

一种基于模糊小波变换的图像噪声消除算法*

An Image De-noise Algorithm Based on Fuzzy Wavelet Transform

欧阳春娟¹, 欧阳迎春², 李文³

Ouyang Chunjuan¹, Ouyang Yingchun², Li Wen³

(1. 井冈山学院计算机科学系, 江西吉安 343009; 2. 江西师范大学物理与通信电子学院, 江西南昌 330027; 3. 广东科贸职业学院计算机科学系, 广东广州 510640)

(1. Dept. of Computer Sci., Jinggangshan Coll., Ji'an, Jiangxi, 343009, China; 2. Coll. of Physics and Communication Electronics, Jiangxi Normal Univ., Nanchang, Jiangxi, 330027, China; 3. Dept. Comp. Sci., Guangdong Sci. and Trade Professional Coll., Guangzhou, Guangdong, 510640, China)

摘要:在局部软阈值消噪算法的基础上,对水平和垂直方向的高频系数采用模糊中值滤波进行改进,提出一种基于小波变换和模糊中值滤波的消除高斯噪声和盐椒噪声的新算法,并对该算法采用 Matlab 6.5 做仿真实验,将该算法与小波全局软阈值去噪算法、局部软阈值去噪算法和小波包阈值去噪算法进行比较。结果显示,该算法具有更稳健的去噪性能,而且能较好地保留边缘信息。

关键词:噪声消除 小波变换 模糊中值滤波 阈值

中图分类号:TP911 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2005)04-0204-03

Abstract: The high-frequency coefficients in the horizontal and vertical directions are treated with the fuzzy middle filter based on the soft threshold de-noised algorithm. An algorithm for removing Gaussian noise and salt-pepper noise is proposed based on wavelet transform and fuzzy median filter. The simulation experiment is done adopting Matlab 6.5. The proposed algorithm is effective both in reserving the edge and in removing noise in compared with wavelet whole soft thresholding de-noise, part soft thresholding de-noise and wavelet packets thresholding de-noise.

Key words: de-noised, wavelet transform, fuzzy-median filter, threshold

在图像去噪方面,提高信噪比与提高分辨率常常表现为一对矛盾。小波变换由于具有良好的信号处理的时频特性,可以从时间和频率两方面来区分信号和噪声,因此在图像去噪方面得到广泛应用。目前已提出多种基于小波变换的噪声消除算法^[1~6]。Donoho 消噪方法^[3]是直接对信号分解的小波系数采用阈值方法进行“过滤”,该方法比较简洁,计算量小,得到较大的推广,但是在该算法中没有分析不同方向的高频系数的性质,统一进行阈值滤波,造成了边缘细节信息损失;而且基于小波的信号分析不能对高频区进行信号再分解,高频噪声的剔除不够理

想。为此,Thomas 等^[2]提出基于小波包分解的去噪算法。对小波阈值算法有很多改进算法,其中局部软阈值消噪算法^[6]是目前小波去噪效果最好的算法之一。该算法利用噪声系数在小波变换中随着分解尺度的增加而减小的特性,在不同尺度上采用不同阈值进行滤波,但是该算法对水平和垂直方向的高频系数采用阈值滤波,会损失大量的边缘细节信息而造成图像的模糊,为此本文在此算法的基础上进行改进,提出一种小波变换与传统方法相结合的算法,并且进行了图像去噪的仿真实验。实验表明,该算法是一种行之有效的去噪算法。

1 小波阈值去噪方法

经过二维小波变换,将原图像逐级分解成具有不同尺度的子图像。原图经过一级小波变换后生成

收稿日期:2005-05-16

作者简介:欧阳春娟(1974-),女,讲师,硕士研究生,主要从事图像处理 and 模糊神经网络研究。

* 测绘遥感信息工程国家重点实验室基金项目[WKL(03)0101]。

4 个分量部分,它们保留原图大部分信息的低频分量、包括边缘细节和噪声等高频信息的高频水平方向分量、高频垂直方向分量和高频对角线方向分量。下一级的小波分解只对低频分量进一步分解得到低频分量和高频分量。由于噪声是高频信息,可对高频分量进行阈值滤波处理从而去除图像中的噪声。Devore 和 Lucier^[4]在处理二维数据时将阈值调整为 $c\sigma \sqrt{2\log n}$,其中, σ 是信号方差, n 是信号数据长度, c 是可变系数。阈值全局处理就是对各级小波分解得到的高频系数采用同一阈值进行滤波。阈值处理如下:

$$\hat{x} = T_h(Y, thr) = \begin{cases} \text{sgn}(Y)(|Y| - thr), & |Y| \geq thr, \\ 0, & |Y| < thr. \end{cases} \quad (1)$$

Mallat 等^[1]建立小波变换与刻画信号奇异性的 Lipschitz 指数之间的密切关系,提出随着小波分解尺度的增加,信号和噪声所对应的小波变换系数分别是增大和减小。Cohen 等^[6]提出的局部软阈值算法采用如下公式对不同尺度的高频系数取不同的阈值。

$$thr_j = c\sigma \sqrt{2\log(n)/n} \times 2^{(J-j)/2}, j = j_0 \dots J, \quad (2)$$

式中, c 为经验系数,对不同的图像可以通过实验效果进行适当调节, σ 取 $\hat{\sigma} = mad/0.6745$,其中 mad 是细尺度小波系数的绝对方差的中间值。

2 模糊小波阈值去噪算法

由小波包分解可知,对高频系数进行分解之前,要进行最佳树的选择,我们只对最佳树选中的高频系数进行下一层的分解,在各种最佳树算法当中,都是保留对角线方向的高频信号不再进行分解。这是因为,原始图像的主要特征信息集中在沿水平和垂直方向分布的变化较大的边缘上。我们对水平和垂直方向的高频系数采用模糊中值滤波,模糊中值滤波器定义为:

$$y(i, j) = \frac{\sum_{r=-N}^N \sum_{s=-N}^N F[x(i+r, j+s)] \cdot x(i+r, j+s)}{\sum_{r=-N}^N \sum_{s=-N}^N F[x(i+r, j+s)]}, \quad (3)$$

$$F[x(i+r, j+s)] = \frac{1}{1 + [x(i+r, j+s) - m(i, j)]^2} \quad r, s \in [-N,$$

$$N], \quad (4)$$

其中, $F[x(i+r, j+s)]$ 为隶属函数; $m(i, j)$ 为子窗口中小波系数的中值,本算法中窗口 $N = 3$ 。

对于对角线方向的高频系数采用局部软阈值滤波。阈值公式采用式(2),通过大量的实验,我们发现 $0.2 \leq c \leq 0.4$ 时的去噪效果最好,在本算法当中取 $c = 0.3, \sigma$ 取值如下:

$$\sigma_j = \left[\frac{1}{N^2} \sum_{r,s \in N \times N} (\omega_{2^j}(r, s) - E(\omega_{2^j})) \right]^{1/2}, \quad (5)$$

式中, N 为子窗口长度; $E(\omega_{2^j})$ 为子窗口中小波系数的均值。

为了使输出的图像有较好的视觉效果,对图像进行适当的图像增强处理。根据噪声随尺度的变化规律,各尺度上选用的增强系数有所不同,对于高分辨高频子带,增强系数比低分辨率上的高频子带选取的数值要略大些。具体的模糊小波阈值算法处理步骤如下:(i)选择合适的小波和小波分解层数将含噪声图像进行二维小波分解。考虑到一般小波变换分解到第三层时,噪声已经衰减了 90%,并且,分解层数越高,计算量越大,越复杂,因此在本算法中选取的尺度为三层,得到相应的小波分解低频和高频系数。(ii)低频系数不处理。(iii)对对角线方向的高频系数,采用公式(5)进行阈值得到估值系数。(iv)对垂直方向和水平方向的高频系数,采用公式(3)进行滤波处理,得到滤波后的系数。(v)对高频小波系数进行增强处理。(vi)将低频系数和处理后的高频系数进行小波逆变换,得到去噪增强后的图像。本算法的流程如图 1 所示。

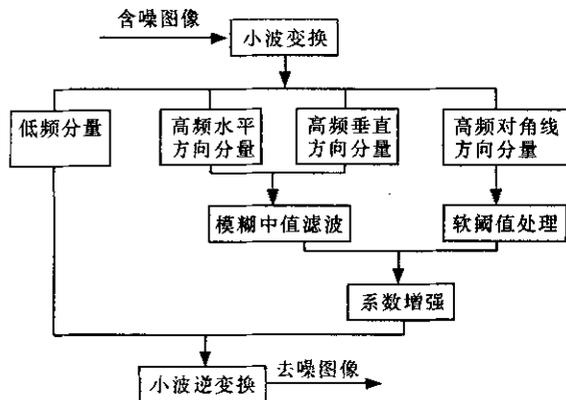


图 1 模糊小波阈值去噪算法的去噪流程

3 仿真实验

对本文提出的模糊小波阈值去噪算法采用 Matlab6.5 做仿真实验,并与小波全局软阈值去噪算法、局部软阈值去噪算法和小波包阈值去噪算法

进行比较结果见图2。图2中的“原图”为 $256 \times 256 \times 8\text{bits}$ 的Lena原始图像,“加噪图”中迭加了脉冲噪声($P = 20\%$)和高斯噪声($\sigma = 20$)的混合噪声。采用小波函数coif2对加噪图像进行3层分解,在小波包去噪当中,熵标准选择log energe对数能量熵。由表1不同去噪算法的去噪性能比较

噪声率	全局软阈值算法		局部软阈值算法		小波包阈值算法		本文算法	
	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE
$P = 20\% \sigma = 10$	25.7865	87.24	23.9812	77.45	23.4567	79.29	26.8923	72.56
$P = 40\% \sigma = 10$	20.4523	98.23	21.3456	90.34	20.8961	97.35	21.2131	92.45
$P = 30\% \sigma = 20$	14.9823	123.56	15.7668	100.34	14.4578	108.45	18.7624	96.34
$P = 50\% \sigma = 20$	13.8184	134.89	16.7621	102.74	16.7831	110.23	19.7656	97.89

从表1可以看出,本文提出的模糊小波阈值去噪算法所对应的MSE最小,且PSNR最高,当噪声率较大时,该算法更具有优越性,可达到更好的去噪效果。



图2 不同去噪算法的去噪效果比较

a. 原图; b. 加噪处理; c. 全局软阈值去噪; d. 局部软阈值去噪; e. 小波包阈值去噪; f. 模糊小波阈值去噪。

4 结束语

本文根据小波分解的高频系数不同方向上含信号量的不同,提出一种模糊小波阈值去噪算法。该算

图2来看,模糊小波阈值去噪可达到更良好的视觉效果,而且边缘细节保持较好。

为了定量地衡量滤波效果,采用峰值信噪比(PSNR)和均方根误差(RMSE)^[7]作为评价标准统计4种去噪方法的效果。统计结果如表1所示。

法与小波全局软阈值去噪算法、局部软阈值去噪算法和小波包阈值去噪算法相比具有更稳健的去噪性能,当噪声率较高时,其性能更突出。模糊小波阈值去噪算法为图像噪声消除提供了一种新的途径。

参考文献:

- [1] Mallat S, Hwang W L. Singularity Detection and Processing with Wavelet [J]. IEEE Trans On IT, 1992, 38(2): 617-643.
- [2] Thomas T L, Antony C S. Detection of transients in 1/f noise with the undecimated discrete wavelet transform [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2000, 48(5): 1458-1462.
- [3] Donoho D L. De-noising by soft thresholding [J]. IEEE Trans on IT, 1995, 41(3): 613-627.
- [4] De Vore D A, Lucier B J. Fast wavelet techniques for near-optimal image processing [J]. IEEE Mil Commun CONF IEEE Communications Society, 1992, (11-14): 1129-1135.
- [5] Jansen M, Bulthecl A. Multiple wavelet threshold estimation by generalized cross validation for images with correlated noise [J]. IEEE Trans on IP, 1999, 8(7): 947-953.
- [6] Cohen A, Daubechies I, Jawerth B. Multiresolution analysis, wavelets and fast algorithms on an interval [J]. Compt Rend Acad Sci Paris, 1999, 316: 417-421.
- [7] 胡玉平, 余胜生, 周敬利, 等. 基于小波变换和数据融合技术的图像降噪方法 [J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(5): 896-899.

(责任编辑: 邓大玉)