

# 一种结合空间域内和小波域内边缘检测结果的去噪方法

陈浴芬 黄国石

(厦门大学自动化系 福建 厦门 361005)

**【摘要】** 为了有效降低图像噪声且不使图像边缘模糊,本文提出一种将空间域内和小波域内边缘检测结果结合起来的去噪方法。实验结果表明,该方法能达到比现有图像去噪方法更好的去噪效果。

**【关键字】** 图像;去噪;小波

## 1 引言

小波变换可以将信号或图像分成不同的频率区域而不损失信号或图像的空间域信息,这一特点使得我们可以根据信号或图像的局部特征来调节滤波器参数,这对傅里叶变换来说是无能为力。近几年来,人们提出了多种基于小波分析的图像去噪方法,(见文[1][4][5][6][7][8][9])一般分为三个步骤:先对含噪图像进行多尺度小波分解,然后处理小波系数,最后用处理后的小波系数重构图像。由于人的视觉对图形平滑部分的噪声较敏感,而对边缘部分的噪声不敏感,即使在重构图像的边缘和纹理部分存在一些噪声,也不会严重影响其视觉质量。所以,如果先检测出含噪图像的边缘,对于图像在每个尺度上的高频小波系数,保留边缘点邻域内的噪声系数而将平滑部分的噪声系数置为零,就可以达到有效降低图像噪声且不使图像边缘模糊的目的。因为空间域内的边缘检测方法能够较准确地检测出细小边缘的位置,但可能因为噪声的干扰而把非边缘点当作边缘点;而小波域内的边缘检测方法较少受噪声的影响,但检测的边缘一般是图像的主要边缘,所以本文将空间域内和小波域内边缘检测结果结合起来进行去噪。

### 2.1 小波域内的边缘检测

含噪图像经多尺度小波分解后,图像的主要边缘在各尺度都能产生幅值较大的小波系数,而噪声只在最细尺度上产生较大幅值的小波系数,因此,图像边缘在相邻尺度上的小波系数的相关性比噪声在相邻尺度上的小波系数的相关性强<sup>[1]</sup>。直接将相邻4层同方向的小波系数相乘计算相关图像,且作变换<sup>[9]</sup>以减小  $c(i_x, i_y)$  的幅值范围:

$$e(i_x, i_y) = k \log_e(1 + c(i_x, i_y)) \quad (1)$$

其中,  $i_x=1,2,\dots,n_x$ ,  $i_y=1,2,\dots,n_y$ ,  $n_x$  和  $n_y$  分别是图像的行数和列数,  $c(i_x, i_y)$  为相关图像。这里,减小  $c(i_x, i_y)$  的幅值范围的理由是:如果图像的主要边缘在某一层某个方向的细节图像中的某个位置产生一个大幅值的小波系数,那么,在其它层相同方向的细节图像中的相同位置附近也会产生一个大幅值的系数,因此,对应于主要边缘的  $c(i_x, i_y)$  的幅值就会很大,而对应于细小边缘的  $c(i_x, i_y)$  幅值就很小,这样就不利于检测出细小的边缘。

具体做法是:将加入零均值、标准差为  $\sigma=28$  的高斯白噪声后的图像——图 1(b)——用二次双正交样条小波分解 6 层,分别计算水平方向、垂直方向和对角方向高频图像的相关图像(直接把从第一层到第四层同方向的高频图像相乘)  $c^{(h)}(i_x, i_y)$ 、 $c^{(v)}(i_x, i_y)$  和  $c^{(d)}(i_x, i_y)$ , 然后进行(1)式的变换,再把三个变换后的相关图像相加得到相关图像。

为了准确地找出图像边缘点,可以对相关图像  $e(i_x, i_y)$  每个像素上的值取双阈值  $T_l$ (低阈值)和  $T_h$ (高阈值),  $T_l$  和  $T_h$  可以根据噪声标准差的估计值确定,而噪声标准差的估计值可从相关图像中没有信号的区域(噪声背景)估计。对相关图像  $e(i_x, i_y)$  取双阈值的规则是:如果某个像素上的值大于高阈值,则把该像素作为图像边缘的开始点,边缘将从该像素扩展到它的 8-邻近区域内那些值大于低阈值的像素(候选边缘点),考察候选边缘点与边缘开始点之间的相似程度,并赋予该候选边缘点一个概率

因子  $P(i_x, i_y)$ ,  $0 \leq P(i_x, i_y) \leq 1$ , 然后在该候选边缘点的 8-邻近区域内寻找新的候选边缘点,并赋给它一个概率因子,这个过程要进行到没有新的候选边缘点出现为止。

### 2.2 去噪

设  $E_s(i_x, i_y)$  和  $E_w(i_x, i_y)$  分别是用空间域内边缘检测算法和小波域内边缘检测算法得到的边缘增强图像。为了将两者结合起来,先把它们的幅度归一化,即把  $E_s(i_x, i_y)$  和  $E_w(i_x, i_y)$  每个像素上值的幅度都化在 0 到 1 之间,幅度归一化后的边缘增强图像仍记为  $E_s(i_x, i_y)$  和  $E_w(i_x, i_y)$ 。结合的边缘图像为  $E_{s-w}(i_x, i_y) = k_1[\min\{E_s(i_x, i_y), E_w(i_x, i_y)\}] + k_2[\min\{E_s(i_x, i_y), E_w(i_x, i_y)\}]$  (2)  $k_1+k_2=1$

通过改变  $k_1$  和  $k_2$  的比例关系,可以调节(2)中两部分的权重,下面称(2)为边缘概率图像。

去噪的步骤是,先将含噪图像进行多尺度小波分解,然后处理小波系数以去除噪声,最后用处理过的小波系数重构图像。在第二步,为了在细尺度上的高频区域内保留图像边缘的小波系数且去除噪声的系数,需要定义边缘点邻域的大小,在每个边缘点邻域内的小波系数将被保留,其它的系数将被置为 0。因为一般情况下,随着小波分解尺度的增大,图像边缘的能量在细节图像中分布的范围增大,所以在不同尺度的每个细节图像中,边缘点邻域的形状和大小都应该分别定义。一个可行的办法<sup>[9]</sup>是用同一个小波将边缘概率图像(2)和含噪图像进行多尺度小波分解,我们把由含噪图像分解的细节图像和由边缘概率图像分解的细节图像各看作一组细节图像,边缘的能量在这两组细节图像中的分布方式相同。因此,边缘概率图像的每个细节图像都可作为对应的含噪图像的每个细节图像的掩模以去除噪声系数,即将边缘概率图像的每个细节图像与对应的含噪图像的细节图像相乘。

### 3 效果比较

为了检验上述去噪算法的去噪效果,我们对于加入零均值、标准差为  $\sigma=28$  的高斯白噪声后的图像图 1(b)分别进行硬取和软取最佳固定域值得到图 1(c)(d),同样对图 1(b)采用 Yansun Xu 法去噪后得到图 1(e)(所得各个图像的信噪比和均方误差见图 1 中说明)。

然后,我们用本文提出的方法,先用二次双正交样条小波对图 1(b)进行 6 层分解,把边缘概率图像在每个尺度上的细节图像作为含噪图像的对应的细节图像的掩模。按上述过程处理每层的细节图像后,再用二次双正交样条小波重构图像得图 1(f)。

将图 1(f)的信噪比(SNR)和均方误差(MSE)与图 1(c)(d)(e)的信噪比和均方误差比较,可以看出,结合空间域内和小波域内边缘检测的结果去噪能够达到比小波域内基本阈值去噪方法和 Yansun Xu 法更好的去噪效果,而且,在图像的平滑部分较好地消除了噪声,而且图像的边缘也较清晰。

(下转第 5 页)

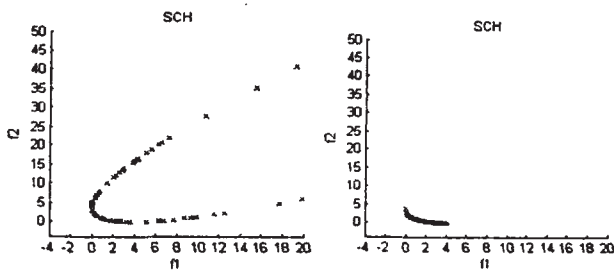


图3 SCH问题的中间种群与 evaluations=1000后的最终种群

#### 参考文献

- [1] 谢涛,陈火旺,康立山.多目标优化的演化算法.计算机学报. Aug.,2003.VOL(26), NO.8:997~1003
- [2] Schaffer J D. Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms. In: Proceeding of the First International Conference on Genetic Algorithms, Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum, 1985: 93~100
- [3] X Hu, R Eberhart. Multiobjective optimization Using Dynamic Neighborhood Particle Swarm Optimization. In: Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation, part of the 2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence, Hawaii: IEEE Press, May 12~17, 2002: 1677~1681.
- [4] Carlos A Coello Coello, Gregorio Toscano Pulido, Maximino Salazar Lechuga. Handling Multiple Objectives with Particle Swarm Optimization. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2004,8(3): 256~279
- [5] 陈国龙, 陈火旺, 郭文忠, 涂雪珠. 基于随机错位算术交叉的遗传算法及其应用. 模式识别与人工智能. 2004, 17(2):250~256
- [6] Carlos C.H. Borges and Helio J.C. Barbosa. A non-generational genetic algorithm for multiobjective optimization. In: Thomas B?ck, eds. 2000 Congress on Evolutionary Computation: Vol I. San Diego, California, 2000, 172~179

#### 4 结束语

多目标优化算法的难点在于如何构造个体的适应度函数, 本文给出的多目标优化算法首先计算种群中基于 Pareto 概念下优越于个体  $i$  的个体数目以及个体表现型上在种群中的密集度, 然后将这两个参数组合后构成个体的适应度函数。利用这个参数组合构造个体的适应度函数一方面评价了个体的优劣性, 另一方面又利用个体表现型上在种群中的密集度保证种群能维持较高的多样性。算例测试取得了较好的结果, 这说明本文所给出的算法具有较好的性能, 在解决多目标优化问题具有一定的应用价值。

(上接第6页)

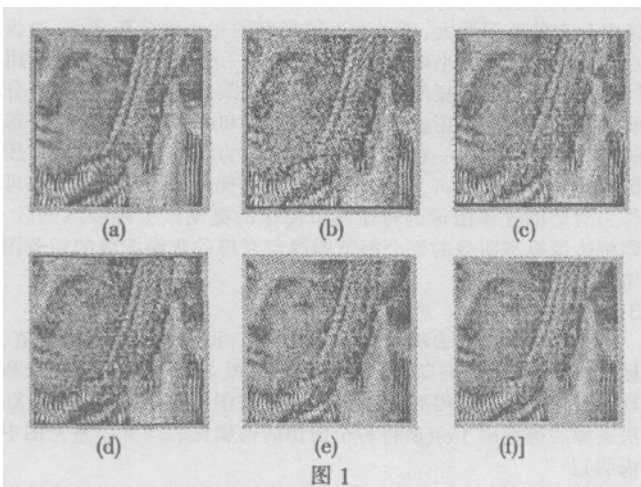


图1

#### 参考文献

- [1] Yansun Xu, John B, Weaver, Dennis M. Healy, Jr. and Jian Lu. Wavelet transform domain filters: A spatially selective noise iteration technique[J].IEEE Transactions on Image Processing, 1994,vol.3,no.6:747~757.
- [2] Mallat,S. A Wavelet Tour of Signal Processing (Second edition)[M]. Academic Press,1999.
- [3] S.Mallat. Multiresolution approximations and wavelet orthonormal bases of  $L_2(\mathbb{R})$  [J] .Trans.Amer.Math.Soc, 1998, 315: 69~87.
- [4] J.B.Weave, Y.Xu, D.M.Healy and L.D.Cromwell. Filtering noise from image with wavelet transform [J]. Magnetic Resonance in Medicine, 1991, vol. 21:28~295.
- [5] S.G.Mallat and W.L.Hwang. Singularity detection and Processing with wavelet[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1992,Vol.38, no.2:617~637.
- [6] M.Maldait and D.Roose. Wavelet-based image denoising using a Markov random field a priori model [J]. IEEE Transaction on Image Processing, 1997, vol.6, no.4:549~565.
- [7] D.Donoho and I.Johnstone. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81: 425~455.
- [8] R.R.Coifman and D.Donoho. Translation invariant de-noising[R]. Technical Report 475, Dept. of Statistics, Stanford University, May 1995.
- [9] Farshad Faghil. Adaptive wavelet-based noise filtering technique [Z]. A thesis submitted to the faculty of graduate studies in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science, 1998,the university of Calgary.

(a) 128×128 原图像

(b) 加入零均值、标准差为  $\sigma=28$  的高斯白噪声后的图像

(c) 硬取固定阈值  $1.7\tilde{\sigma}$  后重构的图像, SNR=27.5db, MSE=15.9

(d) 软取固定阈值  $0.55\tilde{\sigma}$  后重构的图像, SNR=28.5db, MSE=12.8

(e) 对含噪图像 1(b)用 Yansun Xu 去噪算法去噪后的图像, SNA=28.6, MSE=12.45

(f) 对图 1(b)用(2)的去噪算法去噪后的图像, SNR=29.3db, MSE=10.7