

极化 SAR 图像的多纹理最大似然估计*

邹琪** 皮亦鸣 黄顺吉

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】提出了一种新的极化 SAR 图像相干斑抑制的方法。该方法在多纹理乘性相干斑噪声模型的假设下,采用最大似然估计法来同时估计多个极化通道的纹理参数。该方法保存了极化信息,消除了极化通道间的耦合,取得较好的相干斑抑制效果;并与极化白化滤波法(PWF)作了比较。

关键词 合成孔径雷达; 相干斑; 纹理; 最大似然估计

中图分类号 TN959.1

在合成孔径雷达中存在着可观的、呈颗粒状的相干斑噪声,一般认为相干斑噪声是由于场景中同一分辨单元内随机分布的许多散射体的回波相干叠加而形成的。由于相干斑噪声的存在,使 SAR 图像的解释不明确,图像的分类性能降低,图像内目标检测出现漏检或误报的概率较大。因此相干斑噪声的抑制对 SAR 图像的后处理极为重要。

相干斑抑制应以不损失场景纹理为前提。基于该准则,只要能准确地估计出场景的纹理特征,相干斑就能得到较好抑制,而场景特征也可以完全得到保留。本文采用了最大似然方法来估计多个极化通道纹理参数。

1 多纹理假定下的极化乘性相干斑噪声模型

通常假设单视时的极化乘性相干斑噪声模型为^[1]

$$y = \sqrt{t} v \quad (1)$$

式中 y 为极化雷达的观测量; v 为相干斑矢量; t 为纹理变量,是标量。该模型认为纹理因子 \sqrt{t} 同等地影响各个极化通道^[2]。而实际上, HH 、 HV 、 VV 等极化通道有不同的散射特性,地表的某种纹理特征(如边缘)可能只出现在 HH 图像中,而在 HV 或 VV 图像中却不会出现,这表明不同的极化通道有不同的纹理特征。因此可采用如下的极化乘性相干斑噪声模型

$$y = T v \quad (2)$$

式中

$$T = \begin{pmatrix} \sqrt{t_{hh}} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{t_{hv}} & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{t_{vv}} \end{pmatrix} \quad (3)$$

且 $E(T)=I$, I 为 $q \times q$ 的单位阵, q 为矢量 y 的维数, $q=3$ 。

极化雷达的观测量 y 在给定 T 时的条件概率密度函数(PDF)为^[3,4]

$$f_{y|T}(y|T) = \frac{\exp(-y^H T^{-H} C^{-1} T^{-1} y)}{\delta^q |TCT^H|} \quad (4)$$

式中 $C=E(vv^H)$ 为相干斑协方差矩阵,上标 H 表示共轭转置, $| \cdot |$ 表示取行列式。

对于多视情况,由于通常认为纹理变量比极化相干斑噪声特征矢量有更高的空间相关性,即纹理变量的变化比极化相干斑噪声的变化慢得多,因此可认为用于多视平均的像素的纹理变量是

2000年5月31日收稿

* 国家自然科学基金资助项目,编号:69802004

** 男 28岁 硕士

对于多视情况，由于通常认为纹理变量比极化相干斑噪声特征矢量有更高的空间相关性，即纹理变量的变化比极化相干斑噪声的变化慢得多，因此可认为用于多视平均的像素的纹理变量是相等的，从而可推得在多视时、多纹理假定下的极化乘性相干斑噪声模型为

$$Y = TVT \quad (5)$$

式中 Y 为多视协方差阵的观测量， V 为多视相干斑协方差矩阵的观测量。

2 多纹理最大似然估计器

2.1 单视情况下的最大似然估计

最大似然估计是求解使 $f_{y|T}(y|T)$ 最大的 T ，即

$$\frac{\partial \ln[f_{y|T}(y|T)]}{\partial t_i} = 0 \quad (6)$$

式中 $i=hh, hv, vv$ 。

将式(4)代入式(6)可得

$$\frac{\partial (y^H T^{-H} C^{-1} T^{-1} y)}{\partial t_i} = -\frac{1}{t_i} \quad (7)$$

解此方程组即可求得单视时各个极化通道的纹理值。

2.2 多视情况下的最大似然估计

根据公式 $y^H A y = Tr(A y y^H)$ ，可将式(7)写为^[3]

$$\frac{\partial Tr(T^{-H} C^{-1} T^{-1} y_j y_j^H)}{\partial t_i} = -\frac{1}{t_i} \quad (8)$$

式中 y_j 为第 j 个单视极化特征观测矢量。对其进行多视处理可得

$$\frac{\partial Tr(T^{-H} C^{-1} T^{-1} Y)}{\partial t_i} = -\frac{1}{t_i} \quad (9)$$

解此方程组可得多视时各极化通道纹理的最大似然估计。

3 实验结果及结论

相干斑的度量标准为：标准差与均值比值 s/m 。本文所使用的数据是 L 波段，5.23 视，四极化通道的原始图像数据。为验证最大似然估计法对相干斑的抑制效果，将其与极化白化滤波法(PWF)作了比较^[5-7]。所选择的场景为海洋，场景大小为 250×250 像素的图像区域。在自适应方式滤波时，所用的窗口大小为 31×31。表1反映了原始图像经 PWF 和自适应 PWF 处理，以及经 ML 和自适应 ML 处理后的图像的标准差与均值的比值。

从表中数据可看出：非自适应的白化滤波和最大似然估计的 SPAN 强度图像的相干斑抑制均取得了较好的效果，而自适应的白化滤波和最大似然估计的 SPAN 强度图像的相干斑抑制效果稍好一些，但改善效果已不显著，并且处理时间花费较多，因此一般不必作自适应滤波。白化滤波和最大似然估计相比，最大似然估计稍微好一些。对 HH 、 VV 通道强度图像而言，无论是非自适应还是自适应情况，最大似然估计的相干斑抑制效果优于白化滤波。 HV 通道两种滤波方式的效果相同。

从表1中数据可看出：非自适应的白化滤波和最大似然估计的 SPAN 强度图像的相干斑抑制均取得了较好的效果，而自适应的白化滤波和最大似然估计的 SPAN 强度图像的相干斑抑制效果稍好一些，但改善效果已不显著，并且处理时间的花费较多，故一般不必作自适应滤波。白化滤波和最大似然估计相比，最大似然估计稍微好一些。对 HH 、 VV 通道强度图像而言，无论是非自适

应还是自适应情况，最大似然估计的相干斑抑制效果优于白化滤波。 HV 通道两种滤波方式的效果相同。

表1 L波段5.23视4通道极化数据相干斑抑制实验结果

$\frac{s}{m}$	HH 强度图像	HV 强度图像	VV 强度图像	SPAN 强度图像
未处理	0.403 118	0.439 322	0.407 427	0.390 324
非自适应 PWF	0.403 118	0.439 322	0.371 779	0.290 127
非自适应 ML	0.298 201	0.439 322	0.298 657	0.265 747
自适应 PWF	0.394 303	0.406 201	0.326 854	0.261 803
自适应 ML	0.270 307	0.406 201	0.276 660	0.262 162

另外，本文对整个图像进行了最大似然估计和极化白化滤波，图1~5为 HH 强度图像。从图像的细节表达上看，自适应的白化滤波和自适应的最大似然估计比相应的非自适应的方式好得多。采用非自适应方式时会损失一些细节信息；而采用自适应方式，只要滤波窗口的大小选择得当，细节信息会保留下来。如果滤波窗口的尺寸过小，则由于提取参数的点不够多，使参数的估计不够准确，从而滤波后图像较差；反之，如果滤波窗口的尺寸过大，则会象非自适应滤波方式一样损失图像的细节。

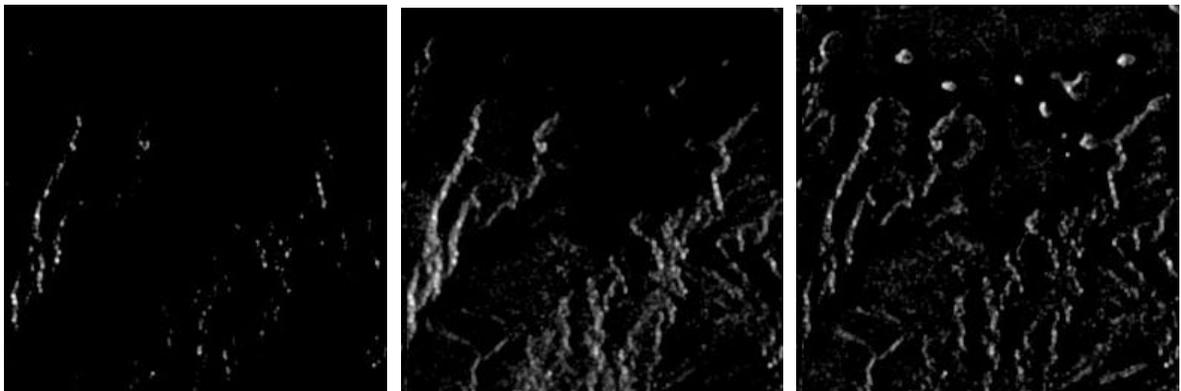


图1 原始 HH 强度图

图2 ML HH 强度图

图3 Adaptive ML HH 强度图

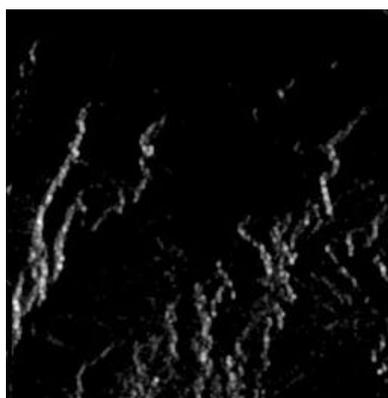


图4 PWF 的 HH 强度图

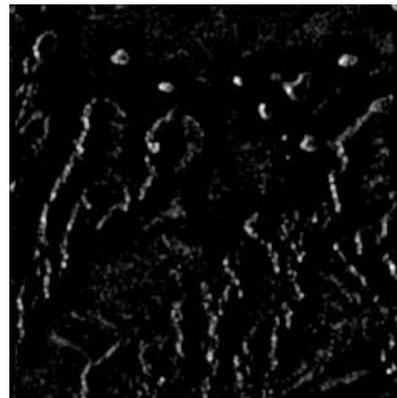


图5 自适应 PWF 的 HH 强度图

参 考 文 献

- 1 Novak L M, Shtin M B, Cardullo M J. Studies of target detection algorithms that use polarimetric radar data. IEEE Trans Aerosp Electron Syst, 1989, Aes-25(2): 150~165
- 2 Yang Jinhao, Wang Jianguo, Huang Shunji. Fractal feature for SAR images. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1996, 25(Suppl 2):240~243[杨晋强, 王建国, 黄顺吉. SAR 图像的分维特征提取. 电子科技大学学报, 1996,25(增2): 240~243]
- 3 Goodman N R. Statistical analysis based on a certain multivariate complex Gaussian distribution (An Introduction). Annals of Mathematical Statistics,1963, 34: 152~177
- 4 Xiao Kun, Yu Yongjian, Huang Shunji. A method for parameter estimation of single-look generalized polarimetric k -distribution. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1999, 28(5): 476~480 [肖 琨, 余永健, 黄顺吉. 一种单视广义极化 k -分布纹理参数的估计方法. 电子科技大学, 1999, 28(5):476~480]
- 5 Novak L M, Burl M C. Optimal speckle reduction in polarimetric SAR imagery. IEEE Trans Aerosp Electron Syst, 1990, 26(2): 293~305
- 6 Liu Guoqing, Huang Shunji, Torre A, *et al.* Optimal speckle reduction in multi-look polarimetric SAR imagery. In Proc IGARSS' 95 Symp,1995: 664~666
- 7 Liu Guoqing, Huang Shunji. Speckle reduction in multi-frequency multi-look polarimetric SAR image. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1997, 26(Suppl): 82~85[刘国庆, 黄顺吉. 多频率多极化 SAR 图像的相干斑抑制. 电子科技大学学报, 1997, 26(增刊): 82~85]

Multi-texture Maximum Likelihood Estimation of Polarimetric SAR Image

Zou Qi Pi Yiming Huang Shunji

(College of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper, a new method of speckle reduction in polarimetric SAR image is proposed. Based on the method, the texture parameters of multi-polarimetric channels are estimated simultaneously by the method of maximum likelihood under the assumption of multi-texture multiplicative speckle noise model. This method preserves the polarimetric properties, reduces the couple between polarimetric channels, and gets the better effect of speckle reduction. It is also compared with the PWF (polarimetric whitening filter).

Key words synthetic aperture radar; speckle; multi-texture; maximum likelihood