

基于小波变换和 Wiener 滤波的 SAR 图像相干斑噪声去除

赵辉煌^{1,2}, 王耀南², 孙雅琪¹

(1 衡阳师范学院 计算机科学系, 湖南 衡阳 421008; 2 湖南大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 先介绍了小波变换和 Wiener 滤波, 为提高去噪性能, 提出一种基于小波变换和 Wiener 滤波的 SAR 图像 speckle 噪声去除算法, 利用 Wiener 滤波对小波分解系数去噪. 结果表明, 与传统方法相比, 所提出的算法能较好地提高 SAR 图像的去噪效果.

关键词: 图像噪声; SAR 图像; 小波变换; wiener 滤波

中图分类号: TP3-4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)11-0084-04

SAR Imagespeckle Denoising Based on Wavelet Transform and Wiener Filter

ZHAO Hui-huang^{1,2}, WANG Yao-nan², SUN Ya-qi¹

(1 Department of Computer Science, Hengyang Normal University, Hengyang 421008, China;

2 Department of Control Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Noise deteriorates SAR image quality, makes image unclear and sinks some important image features. Denoising has become an essential step in SAR image analysis and improving image quality. At first, wavelet transform and wiener filter are introduced. Then an improved algorithm based on wavelet transform and wiener filter is proposed and is used to denoise. At last, the experimental results have illustrated that the proposed approach can accomplish a better result in SAR image denoising compared with the conventional methods.

Key words: image noise; SAR image; wavelet transform; wiener filter

1 引言

合成孔径雷达(SAR)借助大量随机分布的散射体反射的雷达回波相干叠加成像, 从而不可避免地产生一种称为相干斑(speckle noise)的乘性噪声. 相干斑噪声降低了图像质量, 使焊点图像模糊、特征淹没, 给 SAR 图像研究带来困难^[1]. 图像噪声的去除已成为图像处理研究中的热点问题. 相干斑噪声去除对于改进 SAR 图像质量, 提高 SAR 图像后续解译处理效果都具有重要意义^[2]. 常用的图像噪声去除方法有, 维纳(Wiener)滤波, 小波去噪和小波包去噪等方法^[3-5]. 为提高去噪性能, 本文提出一种基于小波变换和 Wiener 滤波的去噪方法, 去除 SAR 图像中的 speckle 噪声.

2 小波变换

小波变换的思想是用一族函数去表示或逼近一个信号或函数. 这一族函数被称为小波函数系, 它是通过小波基函数的伸缩和平移构成的. 给定一个基本函数 $\Psi(t) \in L^2(R)$, 其傅里叶变换为 $\hat{\Psi}(\omega)$, 当满足容许条件^[6]:

$$C_{\Psi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < +\infty \quad (1)$$

则称 $\Psi(t)$ 为一个小波, 函数 $f(t) \in L^2(R)$ 的连续小波变换定义如下:

$$WT_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = <$$

收稿日期: 2013-01-09; 修回日期: 2013-03-05

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(12JJ4058)

$$f, \Psi_{a,b}(t) > \quad (2)$$

式中, a, b 和 t 均是连续变量. b 的作用是确定对 $\Psi(t)$ 分析的时间位置, 也即时间中心, 尺度因子 a 的作用是把基本小波 $\Psi(t)$ 作伸缩. $\Psi(t)$ 又称为基本小波, 或母小波. $\Psi_{a,b}(t)$ 是母小波经移位和伸缩所产生的一族函数, 称之为小波基函数, 或简称小波基.

其频域表示为

$$\begin{aligned} WT_f(a, b) &= \frac{1}{2\pi} \langle f, \hat{\Psi}_{a,b} \rangle \\ &= \frac{\sqrt{a}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) e^{i\omega b} \Psi^*(a\omega) d\omega \end{aligned} \quad (3)$$

小波变换将信号 $f(t)$ 由时域映射到 a - b 相平面内. 同时, 小波变换 $WT_f(a, b)$ 也可以看作是利用滤波器组 $\hat{\Psi}_{a,b}$ 对信号 $f(t)$ 进行滤波操作的结果. 利用不同的尺度因子 a 对信号 $f(t)$ 进行小波变换, 相当于通过改变滤波器组 $\hat{\Psi}_{a,b}$ 的形状对 $f(t)$ 进行不同的滤波操作.

3 Wiener filter

Wiener 滤波器是基于最小均方误差原则而得到的一种局部自适应线性滤波器, 它能够根据局部方差来调整输出. 在已知噪声分布的情况, Wiener 滤波具有能很好地滤除高斯噪声的特点^[7]. 假设一个信号被 speckle 噪声 e 污染, 即 $Y = I + e_N$ 维纳滤波就是下面的线性过程.

$$\hat{Y} = \sum_m \frac{\alpha_m^2}{\alpha_m^2 + e^2} \langle Y, k_m \rangle k_m \quad (4)$$

式中, α_m 和 k_m 分别为 I 的协方差矩阵的特征值和特征向量, N 表示噪声信息, 若 I 是高斯分布, 则式(6)是对 I 在均方意义下的最佳估计. 相比于其他线性滤波器来说, 它能够更好地保留图像的边缘信息和图像的一些高频信息. 采用 Wiener 滤波对图像小波系数进行滤波, 它在保留图像边缘信息和高频细节信息上有较好的处理效果.

4 基于小波分解和 Wiener 滤波的 SAR 图像去噪算法

与传统的由于小波变换图像去噪声方法不同, 本研究通过对 SAR 图像进行, 小波分解, 把 SAR 图像能量集中在一些大的小波系数中, 而噪声的能量却均匀分布在整个小波系数中. 因此, 经小波分解后, SAR 图像的小波系数幅值要大于噪声的系数幅值. 然后采用 Wiener 滤波对小波系数进行去噪声操

作. 小波系数 Wiener 滤波操作过程如图 1 所示.

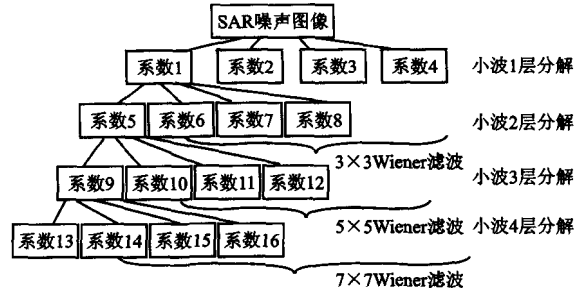


图1 小波系数 Wiener 滤波

根据计算得到的第 N 层的小波重构系数, 采用小波软阈值方法对图像进行第二次去噪, 然后进行图像的小波重构, 得到去噪后的 SAR 图像. 基于小波变换与 Wiener 滤波的 SAR 图像去噪算法流程如图 2 所示.

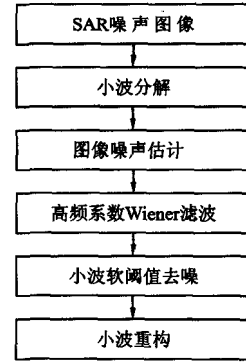


图2 基于小波变换与 Wiener 滤波的 SAR 图像去噪算法流程

5 SAR 图像噪声去除实现及结果比较

为比较噪声去除算法的去噪性, 本研究中采用峰值信噪比 (peak signal to noise ratio, PSNR)^[8] 作为图像去噪算法去噪性能的客观评价指标. 其定义如下 (设图像大小为 $M \times N$):

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f(i, j) - \hat{f}(i, j))^2 \quad (5)$$

$$SNR = 10 \lg \left(\frac{\sigma_f^2}{MSE} \right) \quad (6)$$

$$PSNR = 10 \lg \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (7)$$

式中, $\hat{f}$ 为去噪后图像, f 为未含噪声的原图像, σ_f^2

$$= \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f^2(i, j).$$

选取图 3 所示的 SAR 图像为例, 添加 speckle 噪声强度为 0.1, 噪声图像如图 4 所示, 对于 SAR

噪声图像,分别采用 Wiener 滤波(5×5 窗口大小),小波(Wavelet) 3 层分解、小波包(Wavelet packet)3

层分解和本论文提出的方法进行去噪. 得到结果如图 5~图 8 所示.

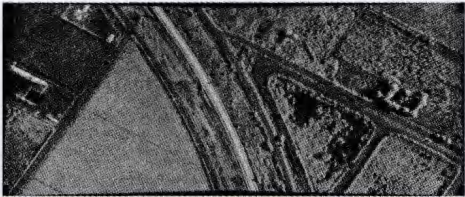


图 3 原图

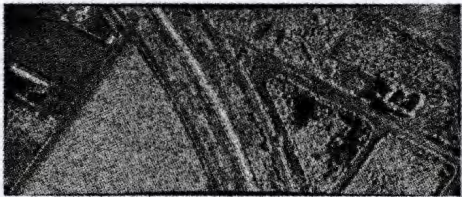


图 4 噪声图

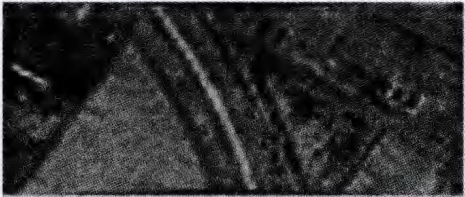


图 5 Wiener 滤波结果

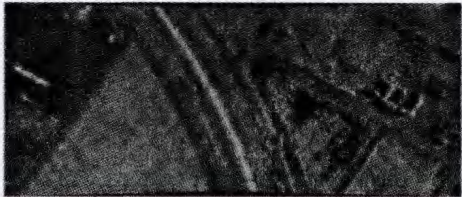


图 6 Wavelet 去噪结果

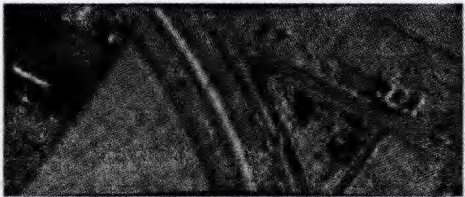


图 7 Wavelet packet 去噪结果

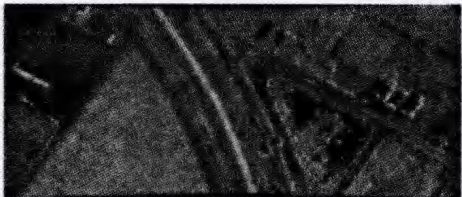


图 8 本文方法去噪结果

比较图 5~图 8 可看出,基于本文提出方法的去噪效果优于其他方法. 为比较这四种方法的去噪性能,对图 3 添加包含不同程度 speckle 噪声,分别计算峰值信噪比作为比较参数. 然后,采用不同方法

进行去噪处理. Wiener 滤波分别采用的窗口大小为 3×3 , 5×5 和 7×7 . 小波和小波包变换分别采用 2,3,4 层分解,其结果如表 1~表 4 所示.

表 1 Wiener 滤波去噪 PSNR 结果

噪声大小 窗口大小	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
3×3	24.46	21.97	20.31	19.16	18.22	17.47	16.81	16.17	15.75	15.26
5×5	23.70	21.62	20.32	19.22	18.43	17.72	17.09	16.57	16.11	15.65
7×7	22.99	21.18	19.92	18.98	18.24	17.53	17.03	16.52	16.08	15.60

表 2 Wavelet 去噪 PSNR 结果

噪声大小 分解层数	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
2	22.10	20.61	19.53	18.72	18.09	17.49	17.01	16.56	16.12	15.72
3	21.51	20.01	19.10	18.31	17.72	17.23	16.72	16.31	15.92	15.64
4	21.23	19.73	18.80	18.06	17.47	16.97	16.53	16.13	15.74	15.46

表 3 Wavelet packet 去噪 PSNR 结果

噪声大小 分解层数	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
2	23.82	21.60	20.24	19.24	18.41	17.70	17.09	16.63	16.16	15.75
3	23.45	21.36	20.10	19.15	18.37	17.75	17.24	16.73	16.31	15.88
4	23.21	21.24	19.97	19.04	18.31	17.71	17.09	16.65	16.24	15.87

表 4 本文提出的方法去噪 PSNR 结果

噪声大小 分解层数	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
Wiener 滤波窗口大小 3×3										
2	23.38	21.44	20.15	19.18	18.41	17.77	17.20	16.79	16.33	15.93
3	23.17	21.35	20.08	19.14	18.38	17.73	17.22	16.73	16.29	15.93
4	22.73	21.01	19.86	18.96	18.26	17.68	17.08	16.66	16.21	15.85
Wiener 滤波窗口大小 5×5										
2	23.31	21.34	20.12	19.22	18.49	17.80	17.31	16.79	16.35	15.98
3	23.09	21.30	20.06	19.12	18.37	17.75	17.24	16.75	16.30	15.92
4	22.68	20.98	19.85	18.89	18.18	17.61	17.070	16.57	16.19	15.84
Wiener 滤波窗口大小 7×7										
2	23.30	21.34	20.11	19.18	18.45	17.79	17.26	16.79	16.40	16.01
3	23.11	21.32	20.03	19.13	18.39	17.69	17.21	16.74	16.33	15.94
4	22.64	20.98	19.82	18.95	18.16	17.60	17.05	16.63	16.17	15.82

由表 1~表 4 可以看出,在噪声强度比较弱的情况下,Wiener 滤波能达到较好的去噪效果;但当噪声比较强的情况下,基于本文提出方法的去噪性能优于其他方法;同时,在本论文提出的方法中,对于不同程度的噪声,Wiener 滤波窗口大小的变化,去噪声性能也发生变化。

6 结束语

论文针对 SAR 图像的特点,采用小波变换结合 Wiener 滤波方法去除 SAR 图像噪声,利用 Wiener 滤波对小波分解系数去噪,比传统的去噪思想更合理。实验结果表明,采用本文提出的方法,能有效地去除 SAR 图像中的 speckle 噪声,研究结果可以为其它领域图像噪声去除方法研究提供参考。

参考文献:

[1] 尹奎英,胡利平,刘宏伟.等.一种复合的 SAR 图像去噪算法[J].西安电子科技大学学报,2010,37(2):224-230.

[2] 朱磊,水鹏朗,武爱景.一种 SAR 图像相干斑噪声抑制新算法[J].西安电子科技大学学报:自然科学版,2012,39(2):80-87.

[3] 王桂楠,纪玉波.基于 PDE 和小波分解的 SAR 图像去

噪研究[J].辽宁石油化工大学学报,2009,29(1):65-69.

[4] Yannis Kopsinis,Stephen McLaughlin. Development of EMD-based denoising methods inspired by wavelet thresholding[J]. IEEE Trans Signal Processing, 2009, 57(4):1351-1362.

[5] Hu Shaoxiang, Zhiwu Liao. Signal denoising using wavelet packet hidden Markov model[C]// 2004 International Conference on Communications, Circuits and Systems, Kraków,Polarel, 2004:751-755.

[6] Pajares G. A wavelet based image fusion tutorial [J]. Pattern Recognition, 2004,37(9):1855-1872.

[7] Ercelebi E, Koc S. Lifting-based wavelet domain adaptive Wiener filter for image enhancement [J]. IEEE proceedings. Vision, image and signal processing, 2006,153(1):31-36.

[8] Mark Miller, Nick Kingsbury. Image denoising using derotated complex wavelet coefficients [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008,17(9):1500-1511.

作者简介:

赵辉煌 男,(1982-),博士后,讲师.研究方向为计算机视觉、图像处理等。