

一种能保留图像边缘信息的去噪新方法

张春梅 张太镒 陆从德

(西安交通大学电子与信息工程学院, 西安 710049)

摘要 图像处理的目标是消除噪声的同时能保留图像所固有的信息。针对保留边缘信息有效去噪问题,提出了双密度双树复数小波变换的图像去噪方法,该方法综合了双密度小波、双树小波和复数小波的优点,具有更好的方向性,将双树复数小波的6个方向,提高到12个方向,并采用了自适应软阈值对小波变换的系数进行处理,消除图像干扰噪声。本文对加噪图像进行去噪仿真试验,并进一步进行边缘检测,仿真试验结果表明,该方法能有效消除图像噪声并保留图像原有边缘信息,与双密度双树小波相比,去噪效果明显改善,均方误差减小了2.4%。

关键词 双密度双树复数小波变换 去噪 边缘检测

中图分类号: TN919.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2006)10-1464-04

New Method for Images Denoising while Keeping Edge Information

ZHANG Chun-mei, ZHANG Tai-yi, LU Cong-de

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Abstract The objective of image processing is to denoise while keep the intrinsic information. A method is proposed for images denoising with double density dual-tree complex wavelet transform. It integrates the advantages of double density wavelet, dual tree wavelet and complex wavelet. It has improved directionality which increased the directions from 6 to 12. The adaptive soft threshold is applied to wavelet coefficients. It could ameliorate the ability of image denoising. The denoising and edge detection for a typical image is carried out. Simulated experiments demonstrate that the proposed approach is effective on image denoising and can keep the edge information at same time. Its mean square deviation is reduced 2.4% compared with the dual-tree complex wavelet.

Keywords double density dual-tree complex wavelet transform, denoising, edge detection

1 引言

图像去噪的方法有很多种,其中典型的方法有低通滤波、基于偏微分方程和基于马尔可夫场模型等方法。传统的低通滤波方法是根据噪声能量一般集中在高频的特点来进行去噪,其虽然能够降低噪声,但也破坏了图像的边缘等细节信息。

研究较多的小波理论是近年来迅速发展起来的一种时频信号分析理论^[1],尽管离散小波变换功能强大,但有以下缺点:(1)对数据敏感,即输入数据的变化会对离散小波变换系数产生不可预测的结果;

(2)方向性差,即离散小波变换系数只表示3个空间方向(水平、垂直和对角线)的信息;(3)没有相空间信息,而相空间信息对描述非平稳信号很重要。连续小波变换虽具有平移不变性,但它的冗余数据多,计算代价太大,Mallat用二进小波变换和零交叉二进小波变换减小了一定的冗余量^[2];Simoncell提出了一种易操作的滤波器用于完成可移动变换^[3],以实现位置、尺度和方向的平移不变性;1999年Kingsbury提出了双树复数小波变换(dual-tree complex wavelet transform, DTCWT)^[4-6]。双树复数小波变换是一对滤波器组(Hilbert对)同时作用在输入信号上,它产生的两组小波分解,能提供6个方向的信息,具有

基金项目:国家自然科学基金项目(50276047)

收稿日期:2005-07-05;改回日期:2005-10-19

第一作者简介:张春梅(1964~),女,副教授。2006年于西安交通大学电子与信息工程学院信息与通信工程专业博士毕业。主要研究方向为数字信号图像处理与模式识别计算机智能控制与在线监测。E-mail:cmzhang@xjtu.edu.cn

平移不变性。而其较好的方向性和精确的相空间信息,在图像处理和计算机视觉等应用领域中取得了很好的效果^[7];2004 年 Selesnick 提出了双密度双树小波变换(double density dual-tree wavelet transform, DDDTWT)^[8],它同时具有双密度小波变换和双树小波变换的优点,在图像去噪、图像加强、图像分割和运动目标的估计中,具有较大优势。

2 双密度双树复数小波变换原理

2.1 2 维双密度双树小波变换原理

2 维双密度双树小波变换采用了 3 个 Hilbert 滤波器对, h_0 为低通滤波器, h_1 为一阶高通滤波器, h_2 为二阶高通滤波器。2 维双密度双树小波变换有 2 个尺度,4 个分辨函数,即 $\psi_{h,i}(t), \psi_{g,i}(t), i=1, 2$ 。

两个小波函数是将另一个函数偏置一半得到的,即

$$\psi_{h,1}(t) \approx \psi_{h,2}(t - 0.5)$$

$$\psi_{g,1}(t) \approx \psi_{g,2}(t - 0.5)$$

另外两个小波函数是近似 Hilbert 变换对,即

$$\psi_{g,1}(t) \approx H\{\psi_{h,1}(t)\}$$

$$\psi_{g,2}(t) \approx H\{\psi_{h,2}(t)\}$$

2 维双密度双树小波变换的设计过程参见文献^[8],其尺度为 2 的变换分解步骤如图 1 所示。它每一层具有 6 个方向因子。

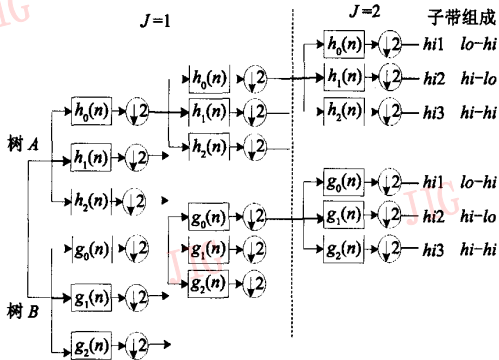


图 1 2 维双密度双树小波变换的分解
Fig. 1 Decomposition of 2D double density dual-tree wavelet transform

2.2 2 维双密度双树复数小波变换原理

Kingsbery 提出在同一个数据上,用两个独立的小波变换平行作用来实现复数小波变换^[4],双密度双树复数小波变换可通过二组 3 对滤波器组同时作

用在输入数据上来实现。双密度双树小波每层变换仅对低频部分进行进一步分解,没有对高频部分进行再分解,显然高频部分也包含有许多有用信息。因此,在对低通滤波器进行分解的同时,对 2 个高通滤波器也进行进一步分解,并通过将两根树的系数进行组合,用上部树 A 的叠加滤波器组表示复数小波变换的实部;下部树 B 的叠加滤波器组表示复数小波变换的虚部,即形成双密度双树复数小波变换(double density dual-tree complex wavelet transform, DDDTCWT),即

$$\psi_{j,k}(x,y) = \psi_{h(j,k)}(x,y) + i\psi_{g(j,k)}(x,y) \quad (1)$$

$$j,k = 0,1,2$$

其尺度为 1 的变换分解如图 2 所示。从图 2 可以看出,每根树有 9 个子带,其中 6 个子带 $hi1, hi2, hi3, hi5, hi6, hi7$ 具有方向性信息,因而每一层分解有 12 个不同方向的信息,且无论 2 维双密度双树复数小波变换分解树有多深,每层都保持 12 个方向的信息,比 2 维实数小波变换多了 6 个方向。因此可进一步提高图像的分解与合成的精度和能保留图像细节信息。

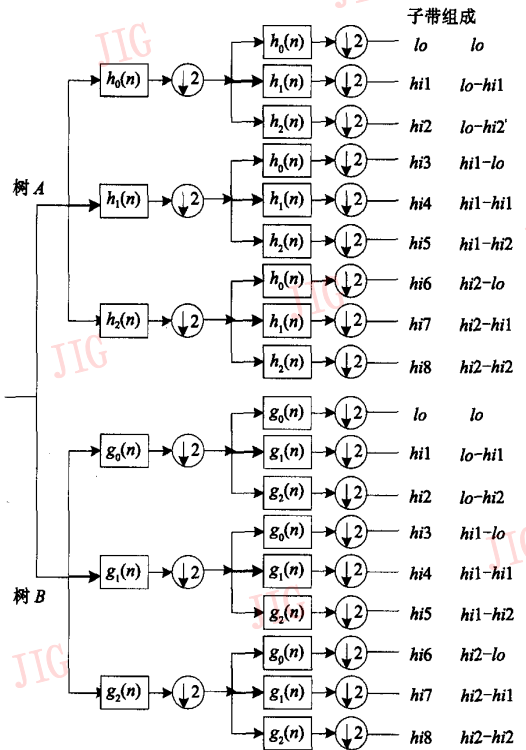


图 2 2 维双密度双树复数小波变换的分解
Fig. 2 Decomposition of 2D double density dual-tree complex wavelet transform

3 小波系数的自适应阈值去噪

若原信号为 X , 含噪的信号为 Y , 噪声为 S , 则含噪信号模型可表示为

$$Y = X + S$$

基于自适应阈值的 2 维双密度双树复数小波变换去噪原理如图 3 所示。

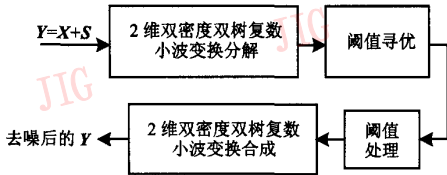


图 3 自适应阈值的去噪原理

Fig. 3 Denoising principle of adaptive soft threshold

其中阈值采用阈值训练速算法。算法的目的是得到阈值与总体残差 E 之间的关系。

$$E = \sum_i \sum_j (Y(i, j) - X(i, j))^2 \quad (2)$$

对于同一幅图像来说, 采用不同阈值得到的总体残差也随着变化。总体上看两者的趋势是有一个极小点的非线性曲线, 在阈值为某一值时总体残差 E 最小。所以, 有必要使用自适应训练算法来研究阈值和总体残差的关系, 从而找到一个最佳的阈值。实现阈值训练算法需要对图像进行分析计算。给定阈值的初始范围 K_1 到 K_r , 则算法具体步骤如下:

- (1) 读入原始图像 K_i , 其中 $1 \leq i \leq r$;
- (2) 对每个 K_i 计算采用该阈值时的去噪图像;
- (3) 计算总体残差 E_i ;
- (4) 绘出 K_i 和 E_i 的关系曲线图;
- (5) 从 K_i - E_i 曲线中找出 E 值最小点所对应的阈值, 作为最佳阈值。

阈值去噪算法为

$$\theta = T(w) = \begin{cases} |w| - k & |w| \geq k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中, w 为分解复数小波的系数, k 为阈值。小波系数阈值处理采用

$$\hat{w} = \begin{cases} w \cdot \theta / (\theta + k) & |w| \geq k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

即把信号的绝对值与阈值比较, 将小于或等于阈值的点变为 0, 将大于阈值的点变为该点值与阈值的差值比率的乘积。 w 和 \hat{w} 分别代表带噪小波系

数和去噪处理后的系数。

4 仿真实验

为了验证双密度双树复数小波变换去噪的优越性, 现以一个大小为 512×512 的典型图像 (Lena) 为例, 首先加入噪声, 再分别采用传统的滤波器方法、双密度双树小波、双密度双树复数小波变换去噪, 本文采用频率变换法设计 2 维滤波器, 所设计的滤波器如图 4 所示。并分别采用 LOG 算子对几种去噪图像进行边缘提取。

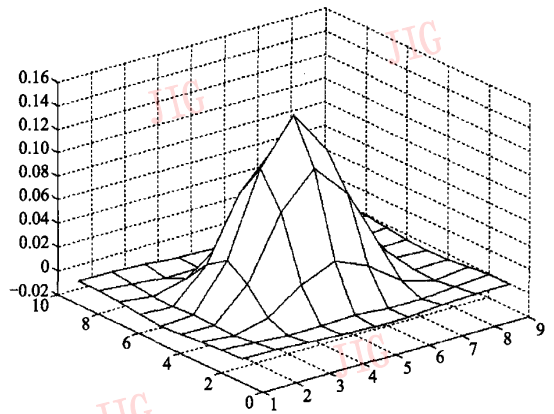


图 4 2 维滤波器

Fig. 4 2D Filter

表 1 给出了采用滤波器、双密度双树小波和双密度双树复数小波的去噪的数值结果, 图 5 给出了去噪和边缘提取的图像对比结果。

表 1 几种去噪方法的均方误差比较

Tab. 1 MSE obtained by different methods on Lena

方法	均方误差/dB
滤波器去噪	26.29
双密度双树小波去噪	19.35
双密度双树复数小波去噪	18.99

从表 1 可以看出, 3 种方向中双密度双树复数小波去噪的均方误差最小。双密度双树复数小波比滤波器去噪均方误差减小了 28%, 比双密度双树小波去噪均方误差减小了 2.4%。因此, 双密度双树复数小波比滤波器去噪有较大改善, 比双密度双树小波去噪也有明显改进。从图 5 可以看出, 去噪后图像用肉眼较难分辨去噪效果, 但进一步进行边缘

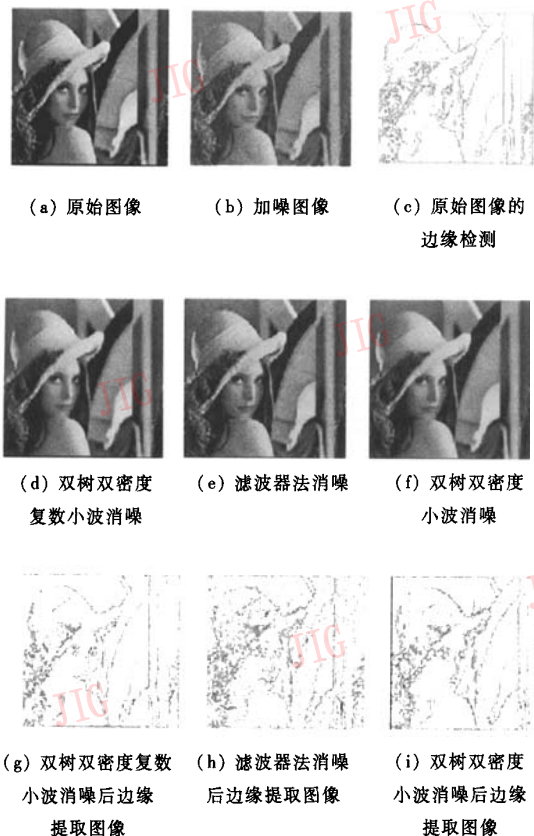


图 5 去噪及边缘提取对比图

Fig. 5 Contrast images of denoising and edge detection

检测后,可以采用双密度双树复数小波去噪后的边缘检测图像,不仅保留了边缘,而且图像干净,去噪效果明显,边缘检测效果好。

由这些典型图像去噪结果可以得到以下结论:采用双密度双树复数小波变换去噪效果在列出的几种变换中效果最好,并且由于双密度双树复数小波变换具有 12 个空间方向的信息,且方向性好,所以能提高小波变换分解与合成的精度,对噪声有较好的抑制,并且几乎不损失边缘信息,从而为下一步图像特征参数的获取等工作奠定了较好的基础。

5 结 论

由于双密度双树复数小波变换同时具有双密度、双树小波和复数小波的特性,具有平移不变性,以及良好的方向性和精确的相空间信息,因此可以提高图像去噪效果,并保留原图像的固有信息如边缘信息。应注意的是,因为双密度双树复数小波变换具有较大的数据冗余性,其变换系数比输入信号需要更多的存储空间和时间,所以不适合用于图像、视频的压缩。

参考文献 (References)

- 1 Donoho D L. Denoising by soft-thresholding[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1995, 41(3): 613 ~ 627.
- 2 Mallat S. Zero-crossings of a wavelet transform [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1991, 37(4): 1019 ~ 1033.
- 3 Simoncelli E P, Freeman W T, Adelson E H, et al. Shiftable multiscale transforms[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1992, 38(2): 58 ~ 60.
- 4 Kingsbury N G. The dual-tree complex wavelet transform: a new technique for shift invariance and directional filters [A]. In: Proceedings of 8th IEEE Digital Signal Processing Work shop [C], Bryce Canyon, Utah, USA, 1998: 86 ~ 89.
- 5 Kingsbury N G. Image processing with complex wavelets [J]. Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1999, 357(9): 2543 ~ 2560.
- 6 Kingsbury N G. Complex wavelets for shift invariant analysis and filtering of signals [J]. Applied and Computational Harmonic Analysis, 2002, 10(3): 234 ~ 253.
- 7 Donoho D L, Johnstone IM. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81(2): 425 ~ 455.
- 8 Selesnick IW. The double-density dual-tree [J]. IEEE Transactions on IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004, 52(5): 1304 ~ 1314.