

# 一种滤除医学影像噪声的混合滤波算法

王小兵 孙久运

(中国矿业大学环境与测绘学院 江苏 徐州 221116)

**摘要** 目的 医学影像在获取、存储、传输过程中会不同程度地受到噪声污染,这极大影响了其在临床诊疗中的应用。为了有效地滤除医学影像噪声,提出了一种混合滤波算法。方法:该算法首先将含有高斯和椒盐噪声的图像进行形态学开运算,然后对开运算后的图像进行二维小波分解,得到高频和低频小波分解系数。保留低频系数不变,将高频系数经过维纳滤波器进行滤波,最后进行小波系数重构。结果:采用该混合滤波算法、小波阈值去噪、中值滤波、维纳滤波分别对含有混合噪声的医学影像分别进行滤除噪声处理,该滤波算法去噪后影像的 PSNR 值明显高于其他三种方法。结论:该混合滤波算法是一种较为有效的医学影像噪声滤除方法。

**关键字** 小波阈值去噪 数学形态学 维纳滤波 混合滤波算法

**中图分类号** :TP391 R814 **文献标识码** :A **文章编号** :1673-6273 (2011) 20-3954-04

## A Medical Image Noise Filtering Hybrid Filter Algorithm

WANG Xiao-bing, SUN Jiu-yun

(The school of environment & spatial informatics, china university of mining and technology, Xuzhou, Jiangsu, 221116)

**ABSTRACT Objective:** Medical image in acquisition, storage, and transport process may be polluted by all kinds of noise in different degree. In order to effectively filter medical image noise, a hybrid filter algorithm was presented. **Methods:** Firstly, the medical image which contains Gaussian and salt & pepper noise was implemented morphological opening operation. Then medical image through two-dimensional wavelet decomposition, retaining the low frequency wavelet coefficient unchanged, at the same time the high frequency wavelet coefficient was conducted wiener filtering. Finally, the wavelet coefficient were reconstructed. **Results:** Using this hybrid algorithm, wavelet shareholding denoising, median filtering, and wiener filters respectively on the medical image which contains mixture noise filtering processing. The algorithm is significantly higher than the PSNR value to the other three kinds of filtering methods. **Conclusion:** The hybrid filter algorithm is a kind of relatively effectively medical image noise fitter method.

**Key words:** Wavelet shareholding denoising; Mathematical morphology; Wiener filters; Hybrid filtering algorithm

**Chinese Library Classification(CLC):** TP391 R814 **Document code:** A

**Article ID:** 1673-6273(2011)20-3954-04

### 前言

医学影像由于在获取、存储、传输过程中的种种原因,使得图像质量下降,影像细节信息丢失,严重影响了在临床诊疗中的应用效果。滤除医学影像噪声是影像预处理的一项极为重要的工作,是影像分割、影像判读、三维重建等研究的前提和基础。

当前医学影像去噪处理算法多重多样,大体上可以分为三类:(1)采用经典的滤波技术,以及在此基础上的算法改进,如作为非线性滤波技术的代表-中值滤波是滤除图像噪声的有效手段,研究者们在此基础进行了一系列的算法改进。权衡中值滤波算法<sup>[1]</sup>,最大最小值滤波算法<sup>[2]</sup>,中心权衡的中值滤波算法<sup>[3]</sup>,自适应中值滤波法<sup>[4]</sup>,极值中值滤波方法<sup>[5]</sup>;(2)将具有严密理论基础的分析方法用于图像去噪处理,如小波变换、数学形态学等方法以及在此基础上的改进算法。黄建伟<sup>[6]</sup>等对传统小波萎缩去噪方法进行改进,提出了在不同分解尺度和方向上采用不同的阈值进行消噪方法,高育鹏等<sup>[7]</sup>提出将数学形态学

滤波算法用于红外图像消噪处理;(3)将各种滤波技术和分析方法有机结合,发挥各自的滤除噪声中的优势,如叶鸿瑾等<sup>[8]</sup>将小波变换与中值滤波相结合用于医学图像去噪,史玉林等<sup>[9]</sup>提出均值滤波和小波分析的图像去噪方法,刘金梅<sup>[10]</sup>等提出将数学形态学与小波融合相结合用于红外图像去噪。

本文在充分研究了小波变换、维纳滤波和数学形态学滤波去噪基本原理的基础上,将三者有机结合,提出了一种滤除医学 CT 影像噪声的混合滤波算法。

### 1 几种滤波技术

#### 1.1 小波阈值去噪

小波去噪从本质上来说是一个数学函数逼近问题,通过小波母函数的平移和伸缩来构成函数空间,在此基础上寻求对原函数的最佳逼近,从而实现信号和噪声的有效分离。小波变换之所以能够有效的区分噪声和信号,主要得益于小波变换具有如下特性<sup>[11]</sup>:(1)低熵性;(2)多分辨特性;(3)选基灵活性;(4)去相关性。小波去噪方法主要步骤:(1)对图像进行小波分解;(2)对小波分解后的高频系数进行线性或非线性处理;(3)小波系数重构。小波阈值法由于原理简单,计算速度快,因而是一种使用较为普遍的非线性处理方法。该方法是利用图像经过

**作者简介** 王小兵 (1988-),男,硕士研究生,主要研究方向 医学图像处理, E-mail: wangxiaobing191711@163.com, Tel: 13585479180  
(收稿日期 2011-03-21 接受日期 2011-04-15)

小波分解后的各子图像的不同特性,通过设定不同的阈值来达到滤除噪声的目的<sup>[12]</sup>。阈值函数模型的主要有如下两种:

### (1) 硬阈值函数模型

Donoho<sup>[13]</sup>于 1994 年提出软阈值函数模型,是通过设定一个阈值  $\lambda$ ,如果图像经过小波分解后的小波系数绝对值大于或等于该阈值,则保留该小波系数不变;反之则将该小波分解系数设为 0。

$$\hat{\omega}_{jk} = \begin{cases} \tilde{\omega}_{jk} & |\tilde{\omega}_{jk}| \geq \lambda \\ 0 & |\tilde{\omega}_{jk}| < \lambda \end{cases} \quad (1-1)$$

### (2) 软阈值函数模型

1995 年 Dohono<sup>[14]</sup>提出硬阈值函数模型,该模型是通过设定阈值  $\lambda$ ,将小波分解系数与该阈值进行比较,如果小波系数的绝对值大于或等于该阈值,则取该系数与阈值  $\lambda$  之差作为输出结果;如果小波系数的绝对值小于该阈值,则将该系数的值设置为 0。如果小波系数小于该阈值的相反数,则取该系数与阈值  $\lambda$  之和作为输出结果。

$$\hat{\omega}_{jk} = \begin{cases} \tilde{\omega}_{jk} - \lambda & |\tilde{\omega}_{jk}| \geq \lambda \\ 0 & |\tilde{\omega}_{jk}| < \lambda \\ \tilde{\omega}_{jk} + \lambda & |\tilde{\omega}_{jk}| \leq -\lambda \end{cases} \quad (1-2)$$

## 1.2 数学形态学滤波

数学形态学是建立在集合论基础上的一门学科,是以形态为基础对图像进行分析的数学工具,其基本思想是使用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中对应的形状从而达到图像分析和识别的目的<sup>[15]</sup>。数学形态学有两种基本运算:

### (1) 膨胀

设  $a$  为图像集合,  $b$  为结构元素,用结构元素  $b$  对集合  $a$  进行膨胀运算过程为:首先对结构元  $b$  做关于原点的映射得到  $\hat{b}$ ,然后将  $\hat{b}$  平移  $i$  得到  $b(i)$ ,最后计算  $b(i)$  与  $a$  交集不为空的集合,其数学表达式:

$$a \oplus b = \{i \mid b(i) \cap a \neq \emptyset\} \quad (1-3)$$

### (2) 腐蚀

结构元素  $b$  对集合  $a$  进行腐蚀的运算就是计算结构元素  $b$  平移  $i$  后,与图像集合  $a$  的交集,其数学表达式:

$$a \ominus b = \{i \mid b(i) \subseteq a\} \quad (1-4)$$

膨胀和腐蚀并非互逆运算,对图像先腐蚀运算后膨胀运算称为开启运算;先对图像进行膨胀运算后进行腐蚀运算称之为闭运算:

$$\begin{cases} a \circ b = (a \ominus b) \oplus b \\ a \cdot b = (a \oplus b) \ominus b \end{cases} \quad (1-5)$$

开启运算可以在基本保持图像整体灰度值不变的情况下,消除比结构元素尺寸小的成分,闭运算可以填充图像中细小裂缝,选择合适的结构元素可以滤除图像噪声<sup>[16]</sup>。

## 2.3 维纳滤波器

20 世纪 40 年代 Norbert Wiener 提出的一种滤波器,主要原理是假定线性滤波器的输入是有用信号和噪声信号之和,两者均为广义平稳过程且它们的二阶统计特性已知,根据误差准则从而求得滤波器参数<sup>[15]</sup>。

维纳滤波器假定信号模型是:

$$F = s + n \quad (1-6)$$

其中  $F$  是输入信号,  $s$  为图像有用信号,  $n$  是噪声信号,假定二者是相互独立的。

定义  $\hat{W}$  为滤波器,使得其在均方误差条件下取得最小值,  $MSE = E(s - \hat{W}F)^2$  (1-7)

对 (2) 式进行展开得到:

$$MSE = E(s^2 - 2\hat{W}sF + \hat{W}^2F^2) = E(S^2) - 2\hat{W}E(sF) + E(\hat{W}^2F^2) \quad (1-8)$$

对 (3) 进行求导,并令其等于 0 可得:

$$\hat{W} = \frac{E(sF)}{E(F^2)} = \frac{E(s(s+n))}{E(F^2)} = \frac{E(s^2)}{E(F^2)} \quad (1-9)$$

由 (1) 式以及和相互独立可知:

$$E(F^2) = E(s+n)^2 = E(s^2) + E(n^2) = E(s^2) + \sigma_n^2 \quad (1-10)$$

由于 (5) 式并参照 (4) 式得:

$$\hat{W} = \frac{E(s^2) - \sigma_F^2}{E(F^2)} \quad (1-11)$$

其中  $\sigma_F^2$  为含噪图像像素方差。

综合以上分析可知,滤波后图像信号  $\bar{F}$  可以表示为:

$$\bar{F} = \mu_F + \hat{W}(F - \mu_F) \quad (1-12)$$

其中  $\mu_F$  为含噪图像像素均值。

## 2 本文算法

### 2.1 算法基本思想

鉴于小波阈值去噪,数学形态学滤波器以及维纳滤波器在抑制图像噪声保留图像细节方面具有各自的优势,本文在综合三者优势的基础上提出了一种滤除医学影像噪声的混合滤波方法。该方法主要步骤为:(1) 对含有噪声的 CT 影像进行数学形态学开运算以消除相对于结构元素较小的噪声点;(2) 然后对形态学开运算后的 CT 影像进行二维小波分解得到高频系数  $H1, V1, D1$  和低频系数  $A1$ ;(3) 保留低频系数  $A1$  不变,对高频分解系数分别进行维纳滤波;(4) 将低频分解系数  $A1$  和经过维纳滤波处理后的高频小波分解系数进行小波重构,得到滤除噪声后的 CT 影像。该算法的流程如图 1 所示:

### 2.2 实验与分析

为了验证本文算法的滤除噪声的有效性,在 MATLAB7.0 环境下进行仿真试验,试验图像为一幅人体胸腔 CT 影像。使用函数 `imnoise` 对 CT 影像分别加入高斯和椒盐构成混合噪声。采用 `db7` 小波对经过形态学开运算后的 CT 影像进行二维小波分解,对小波高频分解系数通过定义维纳滤波器进行滤波,最后调用函数 `idwt2` 进行影像重构。为了方便对试验结果进行比较与分析本文采用以下两种方法:(1) 鉴于 CT 影像为灰度图像,试验之前首先对该影像进行彩色预处理以便主观上比较与分析;(2) 引进峰值信噪比 (PSNR) 作为衡量影像去噪质量的标准,PSNR 值越高,说明去噪效果越好。限于篇幅,本文仅给出混合噪声(均值为 0,方差为 0.04 的高斯噪声和密度为 0.04 的椒盐噪声构成的混合噪声)四种算法去噪结果,图 2 (a) 为原始影像,图 2 (b) 为彩色预处理后的影像,图 2 (c) 是添加噪声均值为 0.04 (高斯和椒盐混合噪声)影像,图 2 (d) ~ (g) 为小波阈值去噪、中值滤波、维纳滤波和本文算法去噪后的影像。

通过对图 2 和表 1 中的数据分析比较可以得出如下结论:

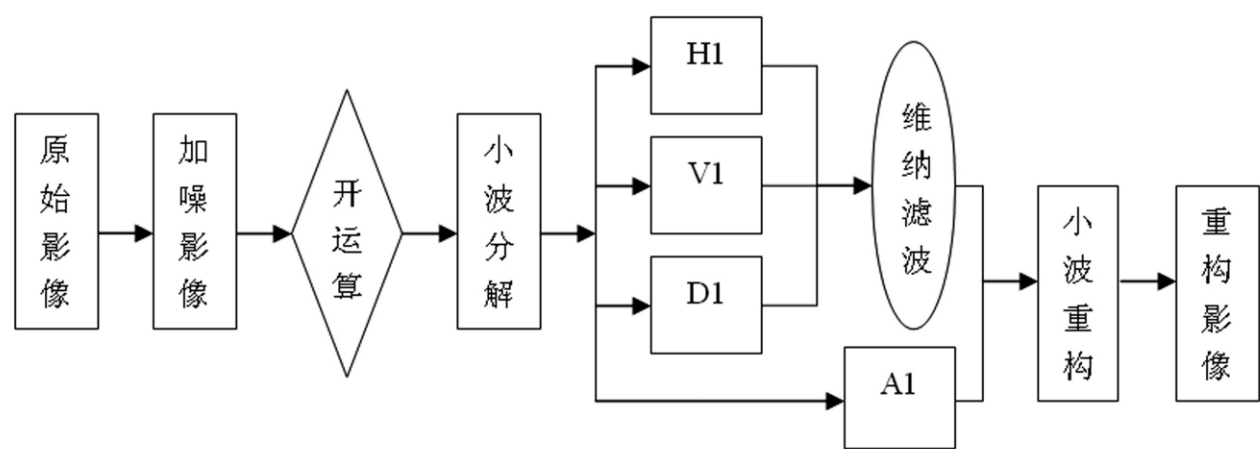


图 1.本文算法流程

Fig.1The algorithm process

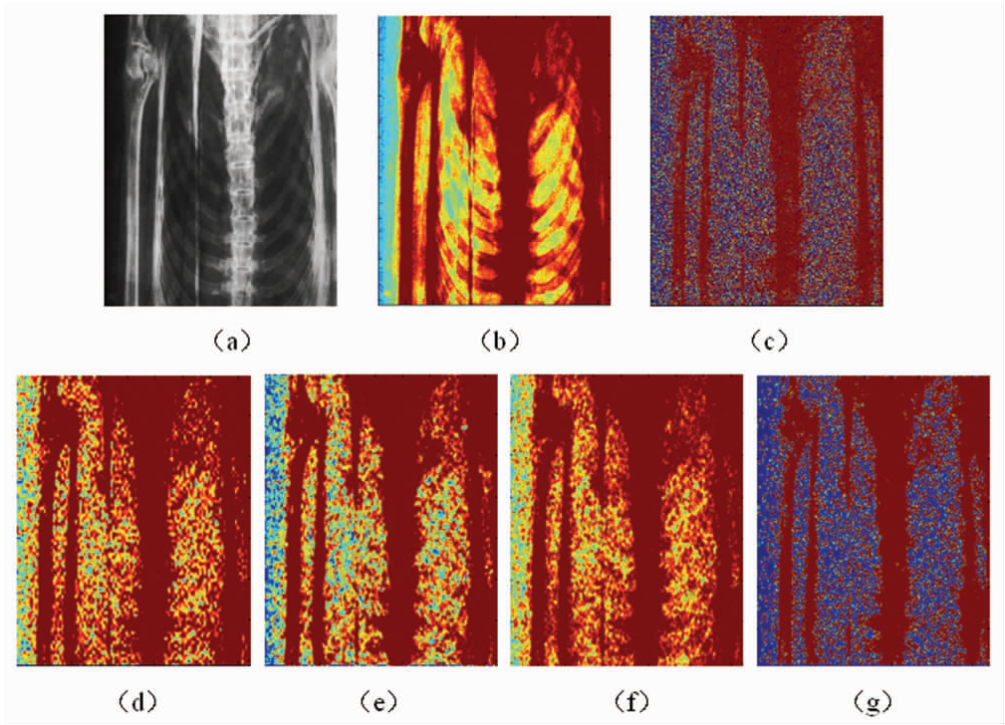


图 2 四种算法处理结果

Fig.2 Four algorithm de-noising result

表 1.四种去噪算法 PSNR (dB) 值

Table 1 Four denoising PSNR(dB)values

| Mixture noise<br>(variance, density) | Wavelet shareholding<br>denoising | Median filtering<br>(5 × 5filter template) | Median filtering<br>(5 × 5 filter template) | Hybrid filter algorithm<br>( 5 × 5filter template) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 0.01                                 | 24.995                            | 24.837                                     | 25.073                                      | 25.190                                             |
| 0.02                                 | 23.136                            | 23.085                                     | 23.360                                      | 25.156                                             |
| 0.03                                 | 22.720                            | 22.338                                     | 22.837                                      | 24.676                                             |
| 0.04                                 | 22.721                            | 22.020                                     | 22.933                                      | 24.568                                             |
| 0.05                                 | 22.714                            | 21.928                                     | 23.085                                      | 24.173                                             |
| 0.06                                 | 23.258                            | 21.656                                     | 23.364                                      | 24.295                                             |
| 0.07                                 | 23.637                            | 21.786                                     | 23.935                                      | 23.959                                             |

(I) 随着混合噪声方差和密度的增大,无论是小波变换、中值滤波、维纳滤波还是本文算法的 PSNR 值均呈现下降的趋势,这说明这四种去噪算法随着影像噪声的增大,滤除噪声后的影像质量有所下降；



(2) 当混合噪声为 0.01 (方差为 0.01 高斯噪声和密度为 0.01 的椒盐噪声) 时,四种去噪算法滤除噪声的效果均比较好,其 PSNR 值大体相近,本文算法和维纳滤波去噪效果几乎相同;

(3) 混合噪声处于 0.02-0.07 (方差为 0.02-0.07 高斯噪声和密度为 0.02-0.07 椒盐噪声) 之间,本文算法相对于其他三种滤波算法的优势越来越明显,其 PSNR 值明显高于前三种算法,这反映出本文提出的混合滤波算法在滤除高密度影像噪声方法优于单一的滤波算法,从而证明该算法的实用性。

### 3 结束语

本文在充分分析了小波变换、维纳滤波以及形态学滤波去噪基本原理的基础上提出了一种滤除医学影像噪声的混合滤波算法。该算法将以上三种滤波算法有机结合,充分发挥各自的优势,试验证明本文所提出的混合滤波算法的可行性与实用性。

#### 参考文献 (References)

- [1] Prowntiggm D.The weighed median filters [J].Communications of the ACM, 27(1984):807-818
- [2] Immem M. A noise peak elimination filter [J].CVGIP: Graph Models Image Process, 1991, 53:204-211
- [3] Ko S J.Center weighted median filters and their applications to image enhancement [J].IEEE Truncations on Circuits and Systems, 1991, 38:984-993
- [4] Restrepo A,Bovik A C.Adaptive trimmed mean filters for image restoration [J].IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing,1998,36(13):1326-1337
- [5] 刑藏菊,王守觉,邓浩江等.一种基于极值的新型滤波算法[J].中国图像图形学报,2001,6(6):533-536  
Xing Zang-ju, Wang Shou-jue, Deng Hao-jiang etc.A new filtering algorithm based on extremum and median value [J].Journal of Image and Graphics,2001,6(6):533-536(In Chinese)
- [6] 黄建伟,张成.一种基于小波的图像去噪方法[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2010,28(2):172-174  
Huang Jian-wei, ZhangCheng.A wavelet-based method for image denoising [J].Journal of Jiamusi University(Natural Science Edition), 2010, 28(2):172-174(In Chinese)
- [7] 高育鹏,黄树采,白云.数学形态学滤波算法在红外图像噪声消除中的应用[J].弹箭与制导学报,2008, 28(3): 296-298  
Gao Yu-peng, Huang Shu-cai, Bai Yun.Application of math-morphological filtering approach to infrared image noise elimination [J].Journal of Projectiles,Rockets, Missiles and Guidance,2008,28 (3): 296-298 (In Chinese)
- [8] 叶鸿瑾,张雪英,何小刚.基于小波变换和中值滤波的医学图像去噪[J].太原理工大学学报, 2005, 36(5): 511-514  
Ye Hong-jin, Zhang Xue-ying, He Xiao-gang. Medical image denoising based on wavelet transform median filtering [J].Journal of Taiyuan University of Technology, 2005, 36(5): 511-514 (In Chinese)
- [9] 史玉林,李飞飞,孙益顶.基于均值滤波和小波分析的图像去噪[J].电子测量技术,2008,31(8):140-142  
Shi Yu-lin, Li Fei-feiSun Yi-ding. Image denoising based on mean filter and wavelet analysis [J].Electronic Measurement Technology, 2008, 31(8):140-142(In Chinese)
- [10] 刘金梅,杨力,罗迟星.基于数学形态学和小波融合的红外图像去噪[J].弹箭与制导学报,2010, 30(5): 73-75  
Liu Jin-mei, Yang Li,Luo Chi-Xing. Infrared image de-noising based on mathematical morphology and wavelet fusion [J].Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2010, 30 (5):73-75. (In Chinese)
- [11] 曲天书,戴逸松,王树勋.基于 SURE 无偏估计的自适应小波阈值去噪[J].电子学报, 2002, 30(2): 266-268  
Qu Tian-shu,Dai Yi-song, Wang Shu-xun. Adaptive wavelet shareholding denoising method based on SURE estimation [J].Acta Electronic Sinica, 2001, 30(2): 266-268 (In Chinese)
- [12] 苏曦,孙杰,张智玲等.基于小波变换的 4 种图像噪声滤波方法比较[J].天津理工大学学报,2007,23(3):35-37  
Su Xi, Sun Jie, Zhang Zhi-ling.Camparison of four wavelet transforming methods of image noise filtering [J]. Journal of Tianjin University of Technology, 2007, 23(3):35-37. (In Chinese)
- [13] Donoho D.L., Jonstone I.M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage [J].Biometrika, 1994, 81(3):425-455
- [14] Donoho D.L.Denoising by soft-thresholding [J].IEEE Transactions on Information Theory, 1995, 41(3):613-627
- [15] 刘刚.MATLAB 数字图像处理[M].北京:机械工业出版社,2010  
Liu Gang.MATLAB digital image processing [M]. BeiJin: China Machine Press, 2010. (In Chinese)
- [16] 董怡,金伟其,张淼.数学形态学滤波在红外图像去噪中的应用研究[J].激光与红外,2007,37(8):795-798  
Dong Yi,Jin Wei-qi,Zhang Miao.Research on noise removal with morphological filter[J].Laser & Infrared,2007,37(8):795-798(In Chinese)