

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 7
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年7月 第17卷 第7期(总第195期)

目次

综述

中国多媒体技术研究: 2011 史元春, 徐光祐, 高原(741)

图像处理和编码

图像引导滤波的局部多尺度 Retinex 算法 方帅, 杨静荣, 曹洋, 武鹏飞, 饶瑞中(748)

基于第一主成分方向稳定性的图像零水印 付剑晶, 王珂(756)

小波变换估计非线性扩散最优停止时间 蒋平, 张建州(770)

图像分析和识别

改进的 Beamlet 与 Canny 相结合提取复杂图像线特征 曾接贤, 周沥沥, 符祥(775)

动静态信息融合及动态贝叶斯网络的步态识别 杨旗, 薛定宇(783)

融合音频单词与视觉特征的成人视频检测 刘毅志, 唐胜, 王向东, 林守勋, 张勇东(791)

基于平面区域跟踪的目标位姿参数自动测量 回丙伟, 文贡坚, 赵竹新, 钟金荣(798)

3 维图像中边界曲面的分类追踪及抽取 丁德福, 程柳航, 王利生(806)

局部时空域模型的核密度估计目标检测方法 王兴宝, 刘纯平, 费兰英, 王朝晖, 季怡(813)

基于相位谱和调谐幅度谱的显著性检测方法 李崇飞, 高颖慧, 卢凯, 曲智国(821)

图像理解和计算机视觉

“目标-场景”语境关联的生成图模型分析 谢昭, 李姍琦, 高隼(828)

融合上下文信息的场景结构恢复 武晖, 于昕, 隋尧, 张利(839)

带有局部控制因子的图割光流估计 路子赟, 唐土生, 高隼, 沈琳, 刘伟(846)

改进的 Harris 亚像素角点快速定位 何海清, 黄声享(853)

计算机图形学

应用最小生成树实现点云分割 孙金虎, 周来水, 安鲁陵(858)

医学图像处理

病毒进化的离散差分进化超声图像特征选择 张巧荣, 朱长明, 倪军, 刘海波(866)

分水岭优化的 Snake 模型肝脏图像分割 兰红, 张璐(873)

遥感图像处理

Normalized Cut 与分水岭变换在高光谱影像混合像元端元提取中的应用 许菡, 李小娟(880)

改进非局部均值滤波的 SAR 图像降噪方法 郑永恒, 程建, 曹宗杰(886)

~~~~~  
第四届国际遥感考古会议 ..... (892)

**中国图象图形学报**

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 7 期

2012 年 7 月 16 日出版

**主管单位** 中国科学院  
**主 办** 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所  
**主 编** 李小文  
**编辑出版** 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱:jig@irsa. ac. cn  
电话:010-64807995 010-82614429  
网 址:www. cjjg. cn  
**印刷装订** 北京北林印刷厂  
**广告经营许可证** 京朝工商广字第 0346 号  
**总 发 行** 北京报刊发行局  
**订 购** 全国各地邮局  
**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences  
**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics  
**Chief editor** LI Xiaowen  
**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa. ac. cn  
**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals  
**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)  
**Printed by** Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

( Monthly , Started in 1996 )

Vol. 17 No. 7 July 2012

## Contents

### Review

Researches on multimedia technology in China, 2011 ..... Shi Yuanchun, Xu Guangyou, Gao Yuan (741)

### Image Processing and Coding

Local multi-scale Retinex algorithm based on guided image filtering  
..... Fang Shuai, Yang Jingrong, Cao Yang, Wu Pengfei, Rao Ruizhong (748)

Image zero-watermark based on direction stability of first principal component vector ..... Fu Jianjing, Wang Ke (756)

Stopping-time estimation for anisotropic diffusion using discrete wavelet transform ..... Jiang Ping, Zhang Jianzhou (770)

### Image Analysis and Recognition

Complex image line feature extraction based on improved Beamlet transform and the Canny operator  
..... Zeng Jiexian, Zhou Lili, Fu Xiang (775)

Gait recognition based on dynamic & static information fusion and dynamic bayesian network ..... Yang Qi, Xue Dingyu (783)

Fusing audio-words with visual features for adult video detection  
..... Liu Yizhi, Tang Sheng, Wang Xiangdong, Lin Shouxun, Zhang Yongdong (791)

Automatic measurement for an object's position and attitude via tracking planar regions  
..... Hui Bingwei, Wen Gongjian, Zhao Zhuxin, Zhong Jinrong (798)

Detection and extraction of boundary surface patches within 3D images ..... Ding Defu, Cheng Liuhang, Wang Lisheng (806)

Foreground object detection method using kernel density estimation of a local spatio-temporal model  
..... Wang Xingbao, Liu Chunping, Fei Lanying, Wang Zhaohui, Ji Yi (813)

Saliency detection method based on phase spectrum and amplitude spectrum tuning  
..... Li Chongfei, Gao Yinghui, Lu Kai, Qu Zhiguo (821)

### Image Understanding and Computer Vision

"Object-Scene" contextual associated generative graph model analysis ..... Xie Zhao, Li Shanqi, Gao Jun (828)

Structure recovery algorithm using contextual information ..... Wu Hui, Yu Xin, Sui Yao, Zhang Li (839)

Graph cut optical flow estimation with a local control factor ..... Lu Ziyun, Tang Tusheng, Gao Jun, Shen Lin, Liu Wei (846)

Improved algorithm for Harris rapid sub-pixel corners detection ..... He Haiqing, Huang Shengxiang (853)

### Computer Graphics

Research on point cloud segmentation using a minimum spanning tree ..... Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling (858)

### Medical Image Processing

Virus-evolutionary discrete differential evolution algorithm for feature selection of cervical lymph nodes in ultrasound images  
..... Zhang Qiaorong, Zhu Changming, Ni Jun, Liu Haibo (866)

Liver image segmentation algorithm based on the Snake model And optimized by watershed transformation  
..... Lan Hong, Zhang Lu (873)

### Remote Sensing Image Processing

Endmember extraction for hyperspectral image based on normalized cut and watershed transformation  
..... Xu Han, Li Xiaojuan (880)

SAR image denoising via improved non-local means filter ..... Zheng Yongheng, Cheng Jian, Cao Zongjie (886)

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)07-0770-05

论文引用格式: 蒋平, 张建国. 小波变换估计非线性扩散最优停止时间[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(7): 770-774.

## 小波变换估计非线性扩散最优停止时间

蒋平<sup>1,2</sup>, 张建国<sup>1</sup>

1. 四川大学计算机学院, 成都 610065; 2. 陕西榆林学院信息工程系, 榆林 719000

**摘要:** Gilboa 提出一种针对高斯噪声的基于信噪比(SNR)最优的迭代停止时间估计方法。该方法用一个噪声补丁来估计图像噪声与冗余(噪声图像与去噪图像的差)的协方差对冗余方差的导数, 补丁是随机生成的纯高斯噪声图像, 其均值为零并且方差等于噪声图像的噪声方差。在实际应用中图像噪声方差未知, 补丁的噪声是随机的, 不同噪声所得到的最后停止时间可能不同。针对这些问题, 对该方法进行了改进。首先将图像进行小波变换; 再利用小波系数的层间相关性去掉第1层斜向高频系数(HH<sub>1</sub>)中的边缘纹理信息, 获得“纯”的子噪声; 然后把子噪声作为补丁的噪声取代随机噪声。实验结果表明, 改进方法不仅能解决随机噪声补丁的两个问题, 而且去噪图像在峰值信噪比(PSNR)上有一定优势。

**关键词:** 非线性扩散; 最优停止时间; 小波变换; 高斯噪声; 信噪比

## Stopping-time estimation for anisotropic diffusion using discrete wavelet transform

Jiang Ping<sup>1,2</sup>, Zhang Jianzhou<sup>1</sup>

1. College of Computer, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Department of Information Engineering, Yulin College, Yulin 719000, China

**Abstract:** Anisotropic diffusion (ATD) is a very important method for image denoising. The selection of the optimal stopping-time for ATD is one of the most important problems. Recently, Gilboa proposed an estimation method of stopping-time for ATD in Gaussian noisy images based on an optimal SNR. The method uses a noisy patch to estimate the derivative of the covariance of the noise and the redundancy (the result of noisy image minus the denoised image) with respect to the variance of the redundancy. The patch's noise is random Gaussian noise whose mean is zero and whose variance is the variance of the image's noise. The method has two defects. On the one hand, the method needs the variance of the image's noise, which is unknown in practice. On the other hand, the patch's noise is random and the result may be different because of different patch's noise. Our proposed method is optimized for these problems. First, the noisy image is transformed by wavelets. Then the information of edges and textures in the first coefficients of direct wavelet (HH<sub>1</sub>) is reduced by using the inter-scale correlation of wavelet coefficients. Last, the reduced HH<sub>1</sub> is taken as the patch's noise. Experiments show that the proposed method can solve the two defects and the denoised image by the proposed method has a better PSNR.

**Key words:** anisotropic diffusion; optimal stopping-time; wavelet transform; gaussian noise; signal-noise-ratio

收稿日期: 2011-05-31; 修回日期: 2012-02-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61171118); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(SRFDP-20110002110057)

第一作者简介: 蒋平(1979—), 男, 讲师, 四川大学计算机学院计算机应用技术专业博士研究生, 主要研究方向是计算机视觉。E-mail:

general515@tom.com

## 0 引言

图像去噪是图像处理中的一个重要课题,主要有非线性扩散<sup>[1-2]</sup>、非局部均值滤波<sup>[3-4]</sup>和小波阈值等方法<sup>[5]</sup>。非线性扩散是一种有力的去噪工具,其中最具有影响力的非线性扩散模型是 Perona 和 Malik 的 P-M 模型<sup>[2]</sup>。非线性扩散去噪有两个关键问题,一个是扩散系数的梯度阈值,另一个是选择最优迭代停止时间。

目前关于最优迭代停止时间的研究中比较有代表性的主要有3种。1) Weickert<sup>[6]</sup>的相对方差方法。当去噪图像方差与噪声图像方差比值达到一个常数时迭代停止。但这个常数的选取要依赖先验信息,且该方法获得的停止时间往往比最优停止时间长。2) Mrazek 等人<sup>[7]</sup>的相对关系方法。去噪图像的均方差与冗余均方差的积再除去噪图像和冗余的协方差的值被称为相对关系,当相对关系最小时迭代停止。该方法是完全自适应的。但图像中的边缘纹理信息常常被误认为噪声而影响到相对关系的计算,从而导致停止时间比最优停止时间长。3) Gilboa 等人<sup>[8]</sup>的基于 SNR 最优的迭代停止时间估计方法。当图像噪声和冗余的协方差值对冗余方差的导数小于等于0.5时迭代停止。由于不知道图像的噪声,所以用一个由纯噪声构成的补丁来估计这个导数,补丁是随机生成的纯高斯噪声图像,其均值为零并且方差等于噪声图像的噪声方差。该方法有两个缺点,一是需要获取图像的噪声方差;二是补丁的噪声是随机的,而不同的噪声得到的迭代停止时间有可能不同。除了这3种方法外,还有许多学者提出的其他方法<sup>[9-11]</sup>。

本文针对 Gilboa 的迭代停止时间估计方法的两个缺点进行改进。根据 Monte-Carlo 原理,高斯噪声经过某种随机采样后得到的点数足够多的子噪声仍然是高斯的,其方差与原噪声相同。因此把从图像噪声采样出的子噪声作为补丁的噪声就不需计算图像噪声方差,而且也是稳定的。将噪声图像进行小波变换后,第一层斜向高频系数  $HH_1$  含有大量的噪声信息和边缘纹理信息。所以本文首先对图像进行小波变换,再利用小波系数的层间相关性<sup>[12]</sup>去掉  $HH_1$  中的边缘纹理信息得到图像噪声的子噪声,然后把子噪声作为补丁的噪声。

## 1 Gilboa 的迭代停止时间估计

对于加性噪声图像有模型

$$f = s + n \quad (1)$$

$$f = u + v \quad (2)$$

式中,  $f$  是噪声图像,  $s$  是无噪声图像,  $n$  是均值为0且方差为  $\sigma^2$  的高斯噪声,  $u$  是去噪图像,  $v$  是冗余。去噪图像  $u$  的信噪比 SNR 表示为

$$\text{SNR}(u) \cong 10 \lg \frac{V(s)}{V(u-s)} = 10 \lg \frac{V(s)}{V(n-v)} \quad (3)$$

式中,  $V()$  是方差,令  $\partial \text{SNR}(u) / \partial V(v) = 0$  可得

$$\frac{\partial \text{cov}(n, v)}{\partial V(v)} = \frac{1}{2} \quad (4)$$

式中,  $\text{cov}()$  是协方差,即迭代停止条件为

$$\frac{\partial \text{cov}(n, v)}{\partial V(v)} \leq \frac{1}{2} \quad (5)$$

由于噪声  $n$  未知,所以用一种方法来估计  $\partial \text{cov}(n, v) / \partial V(v)$ 。随机生成一个均值为0且方差为  $\sigma^2$  的高斯噪声  $n_p$  (大小不超过  $f$ ),再由  $f_p = \text{mean}(f) + n_p$  得到噪声补丁  $f_p$ 。定义  $\Omega = \Omega_0 \cup \Omega_p$ , 式中  $\Omega_0$  是噪声图像  $f$  的区域,  $\Omega_p$  是补丁  $f_p$  的区域。迭代时,对  $f_p$  同时进行扩散,则有

$$\frac{\partial \text{cov}(n, v)}{\partial V(v)} \approx \frac{\partial \text{cov}(n_p, v_p) |_{\Omega_p}}{\partial V(v) |_{\Omega}} \quad (6)$$

由式(5)得到迭代停止条件为

$$\frac{\partial \text{cov}(n_p, v_p) |_{\Omega_p}}{\partial V(v) |_{\Omega}} \leq \frac{1}{2} \quad (7)$$

该方法需已知图像噪声方差,但是在实际应用中图像噪声方差是未知的。补丁  $f_p$  中的噪声  $n_p$  是随机生成的,不同的  $n_p$  在迭代时,它们的统计数据有一些差异,导致最后停止时间不同,即多次对同一幅噪声图像进行去噪后得到的去噪图像有可能不同。

## 2 利用小波变换估计停止时间

### 2.1 图像小波变换

对图像进行小波变换,图像被分解为多层子带系数。图1是图像二层小波分解示意图,  $HH_i$  是第  $i$  层斜向高频系数,  $LH_i$  是第  $i$  层横向高频系数,  $HL_i$  是第  $i$  层纵向高频系数,  $LL_i$  是第  $i$  层低频系数。

图2是  $\sigma$  为10的Lena噪声图像的二层小波分解图<sup>[13]</sup>。从图2(b)中看出第2层高频系数中包含

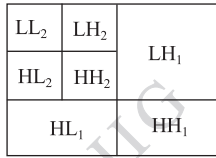


图1 图像二层小波分解示意图  
Fig. 1 Schema of DWT

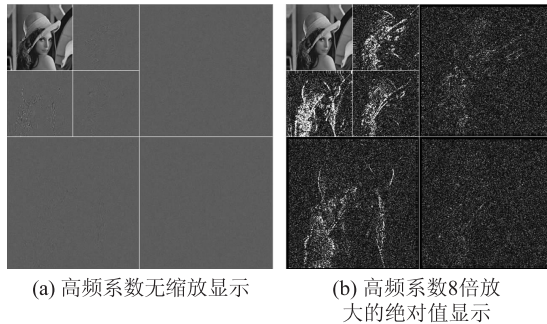


图2  $\sigma = 10$  的 Lena 噪声图像的二层小波分解图  
Fig. 2 Decomposed image by DWT for noisy lena image ( $\sigma = 10$ )

的边缘纹理信息明显多于第1层。在第1层高频系数中,HL<sub>1</sub> 和 LH<sub>1</sub> 中的边缘纹理信息比 HH<sub>1</sub> 多,这是因为一般图像的边缘纹理信息在水平和垂直方向多于在斜向上方向。

2.2 利用层间相关性去掉 HH<sub>1</sub> 中的边缘纹理信息

图像小波变换后,相邻层高频系数中的边缘纹理信息会出现在相应的位置,即边缘纹理信息在相邻层间有极大的相关性,而噪声的相关性小。所以可以利用边缘纹理信息的这种相关性尽可能地去掉 HH<sub>1</sub> 中的边缘纹理信息。

$N \times N$  ( $N$  是 2 的整数次幂) 的图像小波变换后, HH<sub>1</sub> 大小为  $\frac{N}{2} \times \frac{N}{2}$ , HH<sub>2</sub> 大小为  $\frac{N}{4} \times \frac{N}{4}$ 。HH<sub>2</sub> 中一个点  $f_2(i, j)$  对应 HH<sub>1</sub> 中的 4 个点  $f_1(2i - 1, 2j - 1)$ 、 $f_1(2i, 2j - 1)$ 、 $f_1(2i - 1, 2j)$  和  $f_1(2i, 2j)$  ( $f_k(i, j)$  表示 HH<sub>k</sub> 中坐标为  $(i, j)$  的像素点), 如图 3 所示。

利用层间相关性去掉 HH<sub>1</sub> 中边缘纹理信息的具体过程如下: 1) 计算 HH<sub>2</sub> 中幅值 (绝对值) 的平均值

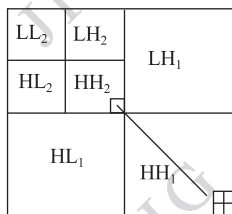


图3 图像小波系数相邻层间点的对应关系示意图  
Fig. 3 Relation between pixels of adjacent scales

$\hat{f}_2$ ; 2) 遍历 HH<sub>2</sub>, 如果  $|f_2(i, j)| > \hat{f}_2$ , 则在 HH<sub>1</sub> 中去掉相应的 4 个点。去掉边缘纹理信息后的 HH<sub>1</sub> 就是采样的子噪声  $\tilde{n}$ 。从图 4(b) 明显看出, HH<sub>1</sub> 中的绝大部分边缘纹理信息被去掉了, 余下的就是子噪声  $\tilde{n}$ 。

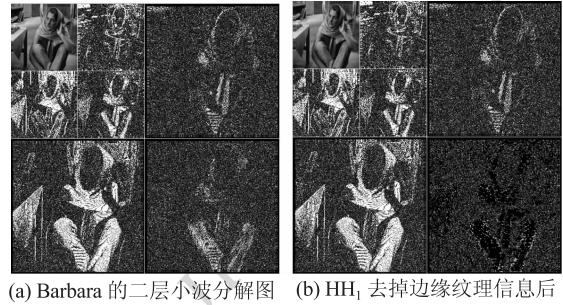


图4  $\sigma = 10$  的噪声图像二层小波分解图与 HH<sub>1</sub> 去掉边缘纹理信息后的比较

Fig. 4 Comparison between the decomposed image by DWT for noisy lena image ( $\sigma = 10$ ) and the decomposed image after removing edges in HH<sub>1</sub>

$\tilde{n}$  是从图像噪声采样的子噪声, 所以仍然是高斯的, 均值和方差也接近图像噪声的均值和方差。图 5 是从  $\sigma$  为 1 ~ 50 的 Lena 噪声图像采样的  $\tilde{n}$  的统计数据。从图 5(b) 可以看出,  $\tilde{n}$  的均方差与  $\sigma$  在 10 以上几乎相等。

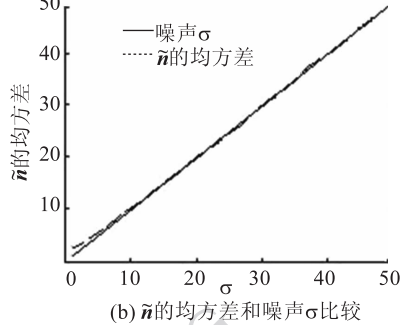
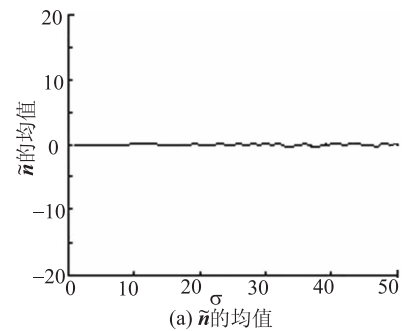


图5  $\sigma$  为 1 ~ 50 的 Lean 噪声图像采样的  $\tilde{n}$  的统计数据  
Fig. 5  $\tilde{n}$  of the samples in noisy image ( $\sigma$  as 1 to 50)

### 2.3 基于小波变换的停止时间估计

从前面分析可知,  $\tilde{n}$  是高斯的,其均值和方差也接近图像噪声的均值和方差,所以可以把  $\tilde{n}$  作为补丁的噪声,这样就不需计算图像噪声方差。另外,  $\tilde{n}$  是唯一的,所以迭代最终停止时间是稳定的。为了改进 Gilboa 方法,本文把  $\tilde{n}$  作为补丁的噪声是完全自适应的,且最后停止时间是稳定的。

使用噪声补丁的目的是在迭代过程中利用补丁的统计数据来估计  $\partial cov(\mathbf{n}, \mathbf{v}) / \partial V(\mathbf{v})$  (式(6))。  $\tilde{n}$  是从图像噪声中采样的子噪声,与随机噪声相比,在空间分布上  $\tilde{n}$  更接近于图像噪声,因此改进后的估计值比 Gilboa 方法的估计值更精确,最后的停止时间更准确。图 6 是 Gilboa 方法和本文方法对  $\partial cov(\mathbf{n}, \mathbf{v}) / \partial V(\mathbf{v})$  的估计值比较,实验图像是  $\sigma = 20$  的 Lena 噪声图像。从图 6 看出,本文方法的估计值更接近于  $\partial cov(\mathbf{n}, \mathbf{v}) / \partial V(\mathbf{v})$  的真实值,即本文方法的估计值更精确。根据迭代停止条件(式(7)),水平虚线与 3 条线的交点所对应的时间  $t$  就是迭代停止时间,实线对应的是最优停止时间。显然本文方法所得到停止时间比 Gilboa 方法获得的停止时间更接近最优停止时间。

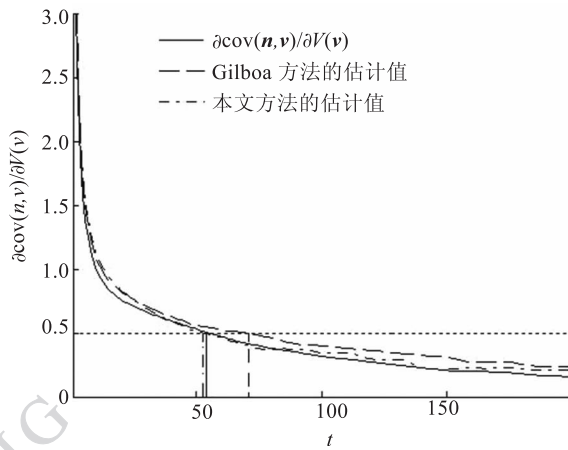


图 6 Gilboa 的估计方法与本文方法对  $\partial cov(\mathbf{n}, \mathbf{v}) / \partial V(\mathbf{v})$  的估计值比较

Fig. 6 Comparison between the estimation of Gilboa method and the estimation of proposed method for  $\partial cov(\mathbf{n}, \mathbf{v}) / \partial V(\mathbf{v})$

### 3 实验结果与分析

在实验中,扩散方程为 P-M 方程<sup>[2]</sup>,即

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = \text{div}(c(|\nabla \mathbf{u}|) \nabla \mathbf{u}) \quad (8)$$

$$c(|\nabla \mathbf{u}|) = \exp\left(-\left(\frac{|\nabla \mathbf{u}|}{k}\right)^2\right) \quad (9)$$

式中,  $\nabla \mathbf{u}$  表示图像梯度,  $k$  是梯度阈值,实验中  $k$  取值 20,图像为  $512 \times 512$  像素的 Lena、barbara、boat、peppers、cameraman 和 house 图像(图 7),分别添加  $\sigma$  为 5、10、20、30、40 和 50 的零均值高斯噪声。在噪声  $\sigma$  为 5 和 10 时,迭代时间步长为 0.05,其他的为 0.1。小波变换时用的是 db8 (Daubechies 8) 小波。Gilboa 方法中的补丁  $f_p$  的噪声方差是已知的  $\sigma^2$ ,而且补丁大小为  $80 \times 80$  像素。

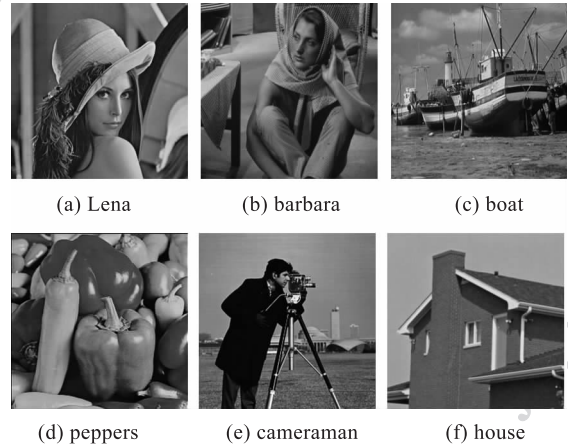


图 7 测试图像

Fig. 7 Test images

表 1 对本文方法和 Gilboa 方法去噪后图像的峰值信噪比 (PSNR) 进行比较, Gilboa 方法的值是 10 次实验结果的平均值。从表 1 中看出,本文方法大多数在 PSNR 上比 Gilboa 方法有优势。实验表明,本文方法不仅不需要获取图像噪声方差,而且在 PSNR 上优于 Gilboa 方法。

表 2 是 Gilboa 方法对同一噪声图像进行 10 次去噪处理后得到的 10 幅去噪图像的 PSNR 最大值与最小值的差值。从表 2 看出,在高噪声时,差值较大,也就是说,在高噪声时 Gilboa 方法多次对同一噪声图像去噪的结果之间相差较大。本文方法则是稳定的,即多次对同一噪声图像去噪的结果是相同的。

### 4 结论

本文基于 Gilboa 迭代停止时间估计方法进行改进,与 Gilboa 原方法比较,本文方法有以下 3 个优点:1) 自适应性,不需计算图像噪声方差;2) 稳定

表 1 Gilboa 方法和本文法去噪后图像的 PSNR

Table 1 PSNR Comparison between Gilboa method and the proposed method

| 图像        | 方法     | $\sigma$ |       |       |       |       |       |
|-----------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |        | 5        | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    |
| Lena      | Gilboa | 37.25    | 33.70 | 27.68 | 22.60 | 18.92 | 16.19 |
|           | 本文方法   | 37.00    | 33.72 | 27.74 | 22.68 | 18.98 | 16.25 |
| barbara   | Gilboa | 35.52    | 31.09 | 25.28 | 21.37 | 18.28 | 15.81 |
|           | 本文方法   | 34.65    | 31.14 | 25.35 | 21.43 | 18.37 | 15.91 |
| boat      | Gilboa | 35.40    | 31.99 | 26.47 | 21.93 | 18.63 | 16.04 |
|           | 本文方法   | 34.66    | 32.04 | 26.51 | 22.02 | 18.73 | 16.08 |
| peppers   | Gilboa | 38.65    | 35.04 | 28.16 | 22.71 | 18.95 | 16.23 |
|           | 本文方法   | 38.97    | 35.08 | 28.21 | 22.79 | 19.06 | 16.31 |
| cameraman | Gilboa | 37.54    | 34.11 | 27.50 | 22.54 | 18.89 | 16.26 |
|           | 本文方法   | 38.29    | 34.17 | 27.53 | 22.67 | 19.06 | 16.43 |
| house     | Gilboa | 39.31    | 35.77 | 28.77 | 23.17 | 19.17 | 16.38 |
|           | 本文方法   | 39.61    | 35.80 | 28.81 | 23.28 | 19.33 | 16.50 |

表 2 Gilboa 方法对同一噪声图像进行 10 次去噪处理得到的

10 幅去噪图像 PSNR 最大值与最小值的差值

Table 2 Difference between the maximum and the minimum of ten denoised images' PSNR by Gilboa's method

| 图像        | $\sigma$ |      |      |      |      |
|-----------|----------|------|------|------|------|
|           | 10       | 20   | 30   | 40   | 50   |
| Lena      | 0.08     | 0.13 | 0.20 | 0.18 | 0.17 |
| barbara   | 0.01     | 0.01 | 0.13 | 0.20 | 0.30 |
| boat      | 0.01     | 0.11 | 0.19 | 0.16 | 0.18 |
| peppers   | 0.01     | 0.10 | 0.19 | 0.28 | 0.20 |
| cameraman | 0.12     | 0.13 | 0.23 | 0.30 | 0.23 |
| house     | 0.11     | 0.25 | 0.23 | 0.31 | 0.31 |

性,多次对同一噪声图像去噪后的结果是相同的;

3) 具有更好的去噪性能。

本文是在频率域采样子噪声的,对丰富纹理图像效果不佳,因此本文方法不适合丰富纹理图像。

### 参考文献 (References)

- [1] Sapiro G. Geometric Partial Differential Equations and Image Analysis[M]. England: Cambridge University Press, 2001.
- [2] Perona P, Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(7):629-639.
- [3] Buades A, Coll B, Morel J M. A non-local algorithm for image denoising[C]//Proceedings of the 21th International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Orlando, USA;

IEEE, 2005:60-65.

- [4] Liu Y L, Wang J, Chen X, et al. A robust and fast non-local means algorithm for image denoising[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2008, 23(2):270-279.
- [5] Donoho D. De-noising by soft-thresholding[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1995, 41(3):613-627.
- [6] Weickert J. Coherence-enhancing diffusion of color images[J]. Image and Vision Computing, 1999, 17(3):201-212.
- [7] Mrazek P, Navara M. Selection of optimal stopping time for non-linear diffusion filtering[J]. International Journal of Computer Vision, 2003, 52(2/3):189-203.
- [8] Gilboa G, Sochen N, Zeevi Y Y. Estimation of optimal PDE-based denoising in the SNR sense[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(8):2269-2280.
- [9] Solo V. A fast Automatic stopping criterion for anisotropic diffusion[C]//Proceedings of the 27th International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Orlando, USA: IEEE, 2002: 1661-1664.
- [10] Ilyevsky A, Turkel E. Stopping criteria for anisotropic PDEs in image Processing[EB/OL]. (2010-04-07) [2010-05-28]. <http://springerlink.lib.tsinghua.edu.cn/content/gkvl0r2gl401255/fulltext.pdf>.
- [11] Rifkah E, Amer A. Fast automated stopping-time and edge-strength estimation for anisotropic diffusion[C]//Proceedings of the 33th International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Las Vegas, Nevada, USA: IEEE, 2008:933-936.
- [12] Yan F X, Cheng L Z, Peng S L. A new interscale and intrascale orthonormal wavelet thresholding for SURE-Based image denoising[J]. Signal Processing Letters, 2008, 15:139-142.
- [13] Gonzalez C R, Woods R E, Eddins S L. Digital image processing using MATLAB[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005:201-202.