

DOI:10.13203/j.whugis.20141005



文章编号:1671-8860(2017)03-0348-07

# 一种新的去除遥感影像混合噪声组合滤波方法

朱建军<sup>1</sup> 周靖鸿<sup>1</sup> 周 瑾<sup>1</sup> 樊东昊<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 中南大学地球科学与信息物理学院,湖南 长沙,410083

**摘 要:**提出了一种三层组合滤波的去噪方法,在小波 BayesShrink 阈值与自适应中值滤波的基础上增加第三层 Wiener 滤波,利用 Wiener 滤波对信噪比高的信号去噪效果好的特点可有效去除残留的混合噪声,为了在去噪过程中保留影像的边缘,在滤波过程中加入了边缘提取算法,对影像的细节进行保留使去噪后的影像更加清晰。试验表明,本文提出的三层滤波方法在去除遥感影像常见的高斯与脉冲混合噪声时,效果要明显优于传统的两层组合滤波算法。

**关键词:**遥感影像去噪;组合滤波;BayesShrink 阈值;自适应中值滤波;Wiener 滤波;高斯噪声;脉冲噪声

**中图法分类号:**P407; TP751 **文献标志码:**A

由于仪器制造和周边环境等因素的影响,遥感图像不可避免地会包含噪声,因而在进行图像处理时往往需要先对遥感图像进行去噪处理。目前对遥感图像的处理主要考虑高斯噪声<sup>[1-5]</sup>与脉冲噪声<sup>[6-12]</sup>。

实际工作中图像的噪声很少是单一的噪声,而大多可能是高斯噪声和脉冲噪声的混合噪声。对于混合噪声,目前主要采用不同滤波方法进行组合,相比于单一的滤波方法,组合滤波更实用于含有高斯、脉冲等混合噪声的图像。袁文成<sup>[13]</sup>等提出了将中值滤波和自适应 Wiener 滤波相结合的组合滤波方法;胡晓东<sup>[14]</sup>等提出将中值滤波与小波域自适应 BayesShrink 阈值滤波相结合的组合滤波方法,该组合滤波能很好地消除混合噪声,但是滤波过程同时也造成了一定程度边缘数据的平滑,图像的清晰度降低;伍尤福<sup>[15]</sup>等提出了平稳小波和中值滤波相结合的组合滤波方法,该组合滤波对不含噪声的像元点也进行了滤波处理,因而引入了多余的噪声污染;侯建华<sup>[16]</sup>等提出了一种将 BayesShrink 阈值算法与自适应 Wiener 滤波相结合的组合滤波去噪方法,该方法对单一的高斯噪声效果明显,但用于混合噪声的去除时效果不是很好。

以上的滤波方法均是针对影像中常见的高

斯、脉冲混合噪声依次进行滤波的两层组合滤波,每种滤波都是通过阈值判别进行的。这些阈值的选取并没有考虑不同层次滤波的相互影响,因而即使有针对地进行两层滤波,也会导致每层滤波后或多或少残留部分噪声。本文提出了三层滤波结合边缘提取的思想。滤波过程会使得影像的边缘细节受到平滑,为保留影像的边缘,处理中加入了边缘提取,对影像的细节进行保留使去噪后的影像更加清晰。

## 1 组合滤波除去混合噪声方法

影像中的常见混合噪声是由高斯白噪声与脉冲噪声组合而成。从信号的角度来看,去噪是根据每层阈值进行滤波的问题。混合噪声中大部分为高斯噪声,其为一种加性噪声:

$$X(m, n) = S(m, n) + N(m, n) \quad (1)$$

式中, $S$  为原始信号; $N$  为均值为 0;方差为  $\delta$  高斯白噪声; $X$  为观测信号。

根据高斯噪声的特点,使存在高斯噪声的像素点与周围点有一定的相关性,通常用方差估计求阈值的方式来进行去噪,典型的便是小波自适应 BayesShrink 阈值去噪。同时,影像中还存在一定量的脉冲噪声,此噪声非连续,由短时间、大

收稿日期:2015-04-09

项目资助:国家 973 计划(2013CB733303);国家 863 计划(2012AA121301);国家自然科学基金(41274010)。

第一作者:朱建军,博士,教授,从事测量数据处理等研究。zjj@csu.edu.cn

通讯作者:周靖鸿,硕士。chxsjkzjh@163.com

幅度的不规则脉冲和尖峰组成。相对于高斯白噪声的连续性而言,该噪声与周围像素间的关联性较差,通常通过区别该像素点与周围点的奇异性来进行去除,具有代表性的是自适应中值滤波去噪。单一的滤波方法都只是针对其中一种噪声特点进行处理的,不能很好地去掉另一种噪声,为此,对于混合噪声一般都是运用两层滤波叠加的方式去除高斯与脉冲混合噪声。由于 SAR 影像中所含乘性噪声的特殊性,本文将在以后的研究中再对其进行分析。

### 1.1 小波域自适应 BayesShrink 去噪方法

小波域自适应 BayesShrink 法最早由 Chang<sup>[17]</sup>等提出,是在 VisuShrink<sup>[7,8]</sup>基础上的一种改进算法。以对角高频子带  $HH_{i,j}$  为例, BayesShrink 阈值为:

$$T_B(\delta_X) = \delta^2 / \delta_X \quad (2)$$

式中,  $T_B$  为 BayesShrink 阈值;  $\delta_X$  为小波分解对角高频子带  $HH_{i,j}$  的标准差估计;  $\delta$  为其噪声的标准差估计:

$$\delta = \text{median}(|HH_{i,j}|) / 0.6745 \quad (3)$$

式中,  $HH_{i,j}$  为影像经小波分解后的对角高频分量。由  $HH_{i,j}$  求取  $\delta_X$  的计算式:

$$\delta_{\text{HH}}^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i,j=1}^n HH_{i,j}^2 \quad (4)$$

$$\delta_X = \sqrt{\max(\delta_{\text{HH}}^2 - \delta^2, 0)} \quad (5)$$

对于每一高频系数求得的对应阈值进行软阈值去噪,则有:

$$Y = \begin{cases} \text{sgn}(X)(|X| - T_B), & |X| > T_B \\ 0, & |X| \leq T_B \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $\text{sgn}$  为  $X$  的正负性;  $Y$  为滤波后数据。

### 1.2 自适应中值滤波

文献[4]提出了基于个数判断脉冲噪声的自适应中值滤波。滤波过程是根据整体含噪影像求得一个门限阈值  $M$  作为该影像中像素点噪声判断的准则。假设每一个像素点均对应一个  $\mu(i,j)$  值,则阈值的求取为:

$$M = \bar{\mu} + \delta \quad (7)$$

其中,  $\bar{\mu}$ 、 $\delta$  分别为  $\mu$  的均值与方差:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mu(i,j) \quad (8)$$

$$\delta^2 = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\mu(i,j) - \bar{\mu})^2 \quad (9)$$

其中,  $\mu(i,j)$  为:

$$\mu(i,j) = (B(4) + B(5) + B(6) + B(7)) / 4 \quad (10)$$

式中,  $B$  为 5 像素  $\times$  5 像素窗口范围内每一像素点

与中心点差值的绝对值进行升序排列组成的数组。

### 1.3 自适应 Wiener 滤波

自适应 Wiener 滤波器是根据影像的整体方差与噪声估计方差进行去噪:

$$H(i,j) = \frac{\delta_s^2(i,j)}{\delta_s^2(i,j) + \delta_n^2} \quad (11)$$

式中,  $\delta_s^2(i,j)$ 、 $\delta_n^2$  分别为  $(i,j)$  点的信号方差与噪声方差。

自适应 Wiener 滤波根据影像的噪声方差来自适应变化,当局部方差相对较大时,滤波器的平滑效果较小;反之,则平滑效果较大。这可以在局部方差较大时保留影像的边缘轮廓,局部方差较小时有效去除影像噪声。对于两层滤波后影像中的残留噪声,能充分利用该滤波器的去噪优势。

### 1.4 三层滤波组合滤波新方法

前人算法中一部分是先去脉冲噪声再去高斯噪声<sup>[13,14]</sup>;另一部分则是先处理高斯噪声再去脉冲噪声<sup>[15,16]</sup>,这都是针对高斯与脉冲混合噪声依次逐层滤除。但是两层滤波方法在去除混合噪声时有一定的局限性,影像中的高斯脉冲混合噪声是同时存在的,两者相互联系。若利用传统组合滤波法先去脉冲噪声,此过程使影像中的高斯噪声也参与了脉冲噪声的判别与去除。使原本服从正态分布的高斯噪声在第二层滤波时已有部分点在上一层脉冲噪声滤除的过程中受到影响,从而干扰第二层滤波的处理,导致去噪结果中仍有部分混合噪声。同时,若是先进行高斯噪声的去除再进行脉冲噪声的处理,在高斯噪声去除过程中借助了影像的整体方差及均值等参数。去噪过程使影像中存在的脉冲噪声被部分分配到周围的像素点上,从而影响第二层脉冲噪声的去除,导致最终的去噪结果中仍残留有一定的混合噪声。同时,由于滤波器自身的限制,两层滤波器方法也存在着一定的不足。

由于滤波器自身阈值选取的不完美性与组合滤波去噪的原理存在的不足使传统的两层组合滤波在去除高斯与脉冲混合噪声时仍存在一定的残留噪声,并且去噪过程伴随有边缘平滑,使得去噪后影像的边缘细节变得模糊。本文三层滤波方法是在传统两层滤波的基础上提出的,基于滤波器阈值选取并非完善导致两层滤波去噪并不充分,影像中仍残留有小部分混合噪声,增加第三层自适应 Wiener 滤波去除残留噪声,保证去噪的充分性。同时,对第一层 BayesShrink 阈值滤波去噪后的影像用 Gauss-Laplace 算子进行边缘提取并将提取的边缘融合到最终的滤波去噪结果当中,

使去噪后的影像细节更加清晰便于观测。

算法的第一层利用小波域 BayesShrink 阈值去噪,第二层利用自适应中值滤波去噪后进行了第三层的自适应 Wiener 滤波处理。其目的是利用 Wiener 滤波在信噪比较大时可以保留边缘轮廓,在信噪比较小时可以很好地进行噪声去除的特点进行第三层滤波去噪,可以在保留影像边缘轮廓的同时提高影像的信噪比,这是对常见的两

层滤波器去除影像混合噪声方法的补充。其中在第一层进行高斯噪声去除后就进行边缘提取,这能充分地保留影像的细节边缘且不会受到高斯噪声的影响。同时,边缘提取算子能抑制脉冲噪声对其提取过程的影响,能很好地保留影像的边缘细节信息。这就是该三层滤波器组合并结合边缘提取算子保留影像边缘细节的遥感影像混合噪声去除方法。该算法的流程图如图 1 所示。

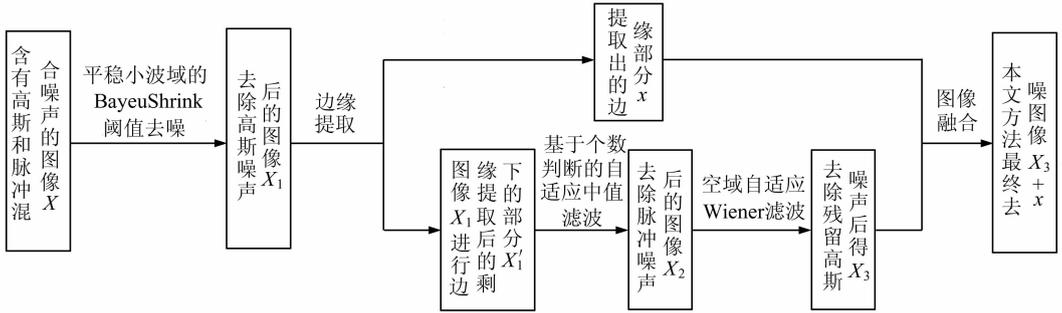


图 1 本文组合滤波方法流程图

Fig.1 Flowchart of Improved Combination Filtering Method

### 1.5 算法步骤

三层组合滤波算法的具体步骤如下。

- 1) 去除高斯噪声。用平稳小波变换对含混合噪声的影像进行自适应 BayesShrink 阈值去噪,以去除影像中含有的高斯噪声。
- 2) 影像边缘提取。利用 Gauss-Laplace 算子对去除了高斯噪声后的影像进行边缘提取,保留影像的边缘细节。
- 3) 去除脉冲噪声。对影像边缘提取后剩下的部分进行基于个数判断的自适应中值滤波,去除影像中的脉冲噪声。
- 4) 平滑融合处理。将去除脉冲噪声后的影像进行自适应 Wiener 滤波,并将 Wiener 滤波平滑后的影像与步骤 2) 中提取出的影像边缘进行融合,得到最终的结果。

组合滤波方法以及本文三层组合滤波方法进行对比试验。用峰值信噪比<sup>[20]</sup>(PSNR)与均方差<sup>[21]</sup>(MSE)以及结构相似度<sup>[22]</sup>(MSSIM)对影像的去噪效果进行定量比较。其中,PSNR 值越大、MSE 值越小、MSSIM 值越大代表去噪效果越好。图 2 是在 0.02/0.001 混合噪声下本文算法的结果。

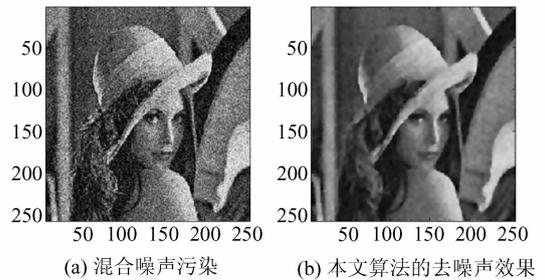


图 2 本文方法去除混合噪声的效果

Fig.2 Effects of Improved Algorithm to Remove Mixed Noise

## 2 试验与评价

### 2.1 模拟试验

为了验证三层滤波器影像去噪方法的有效性与优越性,模拟试验用 256 像素×256 像素 Lena 灰度影像,根据遥感影像中常见的混合噪声<sup>[18]</sup>类型对各种组合滤波方法进行对比试验。其中遥感影像常见的混合噪声主要包含 0.01/0.000 5、0.02/0.001、0.05/0.001、0.1/0.01 等 4 种,每组数据的前面的值代表高斯噪声的方差,后面的值代表脉冲噪声的密度。采用文献<sup>[13-16,19]</sup>中的

各种组合滤波方法去除不同种类混合噪声的效果如表 1 所示,其中对每种方法的各种混合噪声类型所得数据求平均得到的结果如表 2 所示。

### 2.2 结果分析

从表 1 和表 2 可以看出,三层组合滤波方法在去除影像的各类高斯和脉冲混合噪声时与传统的组合滤波方法相比具有更好的去噪效果。从表 1 还可以看出,各方法中当影像所含混合噪声量较小时相比于混合噪声量较大时前者的去噪效

表 1 各种组合滤波方法的去噪效果比较 (PSNR/MSE/MSSIM)

Tab. 1 De-noising Result Comparison of Various Composite Filters (PSNR/MSE/MSSIM)

去噪方法	噪声污染			
	0.01/0.0005	0.02/0.001	0.05/0.001	0.1/0.01
文献[15]方法	31.03/51.33/0.74	29.83/67.56/0.70	28.75/86.72/0.56	28.18/98.85/0.45
文献[19]方法	31.12/50.25/0.76	30.38/59.58/0.72	29.37/75.15/0.63	28.72/87.28/0.53
文献[14]方法	31.13/50.13/0.78	30.38/59.42/0.74	29.38/75.07/0.64	28.72/87.25/0.55
文献[13]方法	31.86/42.32/0.80	31.17/49.69/0.76	30.17/62.49/0.69	29.45/73.89/0.60
文献[16]方法	32.92/33.17/0.83	32.15/39.67/0.80	31.01/51.53/0.71	30.46/58.47/0.62
三层组合滤波法	33.08/32.01/0.85	32.36/37.77/0.81	31.27/48.53/0.73	30.67/55.68/0.63

表 2 各种组合滤波的平均结果

Tab. 2 Average Result of Various Composite Filters

组合滤波方法	文献[15]方法	文献[19]方法	文献[14]方法	文献[13]方法	文献[16]方法	三层组合滤波方法
PSNR	29.45	29.89	29.90	30.66	31.15	31.85
MSE	76.12	68.07	67.97	57.10	50.79	43.50
MSSIM	0.61	0.66	0.68	0.71	0.74	0.76

果要好,说明去噪效果还受到噪声量的影响。对于 PSNR 这一指标,本文方法只是高于文献[16]。图 3 分别为文献[16]方法去噪与三层滤波方法在 0.1/0.01 噪声类型下最终结果的放大,对比可看出三层滤波法的去噪效果明显优于文献[16]方法的去噪效果。综合 PSNR、MSE、MSSIM 各项指标对比,本文三层组合滤波方法峰值信噪比都最大且均方差都最小,且结构相似度值最高,去噪效果优于传统方法,在定性的视觉效果和定量的数据分析上都具有明显优势,适用于遥感影像所含混合噪声的去除。

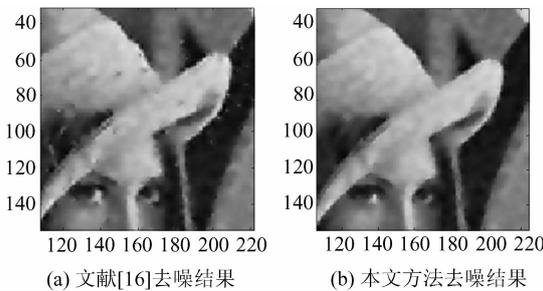


图 3 去噪效果对比

Fig. 3 Comparison of De-noising Effect

### 2.3 工程应用

#### 2.3.1 试验 1

试验影像截取于某地区上空的遥感影像,尺寸为 1 024 像素 × 1 024 像素。图 4 是以 0.01/0.0005 混合噪声类型为例的新算法的去噪结果。利用遥感影像中 4 种常见混合噪声进行试验,结果如表 3 所示。经过对比分析,本文组合滤波方法用于遥感影像中各类常见混合噪声的去除时其效果都优于传统各方法,去噪后影像的 PSNR、MSE、MSSIM 也都最优,可应用于实际遥感影像

的去噪。

#### 2.3.2 试验 2

为了说明去噪效果与影像尺寸不相关,选取了某地区上空尺寸为 384 像素 × 382 像素的遥感影像进行试验。图 5(a)、5(b)是以 0.05/0.001 混合噪声类型为例本文算法的去噪结果。表 4 是不同类型噪声污染下各方法的去噪结果。

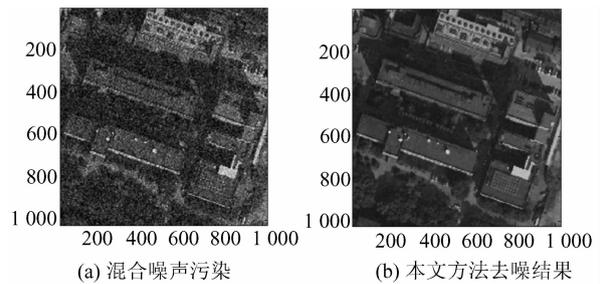


图 4 本文方法去除混合噪声的效果

Fig. 4 Effects of Improved Algorithm to Remove Mixed Noise

通过试验说明了三层组合滤波方法对尺寸较小的遥感影像的噪声去除也有一定的效果,图像纹理细节以及一些边缘线条上经过去噪后,观察效果得到改善,其 PSNR、MSE、MSSIM 的最终结果也都要优于传统方法,证明本方法可行有效。

#### 2.3.3 试验 3

为了说明本文方法在对遥感影像不同地物目标提取时的有效性,选取了农地上空的遥感影像图,图像尺寸为 256 像素 × 256 像素,以 0.02/0.001 混合噪声类型为例本文算法的去噪结果如图 5(c)、5(d)。不同噪声情况下各方法的试验结果如表 5 所示。

表3 各种组合滤波方法的去噪效果比较 (PSNR/MSE/MSSIM)

Tab. 3 De-noising Result Comparison of Various Composite Filters (PSNR/MSE/MSSIM)

去噪方法	噪声污染			
	0.01/0.0005	0.02/0.001	0.05/0.001	0.1/0.01
文献[15]方法	31.47/46.31/0.65	30.12/63.21/0.53	28.91/83.54/0.36	28.32/95.76/0.25
文献[19]方法	31.95/41.52/0.69	31.17/49.62/0.64	30.36/59.89/0.54	29.73/69.25/0.44
文献[14]方法	31.97/41.30/0.70	31.19/49.39/0.66	30.37/59.71/0.57	29.74/69.12/0.46
文献[13]方法	33.59/28.44/0.80	32.72/34.76/0.73	31.20/49.38/0.59	30.08/63.79/0.47
文献[16]方法	34.57/22.70/0.82	33.85/26.80/0.74	33.52/28.93/0.60	33.99/25.91/0.49
三层组合滤波法	34.59/22.58/0.84	33.99/25.97/0.77	33.70/27.75/0.62	34.18/24.81/0.51

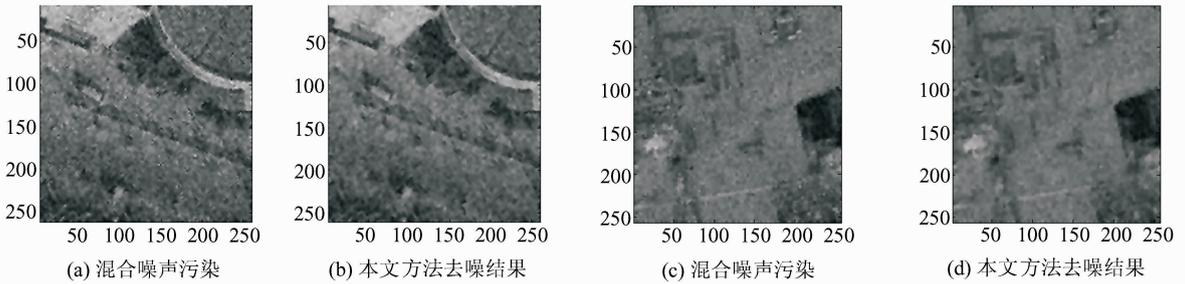


图5 本文方法去除混合噪声的效果

Fig. 5 Effects of the Improved Algorithm to Remove Mixed Noise

表4 各种组合滤波方法的去噪效果比较 (PSNR/MSE/MSSIM)

Tab. 4 De-noising Result Comparison of Various Composite Filters (PSNR/MSE/MSSIM)

去噪方法	噪声污染			
	0.01/0.0005	0.02/0.001	0.05/0.001	0.1/0.01
文献[15]方法	31.40/47.09/0.67	29.98/65.22/0.57	28.96/82.65/0.41	28.18/98.77/0.28
文献[19]方法	32.88/33.49/0.69	31.96/41.34/0.61	30.90/52.91/0.52	29.54/72.32/0.44
文献[14]方法	32.90/33.30/0.71	32.18/39.31/0.63	31.96/41.43/0.53	30.81/53.86/0.44
文献[13]方法	32.91/33.24/0.79	32.21/39.14/0.73	32.17/39.49/0.60	30.82/53.80/0.48
文献[16]方法	33.95/26.14/0.82	32.59/35.82/0.75	32.18/39.41/0.62	31.72/43.73/0.51
三层组合滤波法	34.23/24.59/0.83	32.94/33.16/0.76	32.28/38.46/0.64	31.96/41.43/0.52

表5 各种组合滤波方法的去噪效果比较

Tab. 5 De-noising Result Comparison of Various Composite Filters

去噪方法	噪声污染			
	0.01/0.0005	0.02/0.001	0.05/0.001	0.1/0.01
文献[15]方法	31.32/47.89/0.62	30.05/64.26/0.48	28.89/83.89/0.31	28.09/100.87/0.20
文献[19]方法	32.35/37.81/0.64	31.56/45.41/0.57	30.71/55.14/0.49	29.51/68.68/0.38
文献[14]方法	32.38/37.54/0.65	31.58/45.12/0.58	30.74/54.75/0.51	29.76/68.20/0.40
文献[13]方法	33.27/30.63/0.73	32.39/37.49/0.66	30.94/52.32/0.52	29.79/72.86/0.46
文献[16]方法	34.05/25.58/0.75	32.61/35.59/0.67	31.46/46.38/0.52	31.30/48.22/0.47
三层组合滤波法	34.28/24.25/0.78	33.07/32.07/0.69	32.01/40.97/0.54	31.58/45.24/0.49

通过以上3个真实遥感影像的试验结果观察可得,本文三层组合滤波方法无论是从去噪的定性视觉效果,还是定量的PSNR、MSE、MSSIM指标评价上都要优于传统方法,能较好的去除遥感影像中常见的高斯与脉冲混合噪声,可用于影像处理。

### 3 结语

针对遥感影像中存在的混合噪声,对传统的

两层滤波方法进行研究,本文提出了一种新型的组滤波方法。该方法与目前常见的组滤波方法相比较,从人眼的视觉效果与去噪的数据质量对比上都有明显的优势。在去除高斯噪声之后及时利用边缘提取算子进行影像的边缘提取,这样可以在去除高斯噪声之后很好地保留影像的边缘细节信息并在总体去噪过程进行完成后将其加入到影像当中去,提高影像的边缘细节信息,同时可避免在后续噪声去除过程中边缘平滑的出现。综上所述,该方法是一种新型的组滤波去噪方法,

在最大程度地保护影像有用信息的同时,能有效地去除遥感影像中常见含有的高斯和脉冲混合噪声,并充分保留了影像的边缘细节,适用于遥感影像常见类型混合噪声的去除,可推广应用于实际工程当中。

### 参 考 文 献

- [1] Wang Lucai, Wang Yaonan, Mao Liuping. Registration of InSAR Image Based on Integrating Correlation Registration and Max-spectrum Image registration [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2005, 34(2): 108-112(汪鲁才, 王耀南, 毛六平. 基于小波变换和中值滤波的 InSAR 干涉影像滤波方法[J]. *测绘学报*, 2005, 34(2): 108-112)
- [2] Xu Caijun, Wang Hua, Wang Jianglin. Directionally Dependent Adaptive SIGMA Median Filter [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(10): 873-876(许才军, 王华, 王江林. 基于有向窗的自适应 SIGMA 中值滤波算法[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2005, 30(10): 873-876)
- [3] Lai Xudong, Wan Youchuan. A Filter Algorithm for LIDAR Intension Image [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(2): 158-160(赖旭东, 万幼川. 一种针对激光雷达强度图像的滤波算法研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2005, 30(2): 158-160)
- [4] Xiang Liling, Liu Zhi, Qi Ji, et al. Method of Video Image De-noising Based on Mixed Filter [J]. *Journal of Jilin University (Information Science Edition)*, 2013, 31(3): 266-271(项力颖, 刘智, 齐冀, 等. 影像去噪的混合滤波方法[J]. *吉林大学学报(信息科学版)*, 2013, 31(3): 266-271)
- [5] Gao Jian, Zhang Bin, Zhang Feiyan, et al. Surface Min/Max Flow Method for Remote Sensing Image Denoising [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(1): 31-34(高建, 张斌, 张飞艳, 等. 一种遥感影像 Min/max 流去噪方法的研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2012, 37(1): 31-34)
- [6] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal Spatial Adaptation by Wavelet Shrinkage [J]. *Biometrika*, 1994, 81(3): 425-455
- [7] Donoho D L. De-noising by Soft-thresholding [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1995, 41(3): 613-627
- [8] Donoho D L, Johnstone I M. Threshold Selection for Wavelet Shrinkage of Noisy Data [C]. Annual International Conference of the IEEE, Baltimore, MD, 1994
- [9] Shao Haimei, Mei Tiancan, Qin Qianqing. Spread Spectrum Watermark Based on Wavelet Transform for Digital Image [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(5): 626-629(邵海梅, 梅天灿, 秦前清. 基于小波变换的扩频水印算法[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2003, 28(5): 626-629)
- [10] Wan Honglin, Jiao Licheng, Wang Guiting, et al. A Region-of-interest Level Method for Change Detection in SAR Imagery [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2012, 41(2): 239-245(万红林, 焦李成, 王桂婷, 等. 在感兴趣的区域层面上进行 SAR 影像变化检测的方法研究[J]. *测绘学报*, 2012, 41(2): 239-245)
- [11] Wang Hongmei, Li Yanjun, Zhang K. An Image De-noising Method Based on Stationary Wavelet [J]. *Infrared Technology*, 2006, 28(7): 404-407(王红梅, 李言俊, 张科. 基于平稳小波变换的影像去噪方法[J]. *红外技术*, 2006, 28(7): 404-407)
- [12] Yuan Xiugui, Wang Jun, Huang Xiujian, et al. An Improved Algorithm of Image De-noise and Enhancement Using Wavelet Transform [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2005, 36(2): 298-301(袁修贵, 王军, 黄修建, 等. 基于小波变换的一种影像增强去噪算法[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2005, 36(2): 298-301)
- [13] Yuan Wencheng, Yang Dexing, Chen Chao. A Synthetic Filtering Method for Restoration of Images Contaminated by Mixed Noise [J]. *Microprocessors*, 2007(4): 78-80(袁文成, 杨德兴, 陈超. 影像混合噪声的一种组合滤波消除方法[J]. *微处理机*, 2007(4): 78-80)
- [14] Hu Xiaodong, Peng Xin, Yao Lan. Study of Wavelet Domain Gaussian Mixture Model with Median Filtering Mixed Image Denoising [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, 36(12): 2 381-2 385(胡晓东, 彭鑫, 姚岚. 小波域高斯混合模型与中值滤波的混合图像去噪研究[J]. *光子学报*, 2007, 36(12): 2 381-2 385)
- [15] Wu Youfu. A Adaptive De-noising Method Used to Image with Mixed Noises [J]. *Information Technology*, 2007(8): 76-77(伍尤富. 一种混合噪声影像的自适应滤波方法[J]. *信息技术*, 2007(8): 76-77)
- [16] Hou Jianhua, Tian Jinwen, Liu Jian. An Improved Joint Scheme for Image Denoising [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(11): 150-153(侯建华, 田金文, 柳健. 一种改进的影像组合滤波方法[J]. *光子学报*, 2005, 34(11): 150-153)
- [17] Chang S G, Yu B, Vetterli M. Adaptive Wavelet

- Thresholding for Image Denoising and Compression [J]. *IEEE Trans Image Processing*, 2000, 9(9): 1 532-1 546
- [18] Wang Xianghai, Zhang Hongwei, Li Fang. A PDE-based Hybrid Model for De-noising Remote Sensing Image with Gaussian and Salt-pepper Noise [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2010, 39(3): 283-288(王相海, 张洪为, 李放. 遥感图像高斯与椒盐噪声的PDE混合去噪模型研究[J]. 测绘学报, 2010, 39(3): 283-288)
- [19] Wan Qian, Xue Ming. Mixed Adaptive Image Denoising Algorithm Based on Noise Isolation and Wavelet Thresholding[J]. *Electronic Sci & Tech*, 2011, 24(5): 94-96(万千, 薛明. 基于噪声分离和小波阈值自适应图像去噪算法[J]. 电子科技, 2011, 24(5): 94-96)
- [20] Ichigaya A, Nishida Y, Nakasu E. Nonreference Method for Estimating PSNR of MPEG-2 Coded Video by Using DCT Coefficients and Picture Energy[J]. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 2008, 18(6): 817-826
- [21] Salman A G, Kanigoro B. Application Hiding Messages in JPEG Images with the Method of Bit-plane Complexity Segmentation on Android-based Mobile Devices[J]. *Procedia Engineering*, 2012, 50: 314-324
- [22] Ma Xudong, Yan Li, Cao Wei, et al. A New Image Quality Assessment Model Based on the Gradient Information[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(12): 1 412-1 418(马旭东, 闫利, 曹伟, 等. 一种新的利用梯度信息的图像质量评价模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(12): 1 412-1 418)

## A New Combination Filtering Method to Remove Mixed Noise of Remote Sensing Images

ZHU Jianjun<sup>1</sup> ZHOU Jinghong<sup>1</sup> ZHOU Cui<sup>1</sup> FAN Donghao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China

**Abstract:** Two layers of composite filter is a common way to remove mixed Gaussian and impulse noise in the image. Such methods do not consider the interaction between the two different layers and the shortcoming on the choice of filter threshold, thus the residual mixed noise is unavoidable, and filtering process is going to smooth the edge details of the image, leads to image observation fuzzy. So this paper proposes a method of de-noising that has three layers combination filter. Adaptive Wiener filtering is added to the third layer based on the wavelet BayesShrink threshold de-noising and the adaptive median filtering de-noising, this take the advantage of Wiener filtering in processing the noise when the signal is high SNR(signal noise ratio). In order to reserve the edge details of image in the de-noising process, this paper also uses edge detection operator, therefore the details are retained and the de-noising result is more sharpening. Experimental results show that the proposing method of triple layer composite filter is better than two layers of filter in de-noising the mixed Gaussian and impulse noise of remote sensing image.

**Key words:** de-noising of remote sensing image; combination filtering; BayesShrink threshold; adaptive median filtering; Wiener filtering; Gaussian noise; impulse noise

**First author:** ZHU Jianjun, PhD, professor, specializes in surveying data processing. E-mail: zjj@csu.edu.cn

**Corresponding author:** ZHOU Jinghong, master. E-mail: chxsjzkzh@163.com

**Foundation support:** The Major State Basic Research Development Program of China (973 Program), No. 2013CB733303; the National High-tech R&D Program of China (863 Program), No. 2012AA121301; the National Natural Science Foundation of China, No. 41274010.