针对Lee滤波总存在降低相干斑与有效保持细节信息这一矛盾, 将自适应窗引入极化SAR滤波。该方法首先在span图像中根据窗内像素与窗边缘像素分布特性决定是否扩大窗口, 在均质区域选择较大窗口, 保证了一定的相干斑抑制能力, 而在细节信息比较丰富的区域则选择较小窗口, 避免细节信息被滤除, 然后在选定的窗口中利用极化Lee滤波对数据进行相干斑抑制, 在保证相干斑抑制能力的同时保留了细节信息。

关键词 自适应; Lee滤波; 极化SAR; 相干斑
中图分类号 TN957.52 **文献标识码** A

Speckle Reduction for Polarimetric SAR Images by Improved Lee Filter

JIANG Yong, ZHANG Xiao-ling, and SHI Jun

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract An improved speckle reduction algorithm for polarimetric SAR image based on the local adaptive processing is proposed. This algorithm automatically adjusts the size of the filter window according to distributed characteristic of the pixels in and around the window in the span image. The window size is expanded in the homogeneous area to suppress speckle noises, while the window size is reduced in the area that contains abundant details. This algorithm has the advantages of effectively reducing the speckle noise and keeping the detail. Experiments demonstrate the effectiveness of the proposed method.

Key words adaptive; Lee filter; polarimetric SAR; speckle

SAR/极化SAR中存在大量的颗粒状的相干斑噪声, 使得SAR/极化SAR图像解释不明确, 直接影响到目标检测、分类和识别等。因此相干斑噪声的抑制对SAR/极化SAR图像的后处理变得极为重要^[1-7]。而Lee滤波算法利用图像局部统计特性进行滤波处理^[8-9], 能很好地移植到极化图像^[10], 是一种常用滤波算法。

为了克服Lee滤波算法中提高相干斑抑制能力与保持细节这一矛盾, 文献^[11]提出了自适应窗算法, 该算法首先设定一个最小窗, 根据窗内像素和窗边缘像素分布特性判断是否扩大窗口, 根据图像的复杂程度自适应地确定窗口大小, 在很大程度上克服了传统极化Lee滤波抑制相干斑与保留细节的矛盾。但该算法假定窗内像素和窗边缘像素的均值相等或假定其方差相等, 降低了算法的适用性。为此本文对该算法进行了改进, 不需要上述假定, 并把自适

应窗用于极化SAR相干斑抑制, 在抑制相干斑的同时, 有效保留了各通道的细节信息。

1 全极化SAR LEE滤波

Lee滤波的本质是基于乘性相干斑噪声模型, 运用最小均方误差准则, 对散射系数进行线性估计。其乘性噪声模型为:

$$y = xv \quad (1)$$

式中 y 为中心像素的值; x 是需要估计的独立于噪声的信号; v 为均值为1、方差为 σ_v^2 的噪声。假设 \hat{x} 为 x 的估计值, \bar{x} 是 x 的数学期望, Lee滤波假设 \hat{x} 是 \bar{x} 和 y 的线性组合:

$$\hat{x} = a\bar{x} + by \quad (2)$$

其中

$$\bar{x} = E(x) = E(y) = \bar{y} \quad (3)$$

式中 $E(\cdot)$ 表示求数学期望; \bar{y} 为滑动窗中均值。均方误差函数为:

收稿日期: 2007-06-08; 修回日期: 2008-03-12

基金项目: 部级基金

作者简介: 江 勇(1979-), 男, 博士生, 主要从事合成孔径雷达成像处理技术、目标分类与识别等方面的研究。

$$J = E[(\hat{x} - x)^2] \quad (4)$$

最小化均方误差函数 J 可得最优 a 和 b :

$$a = 1 - b \quad (5)$$

$$b = \frac{\text{var}(x)}{\text{var}(y)} \quad (6)$$

式中 $\text{var}(y)$ 是滑动窗中的方差, $\text{var}(x)$ 由文献[2]得出:

$$\text{var}(x) = \frac{\text{var}(y) - \bar{y}^2 \sigma_v^2}{(1 + \sigma_v^2)} \quad (7)$$

把式(5)和式(6)代入式(2), 可得相干斑滤波公式:

$$\hat{x} = \bar{y} + b(y - \bar{y}) \quad (8)$$

在均质区域, $\text{var}(x) \approx 0$, 有 $\hat{x} = \bar{y}$, 此时Lee滤波输出为滑动窗的均值; 在边缘等对比度很强区域, $b \approx 1$, $\hat{x} = y$, 滤波输出等于中心像素原值。因此该算法在均值区域内能有效地去除噪声, 在异质区域, 能保留边缘, 但没有有效地抑制相干斑。容易证明这一估计是无偏的。

为了在保留边缘的同时, 有效地抑制相干斑噪声, Lee 引入了一种边缘检测法。先检测边缘, 再进一步确定邻域。利用局域梯度边缘检测方法确定边缘的方向, 并进行区域划分, 重新定义该窗口内中心像素的邻域, 从而提高估计的准确性。这样, 既在一定程度上抑制了斑点噪声, 又保留了主要的边缘纹理信息。需要注意的是, Lee滤波是在强度图像的前提下导出的, 为了应用到极化SAR情况并保留极化信息, 全极化SAR Lee滤波首先在span图上获得加权系数 b , 极化总功率span为:

$$\text{span} = |S_{hh}|^2 + 2|S_{hv}|^2 + |S_{vv}|^2 \quad (9)$$

然后对极化相关矩阵 C 进行滤波:

$$\hat{C} = \bar{C} + b(C - \bar{C}) \quad (10)$$

其中:

$$C = \mathbf{k}\mathbf{k}^H$$

$$\mathbf{k} = [S_{hh} + S_{vv} \quad S_{hh} - S_{vv} \quad 2S_{hv}]^T / \sqrt{2}$$

2 自适应窗极化SAR Lee滤波

从以上分析可以看出, 加权系数 b 和邻域均值都是在邻域窗内计算的, 与窗的大小直接关系, 滑动窗越大, 相干斑抑制效果越好, 但边缘模糊越明显; 反之, 滑动窗越小, 细节保留越好, 相干斑抑制能力也会下降。即窗口应该尽量大, 以便得到可靠的统计参数; 同时, 又要尽量小, 以保持场景的不连续和点目标。显然, 这不可能同时满足。

本文首先改进自适应窗算法, 然后将自适应窗引入到极化图像, 以在提高相干斑抑制能力的同时,

更好地保留细节信息。

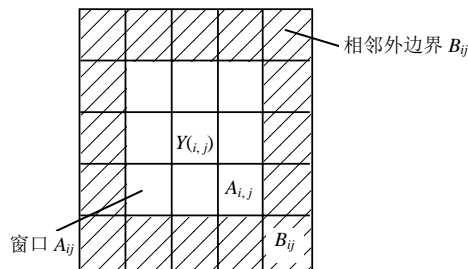


图1 自适应窗示意图

首先将滤波窗口设置为允许的最小窗口, 然后基于这样一个准则: 设像素点 (i, j) 处的当前窗口为 A_{ij} , 与窗口相邻的外界边界点集合为 B_{ij} , 如图1所示。如果 A_{ij} 的分布与 B_{ij} 的分布相同, 则将 B_{ij} 并入当前窗口作为新的窗口, 否则就不扩大窗。假设span图像在一定区域内服从高斯分布:

$$p(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(y - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (11)$$

式中 μ 和 σ 分别是 y 的均值和方差。 A_{ij} 和 B_{ij} 的所有像素的联合概率密度函数分别为:

$$p(Y|A_{i,j}) = \frac{1}{(2\pi\sigma_A^2)^{N_A/2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_A^2} \left(\sum_{(i,j) \in A_{i,j}} (y_{i,j} - \mu_A)^2\right)\right] = \frac{1}{(2\pi\sigma_A^2)^{N_A/2}} \exp\left[-\frac{N_A}{2}\right] \quad (12)$$

$$p(Y|B_{i,j}) = \frac{1}{(2\pi\sigma_B^2)^{N_B/2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_B^2} \left(\sum_{(i,j) \in B_{i,j}} (y_{i,j} - \mu_B)^2\right)\right] = \frac{1}{(2\pi\sigma_B^2)^{N_B/2}} \exp\left[-\frac{N_B}{2}\right] \quad (13)$$

A_{ij} 和 B_{ij} 合并后的所有像素的联合概率密度函数为:

$$p(Y|A_{i,j} \cup B_{i,j}) = \frac{1}{(2\pi\sigma_{AB}^2)^{N_{AB}/2}} \times \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_{AB}^2} \left(\sum_{(i,j) \in A_{i,j} \cup B_{i,j}} (y_{i,j} - \mu_{AB})^2\right)\right] = \frac{1}{(2\pi\sigma_{AB}^2)^{N_{AB}/2}} \exp\left[-\frac{N_{AB}}{2}\right] \quad (14)$$

式中 μ_A 、 μ_B 、 μ_{AB} 、 σ_A 、 σ_B 、 σ_{AB} 分别为区域 A_{ij} 、 B_{ij} 、 $A_{ij} \cup B_{ij}$ 中的均值和方差; N_A 、 N_B 、 N_{AB} 分别为其中像素个数。则有似然比:

$$R(Y) = p(Y|A)p(Y|B)/(pY|A \cup B) = \frac{(\sigma_{AB}^2)^{N_{AB}/2}}{(\sigma_A^2)^{N_A/2} (\sigma_B^2)^{N_B/2}} \quad (15)$$

如果区域 B_{ij} 和 A_{ij} 相似, 似然比近似于1, 则把 B_{ij} 并入 A_{ij} , 扩大窗, 反之, 较大的似然比则表明两个区域分布不同, 不宜扩大窗。

3 仿真及分析

本文使用的数据是NASA/JPL AIRSAR L波段 San Francisco地区的图像数据, 图2是原始数据截取图的span图。图3是窗为 3×3 时的极化Lee滤波结果, 可以看出当窗为 3×3 时, 虽然图像细节保留得非常好, 但滤波后相干斑噪声还非常明显, 尤其是海平面比较均质区域, 相干斑十分明显。图4是窗为 11×11 时的极化Lee滤波结果, 相干斑抑制得非常好, 海平面非常均匀, 但城区细节部分信息损失十分严重, 图中白色圈内细节已经比较模糊。对比图3和图4可以看出, 窗口大小对Lee滤波的相干斑抑制效果影响很大, 窗口比较大时, 相干斑抑制能力很好, 但细节丢失情况很明显, 当窗口较小时, 细节保持能力很好但相干斑抑制能力却不如意。图5、图6是采用本文所提方法的滤波结果, 其中图5是最小窗为 3×3 、最大窗为 11×11 的滤波结果。可以看出相干斑抑制能力比使用固定 3×3 窗时好, 而细节保留也比固定 11×11 窗时好, 通过自动地更新窗口大小, 既保持了一定的相干斑抑制能力, 又保留了细节。图6是最小窗为 5×5 、最大窗为 11×11 的滤波结果, 相干斑抑制比最小窗为 3×3 时要好。为了比较细节保持能力, 把城市区域放大, 从椭圆形区域可以明显看出, 采用自适应窗时细节保持能力更好。由此可见, 最大窗与最小窗的设定也会影响到最终滤波效果。表1为不同窗时各通道海面某区域的相干斑指数, 从表1中可以看出, 加入自适应窗后, 各通道相干斑抑制效果明显好于使用最小窗时的抑制效果, 略差于使用最大窗时的抑制效果。



图2 Span图

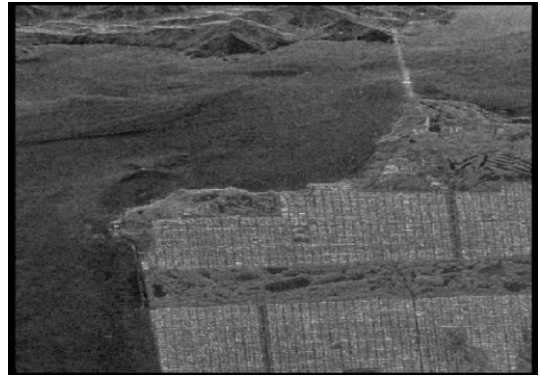


图3 固定窗为 3×3 的极化Lee滤波后的span图

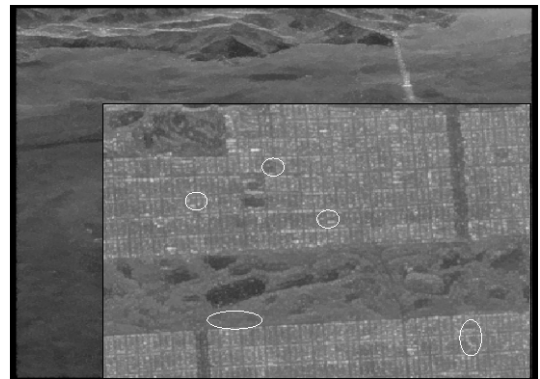


图4 固定窗为 11×11 的极化Lee滤波后的span图



图5 自适应窗极化Lee滤波后的span图
(最小窗 3×3 , 最大窗 11×11)

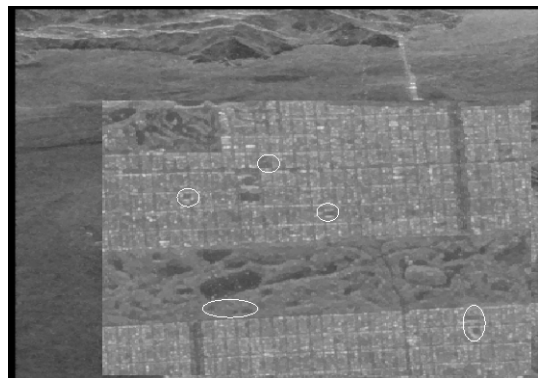


图6 自适应窗极化Lee滤波后的span图
(最小窗 5×5 , 最大窗 11×11)

表1 各通道相干斑指数

窗大小	HH图像	HV图像	VV图像	span图像
无	0.577 3	0.529 4	0.513 1	0.489 7
(3×3)	0.316 3	0.299 9	0.294 0	0.285 3
(5×5)	0.252 2	0.217 8	0.217 1	0.216 2
(11×11)	0.170 9	0.142 6	0.144 0	0.146 5
(最小3×3 最大11×11)	0.293 7	0.253 0	0.255 6	0.250 0
(最小5×5 最大11×11)	0.223 4	0.190 9	0.189 3	0.190 4

4 结 论

根据span图像分布一致性, 本文在改进自适应窗的基础上, 将自适应窗引入到极化SAR图像相干斑抑制。该方法克服了极化Lee滤波在增大滤波能力的同时, 会降低保留细节的能力问题, 能根据图像复杂程度自动地确定窗大小, 具有良好的自适应性。

参 考 文 献

- [1] 皮亦鸣, 邹 琪, 黄顺吉. 极化SAR相干斑抑制——极化白化滤波器[J]. 电子与信息学报, 2002, 24(5): 597-603.
PI Yi-ming, ZHOU Qi, HUANG Shun-ji. Speckle reduction of polarimetric SAR—polarimetric whitening filter[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2002, 24, (5): 597-603.
- [2] 陈红艳, 李磊民. 基于ICA的极化SAR图像相干斑抑制[J]. 电子科技大学学报, 2006, 35(4): 480-483.
CHEN Hong-yan, LI Lei-min. Speckle reduction in polarimetric SAR images based on independent component analysis[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2006, 35(4): 480-483.
- [3] LEE JS, GRUNES M R, SCHULER D L, et al. Scattering-model-based speckle filtering of polarimetric SAR data[J]. IEEE Trans Geosci Remote sensing, 2006, 44(1): 176-187.
- [4] LIU Guo-qing, HUANG Shun-ji, TORRE A, et al. The multilook polarimetric whitening filter (MPWF) for intensity speckle reduction in polarimetric SAR images[J]. IEEE Trans Geosci Remote sensing, 1998, 36(3): 1016-1020.
- [5] 周晓光, 匡纲要, 万建伟. 多极化SAR图像斑点抑制综述[J]. 中国图像图形学报, 2008, 13(3): 377-385.
ZHOU Xiao-guang, KUANG Gang-yao, WAN Jian-wei. A review of polarimetric SAR speckle reduction[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(3): 377-385.
- [6] GU Jing, YANG Jian, ZHANG Hao, et al. Speckle filtering in polarimetric SAR data based on the subspace decomposition[J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 2004, 42(8): 1635-1641.
- [7] WANG A L, ZHANG Y, GU Y F. Simultaneous speckle reduction and SAR image compression using multiwavelet transform[J]. Journal of Electronic Science and Technology of China, 2007, 5(2): 163-166.
- [8] LEE J S. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1980, PAMI-2(2): 165-168.
- [9] LEE J S, GRUNES M R, MANGO S A. Speckle reduction in multipolarization and multifrequency SAR imagery[J]. IEEE Trans Geosci Remote sensing, 1991, 29(4): 535-544.
- [10] LEE J S, MITCHELL R G, GIANFRANCO DE G. Polarimetric SAR speckle filtering and its implication for classification[J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 1999, 37(5): 2363-2373.
- [11] 甘荣兵. 合成孔径雷达对抗及目标检测技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2005.
GAN Rong-bing. Research on electronic countermeasures and target detection to synthetic aperture radar[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2005.

编辑 税 红