

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 12
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12月 第17卷 第12期(总第200期)

目次

综述

高斯混合模型、求解算法及视觉应用综述..... 管涛, 李玲玲(1461)

图像处理和编码

基于曲波变换和色度模型的彩色图像去噪 张云强, 张培林, 王国德, 卓洪波(1472)

子矢量排序的渐进不相似度逼近算法 李阳, 潘志斌, 吴鑫鹏(1478)

稀疏梯度先验模型的正则化图像复原 刘伟豪, 梅林, 蔡烜(1485)

高精度亚像素全局运动估计的上采样梯度互相关算法 余应淮, 王锦荣(1492)

图像分析和识别

点到弦距离累加的自适应角点检测 王万良, 金亦挺, 赵燕伟, 胡峰俊(1500)

最大子分类间隔准则的核函数优化 张静, 杨智勇, 于红芸, 孙晓燕(1509)

核典型相关性鉴别分析 陈伟琦, 程强(1516)

小波变换和特征加权融合的人脸识别 赵焕利, 王玉德, 张学志, 薛乃玉(1522)

具有身份标识的多目标跟踪 安国成, 肖坦(1528)

图像理解和计算机视觉

用于圆锥体位姿测量的曲面标记..... 李蒙, 谌德荣, 周广铭, 蒋玉萍, 高翔霄(1534)

计算机图形学

基于特征识别的3维人脸动画模型自动构造…………… 徐明, 乔宁博, 文振焜, 曾新, 采振祥(1540)

3D GIS 环境下雨雪天气实时仿真…………… 李欢, 樊红, 冯浩(1548)

医学图像处理

结合马尔可夫随机场与模糊 C-均值聚类的脑 MRI 图像分割…………… 余黎煌, 钟华, 张石(1554)

遥感图像处理

面向遥感影像镶嵌的 SVR 色彩一致性处理…………… 吴炜, 骆剑承, 李均力, 杨海平, 沈占锋(1561)

遥感影像投影寻踪回归分类模型…………… 张正健, 李祚泳, 秦宁生, 刘志红, 巴桑(1568)

《中国图象图形学报》2012 年第 17 卷总目次…………… (1)

志谢…………… 封2

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 12 期

2012 年 12 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.cjig.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 ZTTXFZ 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. 12 December 2012

Contents

Review

Overview of Gaussian mixture models, solving algorithms and visual applications Guan Tao, Li Lingling(1461)

Image Processing and Coding

Denoising method for color images based on chrominance model and curvelet transform
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Wang Guode, Zhuo Hongbo(1472)

Improved incremental dissimilarity approximations algorithm using sub-vector sorting Li Yang, Pan Zhibin, Wu Xinpeng(1478)

Regularized image restoration algorithm on sparse gradient prior model Liu Weihao, Mei Lin, Cai Xuan(1485)

High accuracy sub-pixel global motion estimation based on upsampled gradient cross-correlation algorithm
..... Yu Yinghuai, Wang Jinrong(1492)

Image Analysis and Recognition

Adaptive corner detection based on chord-to-point distance accumulation
..... Wang Wanliang, Jin Yiting, Zhao Yanwei, Hu Fengjun(1500)

Kernel optimization approach based on maximum subclass margin criterion
..... Zhang Jing, Yang Zhiyong, Yu Hongyun, Sun Xiaoyan(1509)

Kernel discriminant analysis based on canonical correlation Chen Weiqi, Cheng Qiang(1516)

Face recognition based on wavelet transform and weighted fusion of face features
..... Zhao Huanli, Wang Yude, Zhang Xuezhi, Xue Naiyu(1522)

Multi-target tracking algorithms with identification label An Guocheng, Xiao Tan(1528)

Image Understanding and Computer Vision

Curved surface marker used for cone pose measurement
..... Li Meng, Chen Derong, Zhou Guangming, Jiang Yuping, Gao Xiangxiao(1534)

Computer Graphics

The approach to automatically construct animation models based on 3D facial geometry and texture features recognition
..... Xu Ming, Qiao Ningbo, Wen Zhenkun, Zeng Xin, Cai Zhenxiang(1540)

Real-time snow and rain rendering in 3D GIS environment Li Huan, Fan Hong, Feng Hao(1548)

Medical Image Processing

Fuzzy C-means clustering algorithm combined with markov random field for brain MR image segmentation
..... She Lihuang, Zhong Hua, Zhang Shi(1554)

Remote Sensing Image Processing

Support vector regression color normalization method for image mosaic
..... Wu Wei, Luo Jiancheng, Li Junli, Yang Haiping, Shen Zhanfeng(1561)

Remote sensing image classification model based on projection pursuit regression Zhang Zhengjian, Li Zuoyong, Qin Ningsheng, Liu Zhihong, Ba Sang(1568)

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)12-1472-06

论文引用格式: 张云强, 张培林, 王国德, 卓洪波. 基于曲波变换和色度模型的彩色图像去噪[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(12): 1472-1477.

基于曲波变换和色度模型的彩色图像去噪

张云强¹, 张培林¹, 王国德¹, 卓洪波²

1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 75134 部队, 崇左 532200

摘要: 针对彩色图像中高斯噪声难以去除的问题, 提出了一种基于色度模型的色度中值滤波与曲波变换域 Bayes 多阈值滤波相结合的彩色图像去噪方法。该方法首先将 RGB 图像转换为 HSI 图像, 通过在色度平面搜索色度中值分别消除 H 和 S 分量中的噪声, 然后采用循环平移的曲波变换域 Bayes 多阈值对 I 分量噪声进行消除, 最后通过 HSI 反变换得到去噪后的彩色图像。对比实验结果表明, 本文方法对彩色图像高斯噪声去除, 在获得较高峰值信噪比的同时, 能较好保留彩色图像的色度、亮度和图像纹理细节信息, 避免了“伪影”现象的产生。

关键词: HSI 空间; 图像去噪; 色度模型; 曲波变换; 高斯噪声

Denoising method for color images based on chrominance model and curvelet transform

Zhang Yunqiang¹, Zhang Peilin¹, Wang Guode¹, Zhuo Hongbo²

1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. 75134 unit, Chongzuo 532200, China

Abstract: Gaussian noise in color images is difficult to remove. We propose a denoising method by combining chrominance median filter based on chrominance model and Bayes multi-threshold filter in the curvelet transform domain. The method converts RGB images to HSI images first. The noise in the H and S components is filtered by searching chrominance median in the chrominance plane. Then, the noise in the I component is removed by using Bayes multi-threshold filter in the cycle spinning curvelet domain. Finally, the denoised color images are produced through the HSI inverse transformation. The contrast experiment results indicate that while achieving higher PSNR, the proposed method can better preserve the color images' chrominance, intensity as well as texture information, while avoiding yielding artifact effect for Gaussian noise removal in color images.

Key words: HSI space; image denosing; chrominance model; curvelet transform; Gaussian noise

0 引言

彩色图像含有比灰度图像更多的目标信息, 广泛应用于生活中各个领域。然而彩色图像在获取、传输和处理过程中难免会受到噪声污染, 严重影响视觉效果和图像后续处理。因此在图像分割和特征提取之前必须进行去噪处理。彩色图像中, 高斯噪

声比较常见, 是一种方差未知的随机白噪声。它对图像每个像素都会产生影响, 是图像去噪的难题之一。国内外学者针对彩色图像高斯噪声的去除展开广泛研究, 取得了很多成果^[1]。然而这些方法主要是在空域进行, 虽然彩色失真较少, 但是不能有效分离信号和噪声, 去噪效果受到限制。彩色图像每个像素由 3 个分量组成, 如果将其视为 3 幅灰度图像, 而把灰度图像变换域去噪方法(如小波域去噪算

收稿日期: 2011-10-10; 修回日期: 2012-06-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(50705097); 清华大学摩擦学国家重点实验室开放基金项目(SKLTkf09B06)

第一作者简介: 张云强(1987—), 男, 军械工程学院车辆工程专业硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、模式识别与故障诊断。

E-mail: zhangyunqiangoc@163.com

法)直接应用于 3 幅图像,虽然可以有效地分离信号和噪声,但去噪后图像彩色失真比较严重^[2]。

在 HSI 模型中,彩色图像的 3 个分量相互独立,其中 H 和 S 分量反映图像颜色信息,I 分量反映亮度信息。文献[3]设计了一种基于 H 和 S 的色度中值滤波器,具有较好的颜色保持特性,但是该方法没有对 I 分量进行处理,去噪效果理想。I 分量与普通灰度图像类似,因此可以采用灰度图像去噪方法进行处理。在灰度图像变换域去噪方法中,虽然基于小波变换的方法取得了较好的去噪效果,但是小波变换是各向同性,不能有效表达图像的曲线奇异性特征。曲波(Curvelet)变换^[4,6]不但具有小波变换的多分辨特性,而且具有各向异性的特点,可以很好地逼近奇异曲线,在图像去噪方面的能力优于小波变换^[7-11]。

综上所述,文献[3]方法具有较好的颜色保持特性,而曲波变换具有比小波更好的曲线奇异性表达能力。有鉴于此,为了更有效地去除彩色图像中的高斯白噪声,同时较好地保护图像的颜色和纹理细节信息,本文结合文献[3]方法和曲波变换理论,在色度中值滤波基础上,引入曲波变换域 Bayes 多阈值滤波,提出一种基于曲波变换和色度模型的去噪方法。

1 曲波变换理论

曲波变换理论的提出,是为了克服小波变换以及 Ridgelet 变换在表达曲线奇异信息方面的不足。曲波变换的发展经历了第 1 代和第 2 代。第 1 代曲波变换是由 Candes 和 Donoho 于 1999 年提出的^[4]。第 1 代曲波变换是基于 Ridgelet 变换实现的,算法冗余度较高,不易理解和使用。后来 Candes 等人又提出了第 2 代 Curvelet 变换^[5],为提高变换实现速度提供了可能。这里仅对第 2 代曲波变换进行介绍。

首先在 2D 空间 \mathbf{R}^2 中定义两个窗函数:径向窗函数 $W(r)$, $r \in (0.5, 2)$ 和角度窗函数 $V(t)$, $t \in [-1, 1]$ 。它们满足可允许条件

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} W^2(2^j r) = 1, r \in (0.75, 1.5) \quad (1)$$

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} V^2(t - l) = 1, r \in (-0.5, 0.5) \quad (2)$$

然后,对每一个 $j \geq j_0$,在频域中定义频率窗

$$U_j(r, \theta) = 2^{-3j/4} W(2^{-j} r) V\left(\frac{2^{[j/2]} \theta}{2\pi}\right) \quad (3)$$

式中, $[j/2]$ 表示对 $j/2$ 取整。 U_j 的支撑区间是受 W 和 V 支撑区间限制而获得的楔形区域,具有良好的各向异性的尺度特性。

另外,定义均匀旋转角度序列 θ_l 和平移参数 \mathbf{k} 。其中, $\theta_l = 2\pi \cdot 2^{[-j/2]} \cdot l$, $l = 0, 1, \dots, 0 \leq \theta_l \leq 2\pi$; $\mathbf{k} = (k_1, k_2) \in \mathbf{Z}^2$ 。

综合以上概念,在尺度 2^j , 方向 θ_l , 平移参数 (k_1, k_2) 处的 Curvelet 定义为

$$\varphi_{j,l,k}(\mathbf{x}) = \varphi_j(\mathbf{R}_{\theta_l}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_k^{(j,l)})) \quad (4)$$

式中, $\mathbf{x}_k^{(j,l)} = \mathbf{R}_{\theta_l}^T(k_1 2^{-j}, k_2 2^{-j/2})$, \mathbf{R}_{θ_l} 由 θ_l 旋转得到, $\mathbf{R}_{\theta_l}^T$ 为 \mathbf{R}_{θ_l} 的转置。

$$\mathbf{R}_{\theta_l} = \begin{pmatrix} \cos \theta_l & \sin \theta_l \\ -\sin \theta_l & \cos \theta_l \end{pmatrix} \quad (5)$$

于是,连续 Curvelet 变换可表示为

$$c(j, l, \mathbf{k}) = \langle f, \varphi_{j,l,k} \rangle = \int_{\mathbf{R}^2} f(\mathbf{x}) \bar{\varphi}_{j,l,k}(\mathbf{x}) d\mathbf{x} \quad (6)$$

式中, $\langle f, \varphi_{j,l,k} \rangle$ 表示 f 和 $\varphi_{j,l,k}$ 的内积, $\bar{\varphi}_{j,l,k}(\mathbf{x})$ 为 $\varphi_{j,l,k}(\mathbf{x})$ 的共轭复数。

2 基于曲波变换和色度模型的去噪方法

2.1 彩色空间转换

彩色图像的彩色空间有多种类型,其中最常用的是红(R)、绿(G)、蓝(B)三基色模型,然而该模型空间是非均匀的颜色模型,并且它的 3 个分量具有较强的相关性,不适于图像处理。而 HSI 模型的色调(H)、饱和度(S)和亮度(I)3 个分量具有很好的独立性,并且能将图像的彩色信息和亮度信息分开,很适合进行图像处理^[3]。因此选择在 HSI 空间对图像进行去噪。图像 RGB 空间与 HSI 空间之间的转换为^[12]

$$\mathbf{H} = \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 360 - \theta & B > G \end{cases} \quad (7)$$

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{(R - G) + (G - B)}{2 \sqrt{(R - G)^2 + (G - B)(G - B)}} \right\} \quad (8)$$

$$S = 1 - 3 \frac{\min(R, G, B)}{R + G + B} \quad (9)$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (10)$$

2.2 基于色度模型的 H 和 S 分量去噪

H 和 S 分量表征图像的色彩信息。文献[3]提出的色度中值滤波器具有良好的彩色保持特性,因

此根据文献[3],首先对彩色图像建立色度模型,然后通过色度平面搜索色度中值去除 H 和 S 分量中的噪声。

色度即图像的色调和饱和度,由复数进行定义。若令 $h(x,y)$ 、 $s(x,y)$ 和 $b(x,y)$ 分别为图像的色调、饱和度和色度,则 $b(x,y)$ 定义为

$$b(x,y) = s(x,y) \exp(ih(x,y)) \quad (11)$$

由欧拉公式得

$$\operatorname{Re}(b(x,y)) = s(x,y) \cos(h(x,y)) \quad (12)$$

$$\operatorname{Im}(b(x,y)) = s(x,y) \sin(h(x,y)) \quad (13)$$

式中, i 为虚数单位; Re 和 Im 表示实部和虚部,因此色度 $b(x,y)$ 还可以表示为

$$b(x,y) = s(x,y) \cos(h(x,y)) + is(x,y) \sin(h(x,y)) \quad (14)$$

对于一幅 HSI 彩色图像,取大小为 $k \times l$ 的滤波窗口(通常为 3×3 或 5×5),首先在色度平面内计算像素 i 和 j 之间的欧氏距离

$$d_{ij}^2 = [\operatorname{Re}(b_i) - \operatorname{Re}(b_j)]^2 + [\operatorname{Im}(b_i) - \operatorname{Im}(b_j)]^2 \quad (15)$$

式中, $1 \leq i, j \leq kl$ 。其次计算像素 i 到其他像素距离的平方和的最小值

$$d_m^2 = \min_{1 \leq i \leq kl} \left(\sum_{j=1}^{kl} d_{ij}^2 \right) \quad (16)$$

最后以 d_m^2 对应的像素值作为滤波输出,即可实现彩色分量 H 和 S 的去噪。

2.3 基于曲波变换的亮度 I 分量去噪

在 HSI 图像中,虽然 I 分量是图像的一个分量,但它与 H 和 S 彼此独立,因此可以像一般的灰度图像一样,利用曲波变换,在曲波域中对 I 分量进行去噪。

文献[6]介绍了两种离散曲波变换的实现算法,分别称为 USFFT 算法和 Wrap 算法。两种算法具有相同的变换结果,但前者相对简单,故选择前者来实现 I 分量的曲波变换。另外,与离散小波变换一样,离散曲波变换也没有平移不变性,曲波域去噪后的图像会出现明显的伪影。文献[13]研究发现,循环平移变换可以减少曲波去噪产生的伪影。因此,在曲波域对 I 分量进行阈值去噪时,引入循环平移操作,以减少去噪图像中的伪影。若设 I 分量大小为 $N \times N$ ($N = 2^k$),则带循环平移的曲波阈值去噪表示为^[13]

$$I_{\text{out}} = \frac{1}{K^2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K S_{-i,-j} (T^{-1}(\theta(T(S_{i,j}(I)))))) \quad (17)$$

式中, $S_{i,j}$ 和 $S_{-i,-j}$ 表示平移变换和平移逆变换,步长分别为 i, j ; T 和 T^{-1} 表示曲波正、逆变换。 θ 表示去噪阈值函数,定义为

$$\theta(x) = \begin{cases} x & |x| \geq T_h \\ 0 & |x| < T_h \end{cases} \quad (18)$$

阈值去噪效果的好坏,关键在于阈值的选择, T_h 过大噪声去除较好,但同时也会滤掉大量细节信息, T_h 过小则噪声不能很好的去除。目前,常用的阈值选择方法有 Donoho 门限、GCV 门限、SURE 门限和 Bayes 门限等。其中, Bayes 阈值估计是一种简单且非常有效的方法,比其他门限有更好的去噪效果。选择 Bayes 门限,其定义为

$$T_h = r \times \frac{\sigma_n^2}{\sigma_s} \quad (19)$$

式中, $r = \sqrt{2}$, σ_n^2 和 σ_s 表示噪声方差和信号标准差^[14]。

全局阈值容易对系数产生“过扼杀”现象,因此选择自适应多阈值去噪,即对曲波变换各尺度系数分别计算阈值。若 $c_k(i,j)$ 表示第 k 尺度的曲波系数,则 σ_n^2 和 σ_s^2 可由式(20)(21)进行估计^[9]。

$$\hat{\sigma}_n = \frac{\operatorname{median}(|c_k(i,j)|)}{0.6745} \quad (20)$$

$$\hat{\sigma}_s^2 = \max\left(\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_k^2(i,j) - \hat{\sigma}_n^2, 0\right) \quad (21)$$

2.4 去噪方法具体步骤

- 1) 将受噪声污染的 RGB 图像 $T_{\text{in}}(m \times n)$ 转化为 HSI 图像 T'_{in} ;
- 2) 选定滤波窗口的大小,利用色度模型对 T'_{in} 的 H 和 S 分量进行去噪,得到图像 T_1 ;
- 3) 设 $N = \max\{m, n\}$,对 T_1 的 I 分量通过边缘补零,转变成大小为 $N \times N$ 的图像 I' ;
- 4) 设定曲波变换最大尺度 k_m ,对 I' 进行带循环平移的曲波 Bayes 多阈值去噪,得到 I_{out} ;
- 5) 将 I_{out} 恢复成 $m \times n$ 的图像,代替 T_1 的 I 分量,形成图像 T_2 ;
- 6) 将 T_2 转化到 RGB 空间,得到去噪后的图像 T_{out} 。

3 实验结果与分析

3.1 实验设计与评价标准

为了测试本文去噪方法对高斯白噪声的去噪性能,选择标准测试图像 Lena(24-bit RGB, 256×256)

进行实验。图像中分别加入方差 σ^2 为 0.005、0.01、0.015 和 0.02 的高斯白噪声。同时为便于比较,设计对比实验如下:1)H、S 和 I 3 个分量分别用小波 Bayes 多阈值去噪(Wavelet);2)H、S 和 I 3 个分量分别用曲波 Bayes 多阈值去噪(Curvelet);3)基于色度模型的均值滤波(CAF)^[3];4)基于色度模型的中值滤波(CMF)^[3];5)矢量中值滤波(VMF)^[15];6)H 和 S 分量去噪与本文方法相同,I 分量用小波 Bayes 多阈值去噪(CMFBW);7)H 和 S 分量去噪与本文方法相同,I 分量用曲波 Bayes 多阈值去噪(无循环平移)(CMFBC);8)本文去噪方法。

通过视觉效果和定量分析两个方面来评价图像去噪效果。根据文献[1],选择平均绝对误差(MAE)、平均均方误差(MSE)和峰值信噪比(PSNR)3个指标进行定量描述。其中,MAE可以衡量算法对于图像细节信息的保护能力;MSE表示两个彩色图像在欧氏空间的整体差异;PSNR用来比较去噪后图像与原图像质量的差异。MAE、MSE和PSNR分别为

$$MAE = \frac{1}{3mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \|T_{out}(i,j) - T_0(i,j)\|_1 \quad (22)$$

$$MSE = \frac{1}{3mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \|T_{out}(i,j) - T_0(i,j)\|_2^2 \quad (23)$$

$$PSNR = 10 \times \lg \left(\frac{255^2}{\frac{1}{3mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \|T_{out}(i,j) - T_0(i,j)\|_2^2} \right) \quad (24)$$

式中, $\|\cdot\|_L$ 表示向量的 L -范数, T_0 表示不含噪图像。

3.2 图像去噪结果与分析

对受不同强度噪声污染的 Lena 和 Peppers 图像,分别采用以上 8 种方法进行去噪,并计算去噪后图像的 MAE、MSE 和 PSNR 值,结果如图 1—图 3 所示。图 1 和图 2 分别展示的是受方差 $\sigma^2 = 0.015$ 的高斯白噪声污染的 Lena 和 Peppers 图像经不同方法去噪后的图像,图 3 为不同去噪方法的 MAE、MSE 和 PSNR 值比较结果。

对比图 1—图 3 可知:在 8 种去噪方法中,本文方法和 CMFBC 方法去噪效果最好,VMF 方法次之,Wavelet、Curvelet 和 CAF 3 种方法去噪效果最差。结果分析如下:Wavelet 和 Curvelet 方法通过对图像 H、S 和 I 3 个颜色分量分别进行滤波实现图像去噪,忽略了图像的色彩信息由 H 和 S 共同表达,因而导致去噪之后图像颜色失真比较严重;色度均值滤波和色度中值滤波没有对图像的 I 分量进行去噪,故去噪后的图像还残留很多噪声;矢量中值方法取得较好的去噪结果,但是在去噪过程中没有产生新的像素值,而高斯白噪声对图像每个像素都有影响,因此去噪后的图像仍然含有较多的高斯白噪声;小波 Bayes 多阈值去噪虽然也取得了一定的去噪效果,但图像过于平滑,有的纹理细节严重模糊;曲波变换具有比小波更强的线奇异性表达能力,因此曲波 Bayes 多阈值去噪方法在去噪的同时较好地保护

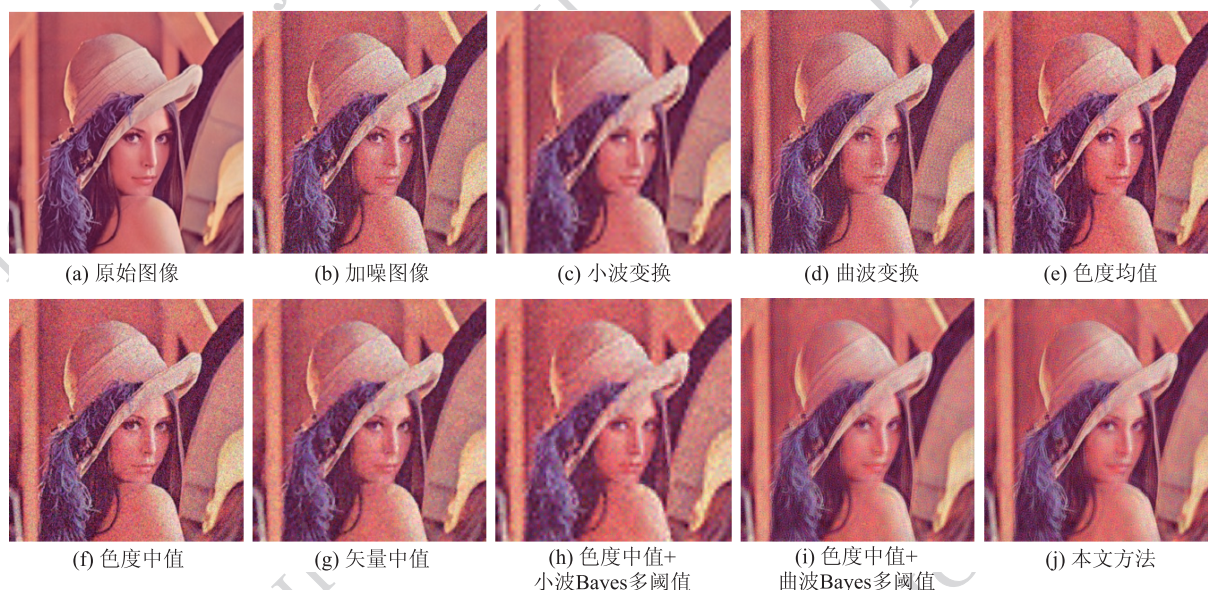


图 1 Lena 图像不同方法的去噪结果

Fig. 1 Denoising results of Lena image with different methods

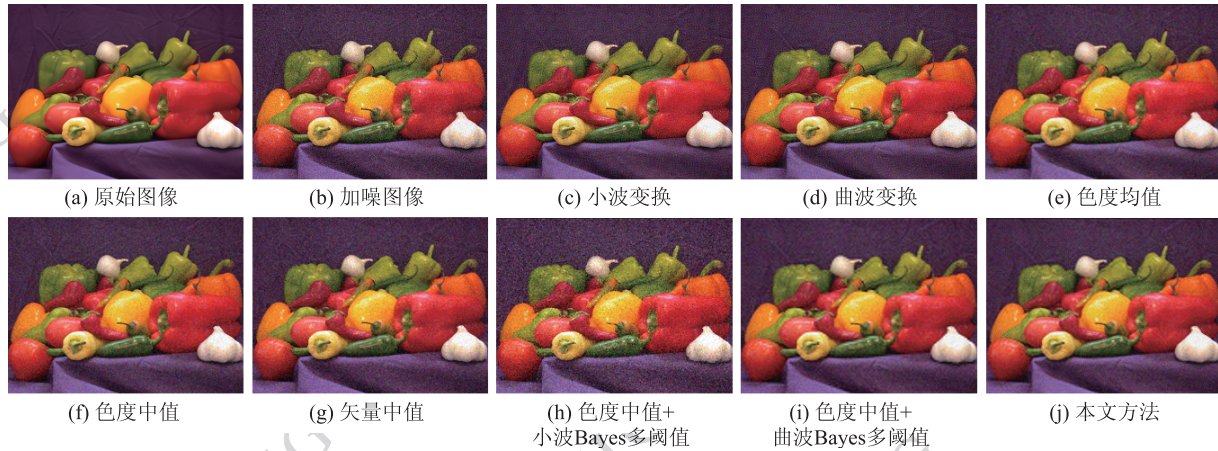


图 2 Peppers 图像不同方法的去噪结果

Fig. 2 Denoising results of peppers image with different methods

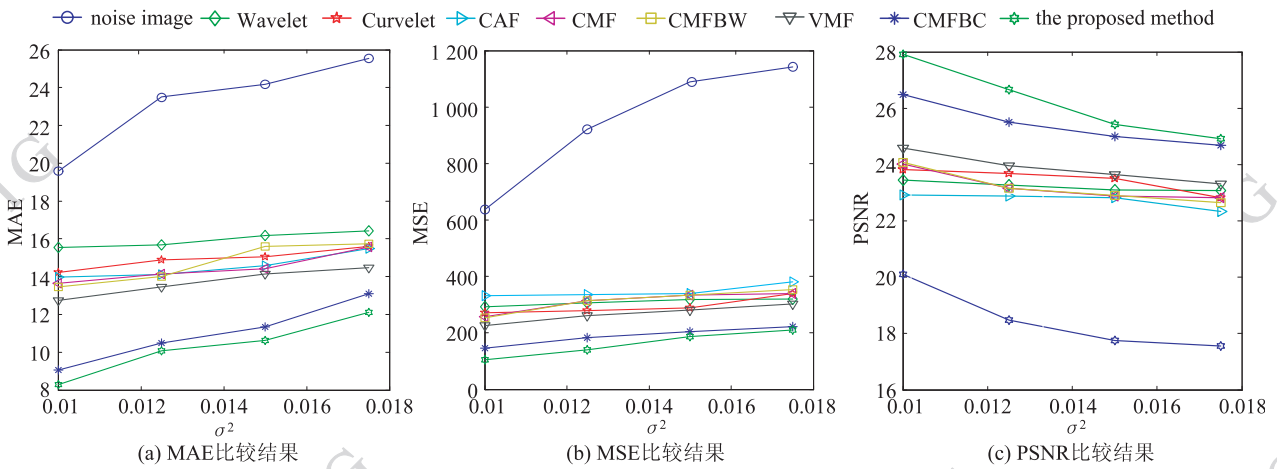


图 3 不同去噪方法的 MAE、MSE 和 PSNR 比较结果

Fig. 3 Comparison with different denoising methods in MAE, MSE and PSNR

了图像的细节和边缘信息,弥补了小波多阈值去噪的不足,去噪效果明显提高。然而由图 1 (i) 和图 2 (i),尤其是图 1 (i) 可以看出,曲波 Bayes 多阈值去噪后的图像出现了明显的伪影,影响了视觉效果,而增加循环平移操作之后,伪影现象得到一定程度地消除,去噪效果进一步得到了改善。

4 结 论

针对彩色图像中的高斯白噪声,提出了一种基于曲波变换和色度模型的彩色图像去噪方法。该方法在色度中值滤波的基础上,引入了曲波变换,对图像的 I 分量用曲波 Bayes 多阈值进行去噪。实验结果表明:1)与传统方法和基于小波 Bayes 多阈值去噪方法相比,本文方法获得了较好的视觉效果和

较小的 MAE、MSE 和 PSNR 值,能去除大量噪声,同时更好地保留图像的细节信息和边缘特征。2)通过时域和变换域结合的方法对彩色图像进行去噪是可行的,是彩色图像去噪的一条新的途径。

参考文献 (References)

[1] Jin L H, Yao X Z, Li D H. A survey on color image vector filtering techniques [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14 (2):243-254. [金良海, 姚行中, 李德华. 彩色图像矢量滤波技术综述 [J]. 中国图象图形学报, 2009, 14 (2):243-254.]

[2] Zeng G P. Research on image denoising based on Wavelet transform [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007. [曾国平. 基于小波变换的图像去噪算法研究 [D]. 北京:北京交通大学, 2007.]

[3] Andreas K, Mongi A. Digital Color Image Processing [M]. Bei-

- jing: Tsinghua Press,2010: 112-122.
- [4] Candes E J, Donoho D L. Curvelet—A surprisingly effective non-adaptive representation for objects with edges [C]//Rabut C, Cohen A, Schumaker L L. Curves and Surfaces. Nashville, USA: Vanderbilt University Press, 1999: 105-120.
- [5] Candes E J, Donoho D L. Recovering edges in ill-posed inverse problems: Optimality of curvelet frames[J]. The Annals of Statistics, 2002, 30(3): 784-842.
- [6] Candes E J, Demanet L, Donoho D L. Fast discrete curvelet transforms [R]. California: California Institute of Technology, 2005.
- [7] Wang W B, Yi X M, Fei P S. An image denoising method based on the relativity of the curvelet coefficients[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2006, 17(12): 1519-1523. [王文波, 羿旭明, 费浦生. 基于曲波系数相关性的去噪算法[J]. 光电子·激光, 2006, 17(12): 1519-1523.]
- [8] Wu A D, Zhao X L. Seismic signal denoising method based on curvelet transform[J]. Journal of China University of Petroleum, 2010, 34(3): 30-33. [吴爱弟, 赵秀玲. 基于曲波变换的地震信号去噪方法[J]. 中国石油大学学报, 2010, 34(3): 30-33.]
- [9] Wang X L, Li L Y. Image denoising algorithm based on local statistical property of curvelet coefficients [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2009, 31(2): 1-5. [汪祥莉, 李腊元. 基于曲波系数局部统计特性的图像去噪算法[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(2): 1-5.]
- [10] He J, Li H W, Zhang Q. Curvelet transform algorithm with auto-adaptive threshold to image denoising[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2010, 25(3): 336-340. [何劲, 李宏伟, 张群. 一种自适应阈值曲波图像去噪算法[J]. 数据采集与处理, 2010, 25(3): 336-340.]
- [11] Zhang X C, Zhang C J. Satellite cloud image de-noising and enhancement by fuzzy wavelet neural network and genetic algorithm in curvelet domain [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2007, 4688 (1): 389-395.
- [12] Li J, Meng Z D. HS joint statistics based adaptive color segmentation[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2010, 40 (sup 1): 266-271. [李峻, 孟正大. 基于HS分量联合统计的自适应阈值分割算法[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2010, 40 (增刊1): 266-271.]
- [13] Nguyen T B, Ashish K. Multilevel threshold based image denoising in curvelet domain [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2010, 25(3): 632-640.
- [14] Yang J Y. A de-noising algorithm for color images based on the second generation bandelet transform [J]. Computer Engineering & Science, 2010, 32(6): 65-67. [杨居义. 基于第二代 bandelet 变换的彩色图像去噪算法[J]. 计算机工程与科学, 2010, 32(6): 65-67.]
- [15] Astola J, Haavisto P, Neuvo Y. Vector median filters [J]. Proceedings of the IEEE, 1990, 78 (4): 678-689.