

文章编号: 1001-5078 (2006) 010-0988-04

基于小波变换的红外图像去噪

李迎春¹, 孙继平¹, 付兴建²

(1. 中国矿业大学北京校区机电与信息工程学院, 北京 100083; 2. 北京信息科技大学计算机与自动化系, 北京 100085)

摘要:提出一种基于新型阈值函数的小波域红外图像去噪法,其阈值函数表达式简单且连续,既克服了硬阈值函数不连续的缺点,又克服了软阈值函数中估计小波系数与含噪小波系数间存在恒定偏差的缺陷。同时新的阈值函数还有效地利用了小波系数的成串性,即在小波系数的估计计算中考虑了邻域小波系数的大小。仿真结果表明,在去噪红外图像视觉效果和峰值信噪比两个方面,文中提出的去噪法优于已有的各种门限去噪法和 Matlab-wiener 2 滤波算法。

关键词:小波变换; 红外图像; 阈值函数; 邻域小波系数; 峰值信噪比

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Infrared Image Denoising Based on Wavelet Transform

LI Ying-chun¹, SUN Ji-ping¹, FU Xing-jian²

(1. School of Mechanical, Electronic and Information Engineering, Beijing Campus, CUMT, Beijing 100083;
2. Department of computer and automation, Information Science and Technology University, Beijing 100085, China)

Abstract: Wavelet-domain infrared image denoising based on a new kind of thresholding function is proposed. The proposed thresholding function is simple and continuous. It overcomes the discontinuous shortcoming of the hard thresholding function and the disadvantage of soft thresholding function which is the invariable dispersion between the estimated wavelet coefficients and the wavelet coefficients contaminated by noise. At the same time, the clustering characteristics of wavelet coefficients are utilized effectively in new function. That is, the neighboring wavelet coefficients are incorporated into the estimation of wavelet coefficients. Simulation results show that the proposed denoising algorithm owns better visual effect and PSNR performance than many exiting thresholding methods and Matlab-wiener 2 method.

Key words: wavelet transform; infrared image; thresholding function; neighbor wavelet coefficients; PSNR

1 引言

目前红外图像已经广泛应用于军事和民用领域,但由于恶劣的外界环境条件和探测仪器本身固有的特性,与可见光图像相比,红外图像普遍存在目标与背景对比度较差、边缘模糊、噪声较大等缺点。在实践中对图像去噪问题常采用维纳滤波方法解决。近年来,国内外学者提出一些新的方法和理论,

其中小波去噪已经成为目前图像去噪的主要方法之一^[1-3],而小波萎缩法是目前研究最为广泛的小波去噪方法。本文针对现有阈值去噪法的缺点,提出

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金(20050290010)。

作者简介:李迎春(1976-),博士研究生,主要研究方向为矿井监控及图像处理。E-mail: liying_chun@163.com

收稿日期:2006-04-24;修订日期:2006-05-22

一种新型小波域红外图像的阈值去噪法。仿真结果表明,本文所提出的去噪法无论是峰值信噪比,还是主观质量都优于已有的各种门限法和 Matlab 中的 Wiener 2 滤波法。

2 小波去噪原理

设 $\{h_k\}_{k \in \mathbb{Z}}$ 、 $\{g_k\}_{k \in \mathbb{Z}}$ 分别为小波函数的低、高通滤波器系数,则图像的小波分解与重构公式为^[2]:

$$\begin{cases} C_{j,k,m} = \sum_{l,n} h_{l-2k} h_{n-2m} C_{j+1,l,n} \\ D_{j,k,m}^1 = \sum_{l,n} h_{l-2k} g_{n-2m} C_{j+1,l,n} \\ D_{j,k,m}^2 = \sum_{l,n} g_{l-2k} h_{n-2m} C_{j+1,l,n} \\ D_{j,k,m}^3 = \sum_{l,n} g_{l-2k} g_{n-2m} C_{j+1,l,n} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} C_{j+1,k,m} = & \sum_{l,n} h_{k-2l} h_{m-2n} C_{j,l,n} + \\ & \sum_{l,n} h_{k-2l} g_{m-2n} D_{j,l,n}^1 + \\ & \sum_{l,n} g_{k-2l} h_{m-2n} D_{j,l,n}^2 + \\ & \sum_{l,n} g_{k-2l} g_{m-2n} D_{j,l,n}^3 \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $C_{j+1,k,m}$ 表示一幅图像, $C_{j,k,m}$ 表示分解后的低频子图, $D_{j,k,m}^1$ 、 $D_{j,k,m}^2$ 、 $D_{j,k,m}^3$ 分别表示分解后的对应于水平、垂直与对角线 3 个方向的高频子图。

设原红外图像 f 被加性高斯白噪声 污染,被噪声污染的红外图像为 g ,则有:

$$g = f + \quad (3)$$

红外图像与噪声相互独立, $\sim N(0, \sigma^2)$ 。

设 W 为正交小波变换算子,则小波系数矩阵及关系可表示为:

$$\begin{aligned} Y &= Wg, X = Wf, V = W \\ Y &= X + V \end{aligned} \quad (4)$$

小波阈值萎缩法主要基于如下事实,即比较大的小波系数一般是以实际信号为主,而比较小的系数则很大程度是噪声。因此可通过设定合适的阈值,首先将小于阈值的系数置零,而保留大于阈值的小波系数;然后经过阈值函数映射得到估计系数;最后对估计系数进行逆变换,就可以实现去噪图像重建。

设 w 是原始小波系数; \hat{w} 表示估计的小波系数; λ 是阈值。目前阈值函数主要有以下几种:

(1)硬阈值函数^[3]

$$\hat{w} = \begin{cases} w & |w| \geq \lambda \\ 0 & |w| < \lambda \end{cases} \quad (5)$$

硬阈值去噪法可以很好地保留图像边缘等局部特征,但由于硬阈值函数的不连续性,引起去噪图像中出现振铃、伪吉布斯等效视觉失真;

(2)软阈值函数^[4]

$$\hat{w} = \begin{cases} w(1 - \lambda/|w|) & |w| \geq \lambda \\ 0 & |w| < \lambda \end{cases} \quad (6)$$

软阈值处理相对要平滑,但由于估计小波系数和带噪小波系数之间有恒定的偏差,从而造成去噪图像边缘模糊等失真现象;

(3)软、硬折衷阈值函数^[5]

$$\hat{w} = \begin{cases} w(1 - \epsilon \cdot \lambda/|w|) & |w| \geq \lambda \\ 0 & |w| < \lambda \end{cases} \quad (7)$$

其中, $\epsilon \in (0, 1)$ 。

软、硬折衷阈值函数有效地减小了估计小波系数和带噪小波系数间恒定的偏差,但仍具有阈值函数不连续的缺点。

3 新型阈值函数小波去噪算法

为了克服各种小波阈值萎缩法的缺点,有效地提高红外图像的去噪效果,本文提出了一种基于新型阈值函数的小波域红外图像去噪法,其阈值函数构造为:

$$\hat{w}_{k,i,j} = w_{k,i,j} \cdot \max[0, 1 - (\frac{\lambda}{S_{k,i,j}})^p] \quad (8)$$

其中, $w_{k,i,j}$ 是原始小波系数; $\hat{w}_{k,i,j}$ 表示估计小波系数; $p \geq 1$; k 为小波分解层数; λ_k 为第 k 分解层阈值;

$S_{k,i,j} = \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \sum_{(k,m,n) \in B_{k,i,j}} w_{k,m,n}^2$; $B_{k,i,j}$ 是以 (k, i, j) 为中心点、大小为 $N \times N$ 的操作窗口。

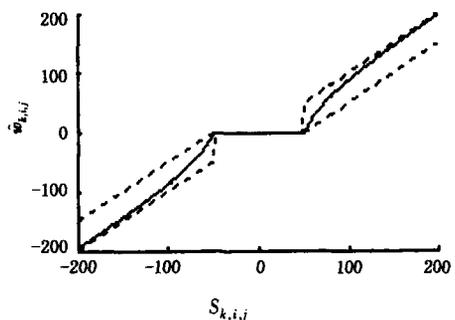


图 1 新阈值函数曲线 ($p=3, \lambda_k=50$)

小波系数具有一定的依赖性,如果一个小波系数幅值较大,那么它邻近位置的小波系数很可能也大。近年来的研究表明,在去噪过程中融入其它的信息,如邻域小波系数等,有助于保持细节信息去除

噪声^[6]。因此在新型阈值函数的构造中,当前位置小波系数的估计计算融入了邻域小波系数信息。当一个较大的小波系数周围领域的小波系数都较小,那么这个较大的小波系数受噪声污染严重的可能性极大,分析式(8)可知,新型阈值函数能够很好地滤除这种孤立的噪声小波系数,这也是其它阈值函数如软、硬阈值函数等所不具备的优点。图1给出了新阈值函数($p=3, k=50$)的曲线(如实线所示)。

考虑新型阈值函数,当 $p < 1$ 时,有:

$$\lim_{S_{k,ij}} w_{k,ij} = \lim_{S_{k,ij}} w_{k,ij} \cdot \max[0, 1 - (\frac{k}{S_{k,ij}})^p] = w_{k,ij}$$

当 $p = 1$ 时,有:

$$\lim_{p=1} w_{k,ij} = \lim_{p=1} w_{k,ij} \cdot \max[0, 1 - (\frac{k}{S_{k,ij}})^p] = \begin{cases} w_{k,ij} & S_{k,ij} > k \\ 0 & S_{k,ij} \leq k \end{cases}$$

当 $p > 1$ 时,有:

$$w_{k,ij} = w_{k,ij} \cdot \max[0, 1 - (\frac{k}{S_{k,ij}})^p] = \begin{cases} w_{k,ij} \cdot [1 - (\frac{k}{S_{k,ij}})^p] & S_{k,ij} > k \\ 0 & S_{k,ij} \leq k \end{cases}$$

可见对新的阈值函数,当 $p < 1$ 时,新阈值函数为硬阈值函数;当 $p = 1$ 时,新阈值函数与软阈值函数相当;当 $p > 1$ 时,随着 $w_{k,ij}$ 幅值的增大, $S_{k,ij}$ 的值也增大, $w_{k,ij}$ 越接近 $w_{k,ij}$,从而克服了软阈值函数中 $w_{k,ij}$ 与 $w_{k,ij}$ 之间具有恒定偏差的缺点,有效地保持了图像的边缘等局部信息。新型阈值函数是介于软硬阈值函数之间的一种阈值函数,通过 p 值的选择可灵活调节阈值函数。新阈值函数克服了硬阈值函数在阈值 $\pm k$ 处不连续的缺点,从而有效地解决了去噪图像中出现振铃、伪吉布斯等效视觉失真问题;同时也克服了软阈值函数估计小波系数与分解小波系数之间存在着恒定偏差的缺陷,有效地保留了去噪图像边缘等细节信息。

4 阈值的估计

阈值的确定在门限法中非常关键,阈值太大,会产生“过扼杀”系数现象,阈值太小,滤波后的红外图像将包含过多的噪声。目前使用的阈值可以分成

全局阈值和局部适应阈值两类。全局阈值主要有: DJ 阈值 ($= \sqrt{2 \ln N}$, N 为信号的长度)、基于零均值正态分布的置信区间阈值 ($= 3 \sim 4$)、SURE-Shrink 阈值、GCV 阈值、BayesShrink 阈值等。

考察新型阈值函数式(8),当前位置小波系数的估计计算融入了邻域小波系数信息,显然 DJ 阈值对新型阈值函数而言偏大,故这里采用修正的 DJ 阈值^[7] ($= \sqrt{2 \ln N}$) 和文献 [5] ($= \sqrt{2 \ln N} / [1 + \ln(k)]$) 相结合的阈值,即:

$$= \sqrt{2 \ln N} / [1 + \ln(k)] \tag{9}$$

式中, $0 < \leq 1$ 。

5 仿真实验

本文采用的小波为 CDF9-7 小波,以大小为 128×128 的红外图像 tank 作为被测图像,进行 3 级小波分解,阈值估计采用式(9),比较各种阈值去噪算法的去噪效果。用于对比实验的算法有:硬阈值法、软阈值法、软、硬阈值折衷法 ($= 0.5$)、Matlab 中的 Wiener2 去噪法、本文提出的去噪法 ($p=3$)。去噪效果用峰值信噪比 (PSNR) 来衡量,定义为:

$$PSNR = -10 \lg_{10} \frac{\sum_{i,j} [B(i,j) - A(i,j)]^2}{255^2 \cdot H \cdot L} \tag{10}$$

式中, B 为含噪图像; A 为不含噪声的原始图像; H 、 L 分别为图像的高和长。

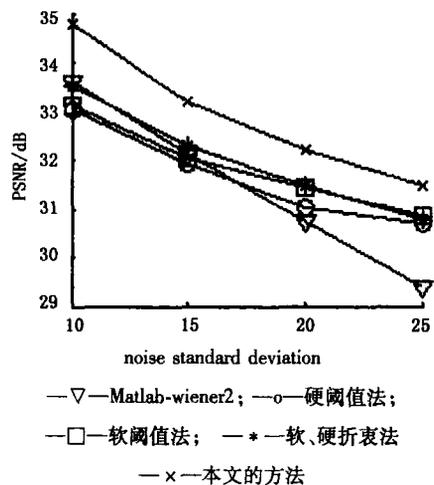


图 2 不同噪声等级下各种去噪法的 PSNR 比较

图 2 给出了红外图像 tank 被不同大小的加性高斯白噪声污染后,用各种方法进行滤波后去噪图像的 PSNR 值比较 (对于含噪声 tank 红外图像, $= 10$, PSNR = 28.12; $= 15$, PSNR = 24.65; $= 20$, PSNR = 22.12; $= 25$, PSNR = 20.21)。其中,在硬

阈值法、软、硬阈值折衷法的去噪计算中取 $\lambda = 1$, 软阈值法去噪计算中取 $\lambda = 0.6$, 在本文的去噪计算中取 $\lambda = 0.3$ (该取值是在对各种阈值去噪法分别取 $\lambda = 0.2, 0.3, 0.4, \dots, 1$ 进行去噪计算, 然后再综合考虑更多保留细节信息和去除更多噪声的情况下得到的)。在 Wiener 2 去噪法和本文的算法中, 滤波操作窗口选取为 5×5 的正方形窗口。图 3 展示了 tank 去噪后的图像。

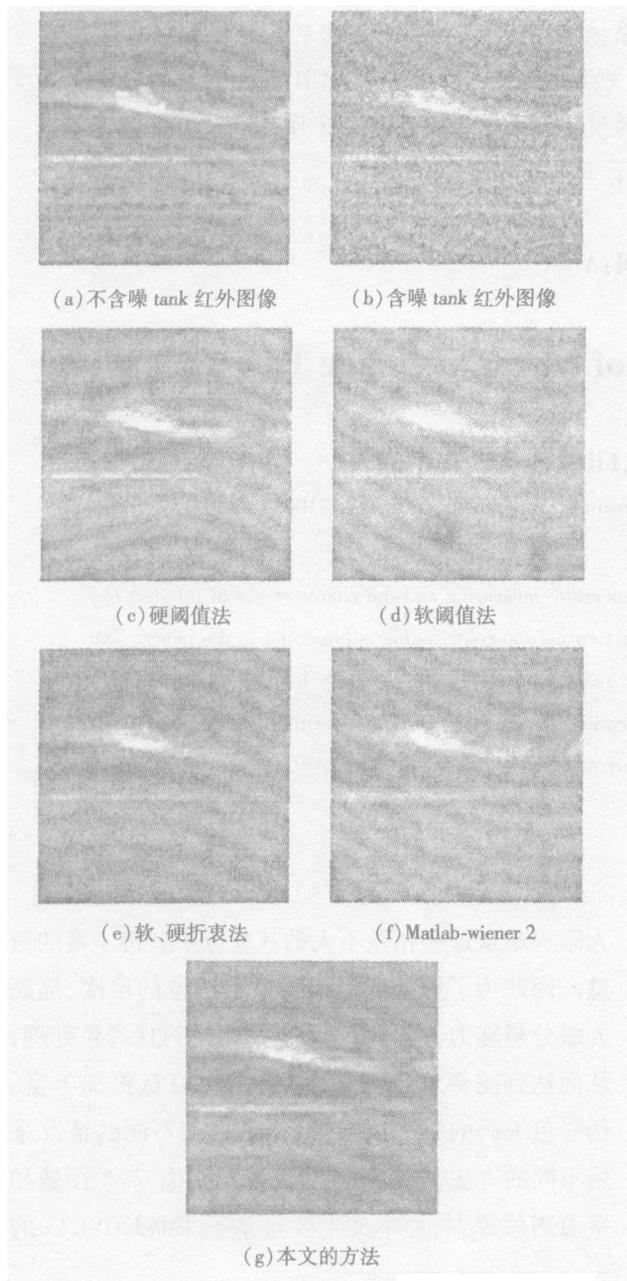


图 3 各种算法的 tank 去噪红外图像 ($\lambda = 10$, PSNR = 28.12)

从图 2 可以看出, 利用本方法进行滤波后的图像具有最大的 PSNR 值。从图 3 也可以看出, 所得到的去噪图像视觉效果最好, 它有效地抑制了去噪

图像的伪吉布斯效应, 保留了较清晰的边缘等细节信息, 且包含较少的噪声。这表明, 本文的去噪法无论是峰值信噪比, 还是主观质量都优于已有的各种门限法。

6 结束语

本文提出一种基于小波变换的红外图像去噪法, 针对现有阈值函数的缺点构造了一种新的阈值函数。该去噪法既克服了硬阈值函数不连续的缺陷, 又避免了软阈值法造成的边缘模糊等失真现象。新的阈值函数, 还有效地利用了小波系数的成串性, 在小波系数的估计计算中, 考虑了其邻域小波系数的大小, 从而使得新型阈值去噪法能够很好地去除孤立噪声, 这也是其它许多门限法所不具备的优点。通过仿真结果可以看出, 本文所提出的去噪算法无论是峰值信噪比, 还是主观质量都优于已有的各种门限法和 Matlab-wiener 2 滤波法。

参考文献:

- [1] 谢杰成, 张大力, 徐文立. 小波图像去噪综述 [J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(3): 209 - 217.
- [2] 李弼程, 罗建书. 小波分析及其应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal Spatial Adaptation Via Wavelet Shrinkage [J]. Biometrika, 1994, 81(12): 425 - 455.
- [4] Donoho D L. De-noising by Soft-thresholding [J]. IEEE Trans on IT, 1995, 41(3): 613 - 627.
- [5] 邹海林, 情亚莉, 徐俊艳, 等. 基于多小波变换的 GPR 图像去噪方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2005, 17(4): 855 - 853.
- [6] Dongwook Cho, Tien D Bui. Multivariate statistical modeling for image denoising using wavelet transforms [J]. Signal Processing: Image Communication, 2005, 20: 77 - 89.
- [7] Donoho D L, Johnstone I M. Threshold selection for wavelet shrinkage of noisy data [A]. In: Proc 16th Annual International Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society [C], Baltimore, Maryland 1994, 1. A24 - A25.