

一种基于前后向扩散的图像去噪与增强方法

杨学峰¹ 李金宗¹ 李冬冬¹ 朱 兵¹

(1 哈尔滨工业大学电子与信息工程学院,哈尔滨市西大直街 92 号,150001)

摘要:将各向异性前向扩散和后向扩散进行深度融合,提出了一种基于前后向扩散的图像去噪与增强方法。该方法利用非线性结构张量代替直接的梯度估计,增强对噪声的鲁棒性;将沿梯度方向增强的冲击滤波项改为按照自适应设定的阈值,进行前向扩散去噪和后向扩散增强的相互转换;对于角型结构,在与梯度垂直方向同样进行后向扩散,以增强角型纹理。实验结果表明,本文算法不仅有效去除了噪声,而且增强了纹理。

关键词:各向异性扩散;冲击滤波器;结构张量;去噪

中图法分类号:P237.3

图像复原是低级视觉的重要步骤之一,特别是当输入图像产生模糊、噪声时。理想的复原算法应该同时去除噪声和增强纹理,但这两者之间常常是矛盾的,因为噪声和纹理都属于高频成分。基于偏微分方程的各向异性前向扩散可以有效地去除噪声的同时保持纹理,近年来获得了广泛的研究^[1-8]。冲击滤波器^[9]是一种形态学后向扩散滤波,能有效增强纹理,但不能去除噪声,在有噪声的情况下,还可能出现噪声放大。将前向和后向扩散滤波方法结合起来,可以在去除噪声的同时保持并增强图像纹理^[10-13]。文献[14]进一步提出了非线性结构张量(nonlinear structure tensor, NLST),它通过对结构张量进行 TV 扩散,提高了估计的性能和对噪声的鲁棒性。文献[15-17]提出了更为复杂的 NLST 计算方法。本文将各向异性正向扩散与冲击滤波后向扩散结合起来,提出了一种新的基于前后向扩散的图像去噪与增强方法。

1 改进的基于前后向扩散的去噪与增强模型

为消除梯度估计对噪声的敏感性及消除效应,采用文献[14]提出的非线性结构张量代替直接的梯度计算,梯度方向使用结构张量的两个特征矢量表示,梯度幅度用 $\sqrt{\lambda_1 + \lambda_2}$ 来表示。

为解决梯度方向只有增强没有扩散的问题,对图像结构张量特征值 λ_1 设置一门限 λ_T ,大于该门限时,采用后向扩散(冲击滤波)增强;小于该门限,则变为前向扩散,这只需将冲击滤波项乘以 $\text{sign}(\lambda_1 - \lambda_T)$ 即可。门限 λ_T 的设置会对结果有影响, λ_T 设为 0, 相当于没有门限,仍然为只有冲击没有扩散;设为 λ_1 的最大值,相当于法向只有扩散而没有增强。 λ_T 可以设置为 $k \cdot \text{median}(\lambda_1)$, median 为整幅图像的中值算子, k 为一正常数。为保持数值计算的稳定,加入数据一致项 $\gamma(u - u_0)$,可以提出如下的扩散模型:

$$u_t = -\text{sign}(\lambda_1 - \lambda_T) \text{th}(k_1 u_\eta) |u_\eta| + c_\xi u_\approx + \gamma(u - u_0) \quad (1)$$

其中, $c_\xi = 1/(1 + u_\xi^2)$; k_1 和 γ 为正常数。

然而,式(1)中的 $\text{sign}(\lambda_1 - \lambda_T)$ 只考虑了符号而没有考虑 $\lambda_1 - \lambda_T$ 的幅度,而 λ_1 和 λ_T 之差的大小对扩散也应该有一定的影响。当 $\lambda_1 \gg \lambda_T$ 时,表明该区域为梯度较大的纹理丰富区域,应进行最大程度的逆向扩散,以增强纹理;当 $\lambda_1 \ll \lambda_T$ 时,表明该区域为平滑无纹理区域,应进行最大程度的正向扩散,以去除噪声; λ_1 和 λ_T 相近时,进行最小程度的正向或逆向扩散。式(1)可以进一步改为:

$$u_t = -\text{th}(k_1(\lambda_1 - \lambda_T)u_\eta) |u_\eta| + c_\xi u_\approx + \gamma(u - u_0) \quad (2)$$

上述扩散模型在梯度垂直方向仍然只有前向扩散,这在角型区域会损失一部分纹理。在角型

区域的梯度垂直方向,也需要后向扩散,以增强纹理。进一步提出如下的扩散模型:

$$u_t = -\text{th}(k_1(\lambda_1 - \lambda_T) |u_\eta| - \text{th}(k_2(c - c_T) |u_\xi| + \gamma(u - u_0)) \quad (3)$$

其中, c 为角力的度量; c_T 为门限值。

角力的度量应该对噪声具有鲁棒性,否则有可能产生假象。利用结构张量,图像梯度可表示为:

$$|\nabla u(x)|^2 = \text{Trace}(S(x)) = \lambda_1(x) + \lambda_2(x)$$

各向异性程度的度量可表示为:

$$g(x) = [(\lambda_1(x) - \lambda_2(x)) / (\lambda_1(x) + \lambda_2(x))]^2$$

这两项组合在一起可以有效地度量角型结构,本文采用如下的度量方法:

$$C(x) = (1 - g(x)) |\nabla u(x)|^2 = \frac{4\lambda_1(x)\lambda_2(x)}{\lambda_1(x) + \lambda_2(x)} \quad (4)$$

2 实验结果

为证明算法的有效性,设计了两个实验。算法的参数选取按照获得最好的实验结果进行设置。为便于表示,称文献[10]的算法为 Alvarez 算法,本文主要同该算法进行比较。实验结果如图 1 和图 2 所示。

选择如图 1(a)所示的卫星图像作为实验对象,对图 1(a)加入 25 dB 的高斯噪声进行退化,图 1(b)为退化图像,图 1(c)的 Alvarez 算法结果噪声没有去除彻底,纹理得到一定的增强,但同时噪声也得到一定的放大;图 1(d)所示的结果既有效去除了噪声,图像纹理也得到了增强。

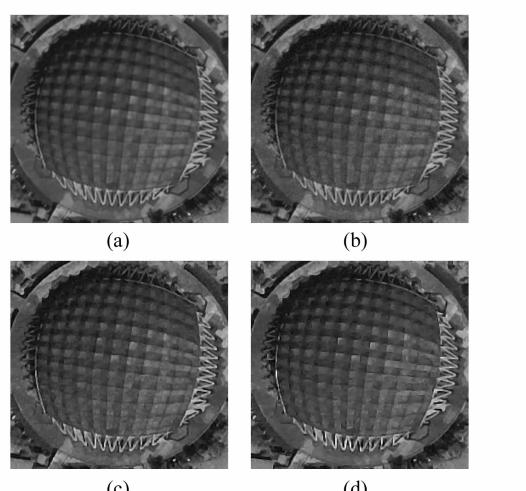


图 1 第一组实验结果

Fig. 1 The 1st Test Results

靶标图像;图 2(b)为退化图像,首先进行方差为 1 的高斯核模糊,然后加入 30 dB 的噪声;图 2(c)为 Alvarez 算法去噪与增强的结果;图 2(d)为本文算法去噪与增强的结果。相对于图 2(b),图 2(c)的结果对噪声进行了一定程度的去除,纹理细节也得到了一定程度的增强。但噪声没有完全去除,增强后的纹理也有一些损失,甚至出现一点轻微的假象。而本文算法结果(图 2(d))不但噪声去除得更为彻底,纹理细节也得到了很好的保持和增强。

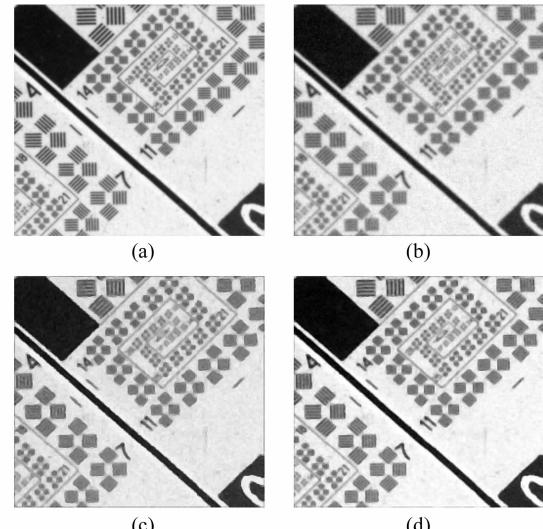


图 2 第二组实验结果

Fig. 2 The 2nd Test Results

为了进行定量比较,利用峰值信噪比(PSNR)和对比度(C)两个性能指标进行比较。图像对比度通过计算图像的各个点与周围 4 个点的灰度差的绝对值和得到,令

$$J = \sum_{k,l} [|f(k,l) - f(k-1,l)| + |f(k,l) - f(k+1,l)| + |f(k,l) - f(k,l+1)|] \quad (5)$$

假定没有加噪声的原始图像和加噪声并扩散后图像的对比度分别为 J_1, J_2 ,通过 $C = 20 \lg(J_2/J_1)$ dB 可以计算扩散前后对比度的改善情况。

表 1 给出了这两组实验结果的对比度和峰值信噪比。在实验 1 中,相比噪声退化图像,Alvarez 算法和本文算法的 PSNR 分别降低 1.310 6 dB 和增加 1.344 7 dB,这是因为 Alvarez 算法结果的噪声没有去除彻底,个别地方甚至放大了,降低了它的 PSNR 值,而本文算法去除了绝大部分的噪声,同时增强了纹理,PSNR 值也得到了提高。对比度的计算结果表明,Alvarez 算法和本文算法分别增加 3.526 5 dB 和 1.359 1 dB,

这说明本文算法在有效去除噪声的同时也有效增强了纹理,而 Alvarez 算法结果则由于噪声的存在,增加了对比度。实验 2 的 PSNR 和对比度的变化趋势和实验 1 相似,相比退化图像,Alvarez 算法和本文算法的 PSNR 值分别减少 0.566 dB 和增加 2.206 2 dB,而对比度则分别增加 3.708 5 dB 和 2.151 9 dB。增加和减少的幅度与实验 1 有较大差别的原因是由于实验 2 的退化图像加入了模糊操作的缘故。理论和定量分析都表明,本文算法获得了较好的实验结果,既有效去除了噪声,又增强了边和角型纹理。

表 1 峰值信噪比和对比度计算结果比较/dB

Tab. 1 Comparision of PSNR and Contrast/dB

测试图像		退化图像	Alvarez 算法	本文算法
实验 1	PSNR	24.848 3	23.537 7	26.193 0
	C	2.564 4	6.087 9	3.923 5
实验 2	PSNR	23.322 4	22.756 4	25.528 6
	C	1.883 0	5.591 5	4.034 9

3 结语

在图像处理中,基于后向扩散的冲击滤波增强和前向各向异性扩散去噪可以结合起来,既能去除噪声,又能增强纹理。本文主要引入非线性结构张量来估计梯度的方向和幅度,提高了估计的鲁棒性和准确性;通过设置梯度阈值对梯度方向加入扩散,使该方向在大于阈值时进行增强操作,而在小于梯度阈值时进行扩散操作;在梯度垂直方向加入角型检测算子,使得在角型区域该方向执行后向扩散,以增强纹理。实验结果表明,与 Alvarez 算法相比,本文算法取得了较好的去噪与增强的视觉效果。

参 考 文 献

- [1] 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
- [2] Black M J, Sapiro G, Marimont D H, et al. Robust Anisotropic Diffusion [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(3): 421-432
- [3] Tschumperl D, Deriche R. Diffusion PDE's on Vector-Valued Images[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2002, 19(5): 16-25
- [4] Tschumperl D, Deriche R. Vector-valued Image Regularization with PDE's: A Common Framework for Different Applications[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(4): 506-517
- [5] Greenberg S, Kogan D. Improved Structure-adaptive Anisotropic Filter[J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27: 59-65
- [6] Ma Jianwei, Plonka G. Combined Curvelet Shrinkage and Nonlinear Anisotropic Diffusion[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(9): 2198-2206
- [7] Dai Fang, Zheng Nanning, Xue Jianru. Image Smoothing and Sharpening Based on Nonlinear Diffusion Equation[J]. Signal Processing, 2008, 88: 2850-2855
- [8] Chan T F, Osher S, Shen Jianhong. The Digital TV Filter and Nonlinear Denoising [J]. IEEE Transactions on Image Process, 2001, 10(2): 231-241
- [9] Fedkiw R P, Sapiro G, Shu Chiwang. Shock Capturing, Level Sets, and PDE Based Methods in Computer Vision and Image Processing: A Review of Osher's Contributions[J]. Journal of Computational Physics, 2003, 185: 309-341
- [10] Alvarez L, Mazorra L. Signal and Image Restoration Using Shock Filters and Anisotropic Diffusion [J]. SIAM Journal on Numerical Analysis, 1994, 31(2): 590-605
- [11] Kornprobst P, Deriche R, Aubert G. Image Coupling, Restoration and Enhancement Via PDE's [C]. The International Conference on Image Processing, Santa Barbara, California, 1997
- [12] Chen Guannan, Yang Kuntao, Chen Rong, et al. A New Study on Image Enhancement and Denoising Coupled with Shock Filters and Anisotropic Diffusion [C]. The 2008 Congress on Image and Signal Processing, Sanya, China, 2008
- [13] Fu Shujun, Ruan Qiuqi, Wang Wenqia, et al. A Feature-dependent Fuzzy Bidirectional Flow for Adaptive Image Sharpening [J]. Neurocomputing, 2007, 70: 883-895
- [14] Brox T, Weickert J, Burgeth B, et al. Nonlinear Structure Tensors[J]. Image and Vision Computing, 2006, 24: 41-55
- [15] Hahn J, Lee C O. A Nonlinear Structure Tensor with the Diffusivity Matrix Composed of the Image Gradient[J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2009, 34: 137-151
- [16] Nath S K, Palaniappan K. Adaptive Robust Structure Tensors for Orientation Estimation and Image Segmentation [J]. Lecture Notes Comput Sci, 2005, 3804: 445-453
- [17] Castaño-Moraga C A, Ruiz-Alzola J. Anisotropic Filtering with Nonlinear Structure Tensors[C]. Im-

age Processing: Algorithms and Systems, Neural Networks, and Machine Learning, SPIE, San Jose, CA, USA, 2006

第一作者简介:杨学峰,博士生,主要从事图像复原与超分辨、图像处理与模式识别的研究。

E-mail: xfyang76@hotmail.com

A Forward and Backward Diffusion Based on Image Denoising and Enhancement Method

YANG Xuefeng¹ LI Jinzong¹ LI Dongdong¹ ZHU Bing¹

(1 School of Electronics and Information Engineering, Harbin Institute of Technology,
92 West Dazhi Street, Harbin 150001, China)

Abstract: A novel forward and backward diffusion based image denoising and enhancement method is proposed. In the proposed method, the direct gradient computation is replaced by a nonlinear structure tensor (NLST) to increase the robustness to noise; The shock filter item along the gradient direction is replaced by a forward or backward diffusion according with the adaptive threshold value of gradient; The corner structure is also enhanced by performing a backward diffusion in corner region. Two experimental results show that the proposed algorithm not only removes noise, but also efficiently enhances image texture details and no artifacts are produced.

Key words: anisotropic diffusion; shock filter; structure tensor; denoising

About the first author: YANG Xuefeng, Ph. D candidate, majors in signal and information processing.

E-mail: xfyang76@hotmail.com

(上接第 958 页)

Gabor-MRF Model Based on Color Texture Image Segmentation

WEI Xiaoli¹ SHEN Weiming¹

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,
Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: We propose a Gabor filter and Markov random fields (MRF)-based method for color texture image segmentation. First, we analyze color and texture feature, transforme RGB space to LUV space to get color feature vector, and then do Gabor filtering and Gaussian smoothing processing on original color image and MRF model is used to represent the regional relationship. Finally, we combine color and texture information and use Bayesian method to estimate maximum a Posteriori(MAP). The experimental results show that this algorithm is efficiently doing color texture image segmentation.

Key words: image segmentation; Markov random fields (MRF); Gabor filter; color feature; texture feature

About the first author: WEI Xiaoli, Ph. D candidate, majors in image and video retrieval.

E-mail: xiaoli_wei@sina.com