

## A Filtering Algorithm of SAR Image Based on Feature Extraction \*

WANG Ruixia, LIN Wei\*, MEI Zhen

(School of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract** :By reason of complexity of objects of SAR image, it puts forward a new filtering method. This method utilizes Contourlet transformation together with feature extraction, which can get point feature of areas. Using of auto-adapting threshold filters SAR image. The experimental results show that the results using our methods are better than that of using the other methods such as Lee and keeping edge filters. It materialize that not only the good vision of image were gotten but the quality indices were great improvement. As a practical application, SAR images of two wave bands, L and C, were denoised and fused. And it have got preferable result.

**Key words** :contourlet transform; feature extraction; fuse; filter; synthetic aperture radar image  
EEACC :6135;6320

## 基于特征提取的 SAR 图像滤波算法 \*

王瑞霞,林 伟\*,梅 珍

(中国西安西北工业大学理学院,西安 710072)

**摘 要** :针对 SAR 图像所包含的地物目标比较复杂的特点,提出一种新的 SAR 图像滤波算法。该算法利用 Contourlet 变换能保持边界,结合特征提取可以获得区域目标点特征的特点,利用自适应阈值的方法对 SAR 图像进行滤波。与传统 Lee 滤波和保持边缘特征滤波算法进行比较,实验表明新的算法不仅提高了图像的质量,其量化指标也得到了提高。作为该算法的应用,利用变换域内低频图像和子带图像的融合规则对 L 和 C 两个波段的 SAR 图像进行去噪融合,可以看出该算法的去噪效果。

**关键词** :Contourlet 变换;特征提取;融合;滤波;SAR(Synthetic aperture radar) 图像

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A 文章编号:1004-1699(2009)06-0827-06

SAR 图像相干斑现象严重,主要表现为纹理,其中小纹理是雷达回波矢量在空中相干叠加生成的,属于斑块噪声,应予以抑制,而中大纹理则主要反映各种类别的地物特征信息,是纹理分析研究的对象,应予以保留。由于 SAR 图像的地物轮廓比较清晰,有较好的对比度,并能呈现更多的细节,而 SAR 图像的噪声严重影响了其解读的质量,因此 SAR 图像的滤波便成为一项重要的研究工作<sup>[1]</sup>。

现有的 SAR 图像去噪方法主要分为两类:一类是基于统计特性的空域滤波算法,典型的有 Lee 滤波<sup>[2]</sup>、Kuan 滤波<sup>[3]</sup>和 Frost 滤波<sup>[4]</sup>以及均值滤

波、中值滤波;一类是基于多分辨分析的频域滤波算法,其中应用最为广泛的是小波域。然而由于二维小波变换不能稀疏表示图像的几何特征,在处理二维图像时不能得到理想的效果,因此 M. N. Do 等人提出了一种“真正”的图像二维表示方法——Contourlet 变换<sup>[5-6]</sup>。Contourlet 变换是一种新的非自适应多尺度几何变换,有很好的稀疏性,并且它的各向异性克服了小波变换各向同性导致方向选择性差的缺点,因此得到广泛的应用,其理论也在进一步深入研究。近几年来,多尺度几何变换的应用研究越来越广泛,在 Contourlet 变换的基础上又出现了非下采样 Contourlet 变换<sup>[7]</sup>、

基金项目:国家自然科学基金资助(60375003);航空基础科学基金资助(03I53059)

收稿日期:2009-02-20 修改日期:2009-03-26

Shearlet 变换<sup>[8]</sup>等等新的变换。

SAR 图像的噪声主要是乘性噪声,还包含一些加性噪声,在斑点噪声滤除的同时,不仅要使图像达到抑制噪声的结果,而且要尽量减少纹理特征和边缘细节信息的损失。Contourlet 变换能很好地提取线特征,即在滤波过程中可以使边缘信息得到保持,但对于图像的纹理特征和点特征不能理想的提取出来,针对这些缺点,本文提出一种新的算法,结合 Contourlet 变换保持边缘和特征提取能保持区域纹理特征和目标点特征的优点,通过自适应的选取阈值对 SAR 图像进行滤波处理。为说明其算法的可行性,结合图像融合,利用 Contourlet 域多传感器融合算法,对 L 和 C 两个波段 SAR 图像进行滤波融合,其结果也是显而易见的。

## 1 基于 Contourlet 变换的特征提取和融合

由于 SAR 图像所包含的目标轮廓比较清晰,地物信息比较复杂,基于 Contourlet 变换能很好的保持边缘细节信息,考虑特征提取可以保留细节纹理和区域点特征,结合 Contourlet 域内特征提取的方法对 SAR 图像进行处理。针对多波段 SAR 图像滤波,为了更好的反映其特征和纹理以及本文算法的效果,采用图像融合的方法对其进行去噪融合。

### 1.1 Contourlet 变换

Contourlet 的基函数有  $2^n$  ( $n$  表示二维定向滤波器  $n$  级分解) 种方向,可以将图像分解到任意的  $2^n$  个方向子带上,因此 Contourlet 可以以近似最优的效率表示任何一维的平滑边缘,它能用比小波变换更少的系数来表达光滑的曲线,可以很好地逼近图像的几何结构。

Contourlet 变换由两级实现:拉普拉斯金字塔分解(LP)<sup>[9]</sup>和方向滤波器组(DFB)<sup>[10]</sup>,合成为塔形方向滤波器组(PDFB),是一种多尺度多几何分析方法,能捕获奇异性点。拉普拉斯金字塔分解在每一步生成一个原始图像的低通采样和原始图像与低通图像的差图,得出一个带通图像,然后由方向滤波器组将分布在同方向上的奇异点合成为一个系数,总的说来,Contourlet 变换提供了一种对图像灵活的多分辨的方向分解,对每个尺度允许不同数目的方向,满足尺度的各向异性的法则。

### 1.2 Contourlet 域的特征提取算法

在噪声存在的情况下,SAR 成像模型可以表示为

$$g = Tf + w \quad (1)$$

其中: $f$  表示真实场景, $g$  表示观测图像, $w$  表示系统噪声, $T$  表示降质算子。正则化方法是把求解真实场景的问题转化为求解下式的最优化问题

$$f = \operatorname{argmin}_f J(f) \quad (2)$$

其中目标函数  $J(f)$  的形式为

$$J(f) = \|g - Tf\|_2^2 + \frac{\lambda}{2} \|f\|_k^k + \frac{\lambda}{2} \|D|f|\|_k^k \quad (3)$$

其中: $\lambda$  表示  $k$  范数, $D$  表示二维微分算子的离散近似矩阵, $|f|$  表示复向量  $f$  的幅度, $k, \lambda, \lambda$  为正参数。

不考虑降质算子  $T$  的因素,来达到优化算法的结果,不仅提高了迭代过程的运算效率,同时能够保留对图像的特征增强能力。在实际应用中,我们采用单位矩阵代替降质算子,迭代运算的递推公式为

$$f^{(n+1)} = (1 - \alpha) f^{(n)} + [\alpha \mathcal{H}(f)]^{-1} 2g \quad (4)$$

其中

$$\mathcal{H}(f) = 2I + k \frac{\lambda}{2} \|f\|_k^k + k \frac{\lambda}{2} \|f\|_k^k D^T D(f) \quad (5)$$

其中  $I$  为单位矩阵:

$$I_1(f) = \operatorname{diag} \left\{ \frac{1}{(|f|_i)^2 + \lambda} \right\} \quad (6)$$

$$I_2(f) = \operatorname{diag} \left\{ \frac{1}{(|f|_i)^2 + \lambda} \right\} \quad (7)$$

$$I(f) = \operatorname{diag} \{ \exp(-j \angle(f)_i) \} \quad (8)$$

其中: $\alpha$  为迭代运算的步长因子,为非常小的正常数, $(f)_i$  表示向量  $f$  的第  $i$  个元素, $\angle(f)_i$  表示复数  $(f)_i$  的相位, $(g)^T$  表示矩阵的转置, $(g)^H$  表示矩阵的共轭转置, $\operatorname{diag}(g)$  表示对角阵,其对角线上的元素由括号内表达式给出。选择迭代运算的收敛条件为:

$$\|f^{(n+1)} - f^{(n)}\|_2 / \|f^{(n)}\|_2 \leq \epsilon \quad (9)$$

其中: $\epsilon$  为收敛阈值。经过若干次迭代,满足了收敛条件,就得到最优化问题的解<sup>S[11]</sup>。

### 1.3 Contourlet 域内两波段的 SAR 图像融合规则

Contourlet 变换将源图像分解为低频图像和带通图像,对于低频系数和低频系数分别进行融合。现有的融合方法有很多,如基于 MRF 模型和 EM 算法的多源图像融合方法<sup>[12]</sup>等,这里采用融合规则如下:

(1) 将低频图像按等窗口大小划分,分别计算两幅图像的窗口区域系数  $C_{A(i,j)}, C_{B(i,j)}$  方差大小,记为:  $V_{C_{A(i,j)}}, V_{C_{B(i,j)}}$ 。低频系数融合规则如下:

$$C_{i,j} = \begin{cases} C_A(i,j), & V_{C_{A(i,j)}} \geq V_{C_{B(i,j)}} \\ C_B(i,j), & V_{C_{A(i,j)}} < V_{C_{B(i,j)}} \end{cases}$$

(2) 分别计算两幅源图像各高频图像  $D_{B(i,j)}^k$ ,

$D_{A(i,j)}^k$  的局部区域方差大小, 记为:  $V_{DA(i,j)}^k, V_{DB(i,j)}^k$  ( $k$  表示方向)。高频系数融合规则如下:

$$D_{i,j} = \begin{cases} D_{A(i,j)}, V_{DA(i,j)} \geq V_{DB(i,j)} \\ D_{B(i,j)}, V_{DA(i,j)} < V_{DB(i,j)} \end{cases}$$

(3) 为保持融合后各个子带数据具有一致性, 应对其进行一致性检测与调整。调整原理是取“多数”原则, 即对融合后高频图像系数进行处理: 如果该数据的 8 个邻域中至少有 6 个数据来自图像 A, 则该像素融合后的数据也调整为由图像 A 确定, 即取图像 A 对应点在该子带上对应位置处的系数, 反之亦然<sup>[13]</sup>。

## 2 基于特征提取的 SAR 图像滤波

针对 SAR 图像的滤波, 本文采用自适应阈值的方法进行处理。由于自适应阈值能够根据变换域内系数的大小自适应地进行选取和调整, 保留了图像的纹理, 并避免了一般阈值滤波所产生的块状效应, 与传统 Lee 滤波和保持边缘特征滤波算法<sup>[14]</sup>进行比较, 其中保持边缘特征滤波算法是用来保持图像边缘特征的一种常用的滤波算法。

### 2.1 自适应阈值的计算

对源图像进行 Contourlet 变换, 得到低频系数  $C_{i,j}$  和方向子带系数  $D_{i,j}^k$ 。对方向子带系数进行自适应阈值估计, 估计公式为

$$D_{i,j}^k = D_{i,j}^k \cdot k_{i,j} \quad (10)$$

$k_{i,j}$  称为自适应收敛因子, 其计算公式为

$$k_{i,j} = \left(1 - \frac{(4-E)^2}{(S_{i,j}^k)^2}\right) \quad (11)$$

其中:  $E = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n |C_{ij}|^2}{m \times n}}$ ,  $m \times n$  表示所选窗口的大小, 表示方向子带系数的标准差,  $(S_{i,j}^k)^2 = \sum_{p=i-\frac{m-1}{2}}^{i+\frac{m-1}{2}} \sum_{q=j-\frac{n-1}{2}}^{j+\frac{n-1}{2}} |D_{p,q}^k|^2$ ,  $n$  表示像素点子带系数值  $D_{i,j}^k$

的邻域长度;  $(x) = \begin{cases} x, x \geq 0 \\ 0, x < 0 \end{cases}$  为软阈值函数。

### 2.2 SAR 图像滤波算法

为了使得 SAR 图像在滤除噪声的同时, 不仅能很好的保持边缘信息, 而且可以有效的保留目标的区域和点特征, 结合 Contourlet 变换保持边界和区域特征提取可以保留纹理的特点, 得到一种新的滤波算法。作为该算法的应用, 利用两个波段 SAR 图像进行实验, 得到滤波后的一幅融合图像, 其算法步骤如下:

(1) 分别对两个波段源图像进行 Contourlet 变换, 得到低频图像和各个方向子带图像;

(2) 对两幅变换后的低频图像用 1.3 节的融合规则进行融合, 得到一幅融合后的低频图像;

(3) 对融合之后的低频图像用维纳滤波进行平滑处理;

(4) 用 1.2 节的区域特征提取方法分别对两幅变换后的各个方向子图进行特征提取, 得到特征提取图;

(5) 分别对两幅图像的各个方向子带图像和特征提取图作差, 得到每个图像的差图;

(6) 对上面所得的差图用自适应阈值的方法进行滤波处理, 得到两幅图像滤波后的各个方向子图;

(7) 采用加权平均法对特征提取图和步骤(6)滤波处理后的各个方向子图进行融合;

(8) 对两幅图像相对应的各个方向子图采用 1.3 节高频系数融合规则进行融合, 得到一幅融合图像的各个方向子带图;

(9) 对(2)和(7)中滤波融合处理后的低频和各个方向子带图作 Contourlet 逆变换, 得到一幅融合后的去噪图。

针对单幅图像, 只是去掉低频系数和高频系数的融合步骤(2)和(8), 其它步骤和方法相同。

## 3 实验结果分析

本文采用 L 和 C 两个波段的图像进行实验, 先分别对 L 波段和 C 波段的源图像做处理, 并与典型的 Lee 滤波和保持边缘特征滤波算法进行比较(如图 1 和图 2), 利用匀质区域等效视数和辐射分辨率作为算法滤波平滑指标, 均值偏差作为衡量图像细节变化程度指标, 结果数据如表 1 和表 2。作为本文算法的应用, 利用图像融合规则对两个波段的图像进行去噪融合, 得到一幅滤波后的融合图像如图 3, 数据结果如表 3。从图 1、图 2 中可以明显看到 Lee 滤波对两幅图像的去噪效果都不是很明显, 而保持边界特征的滤波算法由于窗口选择的区域性, 虽然等效视数提高了很多, 但降低了图像的分辨率, 重构图中出现大量的斑块和模糊现象, 本文算法不仅从视觉上达到了平滑结果, 而且使得图像的细节和纹理都能保留的很好。两波段融合图像从图 3(a)中可以看出, 融合后的信息基本可以保留的很好, 图 3(b)中去噪融合的结果也是较为理想的。

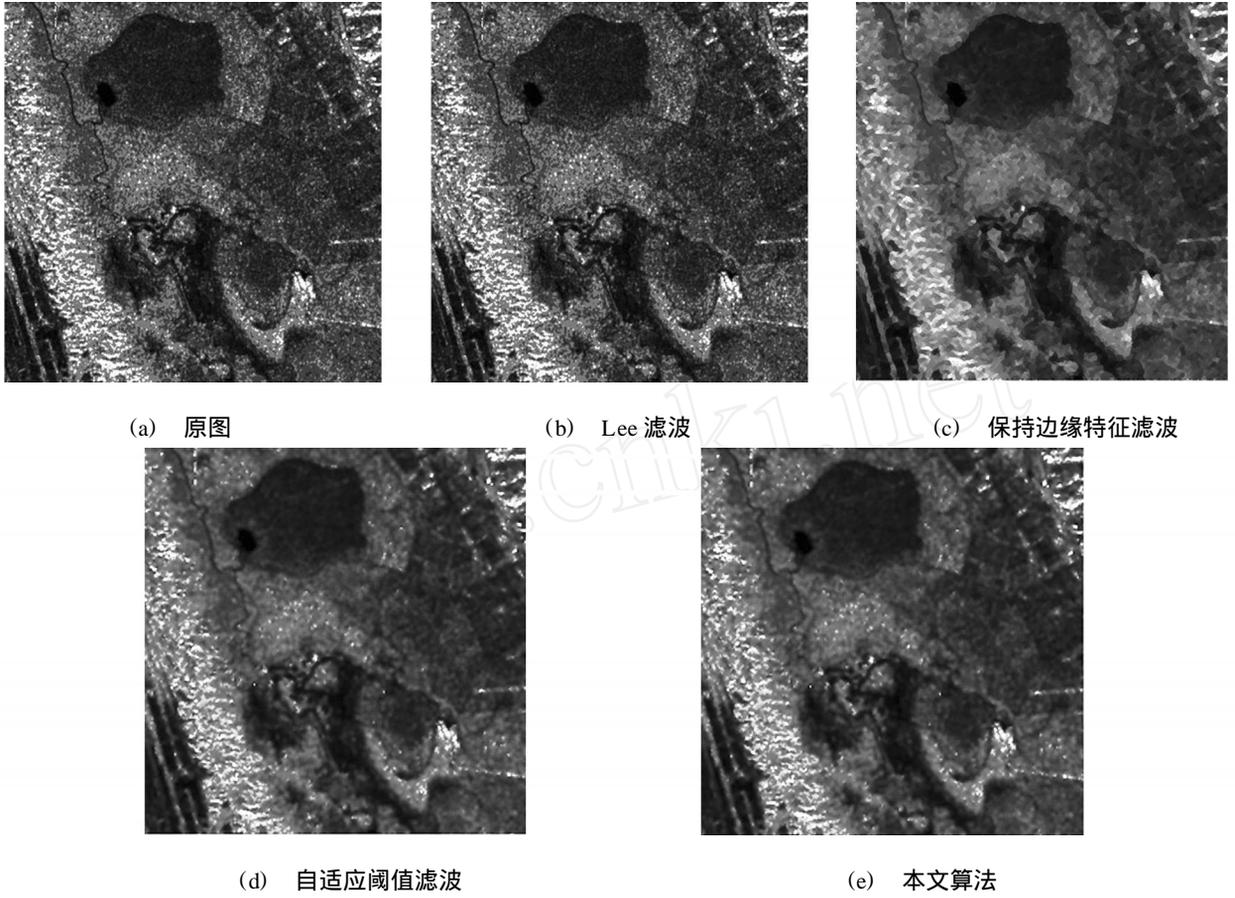


图 1 L 波段算法实现结果图

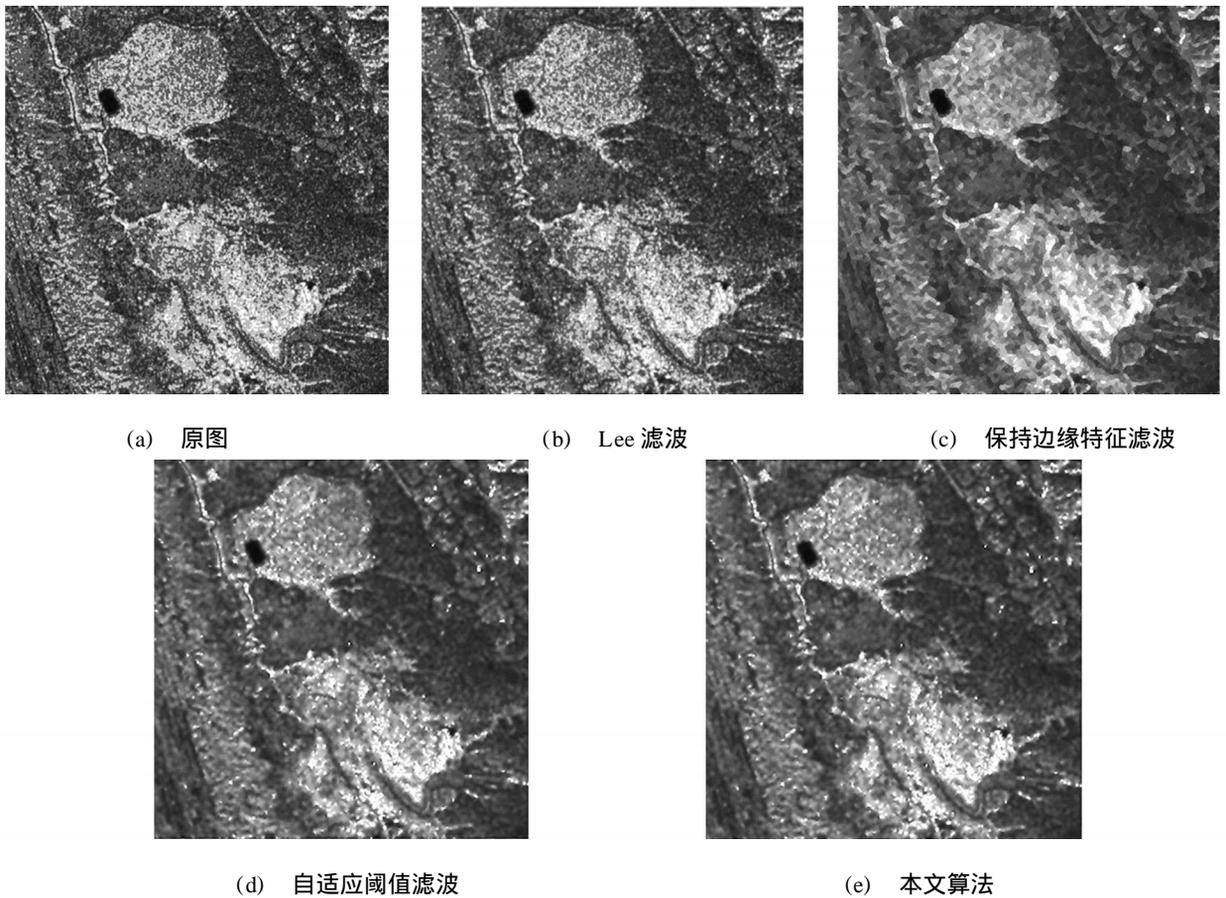
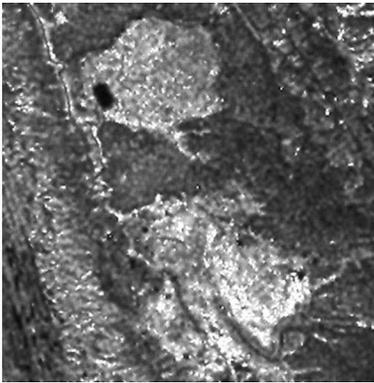


图 2 C 波段算法实现结果图



(a) 融合图像



(b) 本文算法去噪融合图

图 3 L 波段和 C 波段融合图

表 1 L 波段实验数据结果

	匀质区域 等效视数	总体等 效视数	辐射 分辨率	均值 偏差
L 波段原图	3.4527	1.5233	2.1918	
Lee 滤波	5.3170	1.6995	2.0096	0.0065838
保持边缘 特征滤波	9.4838	2.2082	1.6222	- 0.0296
自适应阈 值滤波	10.5139	2.0427	1.7306	0.0016
本文算法	10.6127	2.0474	1.7273	0.0016

表 2 C 波段实验数据结果

	匀质区域 等效视数	总体等 效视数	辐射 分辨率	均值 偏差
C 波段原图	5.2519	2.1401	1.6651	
Lee 滤波	7.4040	2.5403	1.4416	0.0069803
保持边缘 特征滤波	18.6821	3.4882	1.0947	- 0.0272
自适应 阈值滤波	13.7042	3.2037	1.1798	0.0016
本文算法	13.8533	3.2141	1.1765	0.0016

表 3 L 波段和 C 波段融合数据结果

	匀质区域 等效视数	总体等 效视数	辐射 分辨率
融合图像	5.2803	2.0692	1.7122
本文算法去噪融合图	13.9788	3.1073	1.2117

## 4 结论

Contourlet 变换和特征提取的结合, 可以使得 SAR 图像在平滑滤波时尽量减少纹理信息和细节信息的损失。利用 Contourlet 变换来提取线特征, 可以很好的保留边缘信息, 利用特征提取使得大量的点目标和区域目标信息得到很好的保留。实验结果显示, 新的算法不仅从视觉上改善了图像的质量, 而且其量化指标上也得到了很好的提高, 其等效视数提高, 辐射分辨率减少, 而且均值偏差也很小, 说明本文方法确实是在保持图像特征下的一种较好的 SAR 图像滤波方法。

### 参考文献:

- [1] 匡纲要, 高贵, 蒋咏梅. 合成孔径雷达[M]. 长沙: 国防科技大学出版社. 2007:9-11.
- [2] LEE J S. Speckle Suppression and Analysis for Synthetic Aperture Radar Image[J]. Opt. Eng, 1986, 25(5): 636-643.
- [3] KUAN D T, SAWCHUK A A. Adaptive Restoration of Image with Speckle [J]. Acoustics. Speech and Sig. Proc, IEEE Trans. 1987, ASSP(35): 373-383.
- [4] FROST V S, STILES J A, SHANMUGAN K S, HOLTMAN J C. A Mode for Radar Image and Its Application to Adaptive Digital Filtering of Multiplicative Noise [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1982: 157-165.
- [5] Do M N, Vetterli M. Contourlets. A Directional Multiresolution Image Representation[C]// Proc of IEEE Intet National Conference on Image Processing Rochester. NY:2002: 357-360.
- [6] Duncan D Y. Po and Minh N. Do. Directional Multiscale Modeling of Images Using the Contourlet Transform[J]. IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, 2006, 15(6): 1610-1620.
- [7] 孙强, 焦李成, 侯彪. 统计先验指导的非下采样 Contourlet 变换域 SAR 图像降斑[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版). 2008. 2, 35(1): 14-21.
- [8] Glenn R. Easley, Member, IEEE, Demetrio Labate, and Flavia Colonna. Shearlet Based Total Variation Diffusion for Denoising[J]. IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING. 2009. 2, 18(2): 260-268.
- [9] DO M N, Vetterli M. The Contourlet Transform: An Efficient Directional Multiresolution Image Representation [J]. IEEE Trans. Image Processing. 2005: 1-16.
- [10] Bamberger R. Smith M J. A Filter Bank for the Directional Decomposition of Image: Theory and Design[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1992, 40(4): 882-893.
- [11] 徐丰, 张红, 张波等. 基于改进正则化方法的 SAR 图像区域特征提取[J]. 遥感技术与应用. 2007, 22(4): 549-554.
- [12] 黎新伍. 基于 MRF 模型和 EM 算法的多源图像融合方法[J]. 传感技术学报. 2006, 4. 19(2): 525-529.

[13] 贾建, 焦李成, 孙强. 基于非下采样 Contourlet 变换的多传感器图像融合[J]. 电子学报. 2007, 35(10): 1934-1938.

[14] 林伟. 极化 SAR 图像分类的投影寻踪方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.



王瑞霞 (1984-), 女, 山西运城人, 西北工业大学理学院硕士研究生, 主要从事图像处理方面的研究, wangruixia921 @ 163.com



林 伟 (1965-), 女, 浙江瑞安人, 博士, 副教授, 主要从事统计信号与图像处理, 极化 SAR 图像处理等方面研究。

www.cnki.net