

基于前后向扩散的图像去噪方法的研究

陈明举¹, 刘强国²

(1. 四川理工学院自动化与电子信息学院, 四川 自贡 643000; 2. 四川理工学院理学院, 四川 自贡 643000)

摘要: 文章介绍了各向异性前向扩散、后向扩散以及前后向扩散的基本原理, 针对前后向扩散中的恒定参数使图像细节模糊的缺点, 对前后向扩散中的系数自适应改变的前后向扩散算法, 并通过实验证明了自适应前后向扩散在消除噪声的同时更好地保留图像的细节信息, 且具有更高的信噪比。

关键词: 异性扩散; 前后向扩散; 图像去噪; 梯度

中图分类号: TN 911.73

文献标识码: A

引言

数字图像在采集和传输过程中常受到高斯退化与噪声的污染。图像消噪就是除去噪声恢复图像的真实内容。噪声是快速变化的高频信号, 而图像是频率比较低的低频信号, 因此移除噪声的通常采用低通滤波或者平滑的方法。由于噪声具有高频特性, 同时图像的细节也分布在高频区域, 因此在降噪的同时也损失了图像的细节, 损失了图像的特征。理想的复原算法应该同时去除噪声和增强纹理, 由于噪声和纹理都属于高频成分, 所以这两者之间常常是矛盾的。近年来, 线性扩散过程是与物理中热扩散过程相符合的动力学描述, 可在对图像进行平滑的同时去除噪声, 并且较好的保持图像边界的轮廓。

Perona 和 Malik 提出的各向异性扩散方程^[1]是经典的图像平滑算法, 它根据图像空间位置的梯度值来确定扩散系数, 对图像平坦区域加强平滑作用, 在图像边界区域, 平滑作用减弱。Gilboa 等人提出了选择性后向扩散^[4] (selective backward diffusion process) 的图像增强算法, 能实现对图像边界的增强, 但同时也放大了噪声。接着 Gilboa 又提出结合前后向扩散 (Forward and Backward Diffusion Processes, FAB) 的图像算法, 在图像的平滑区域实行前向扩散, 在纹理区域实行后向扩散, 对原

本受平滑作用影响的边界进行了增强。然而, 正逆扩散算法扩散的性能与参数的选取有关。本文介绍了前向扩散、后向扩散和 FAB 扩散的基本原理与特点, 针对 FAB 扩散中参数恒定, 扩散中造成图像部分信息的模糊的缺点, 对扩散参数进行了修正, 让参数的大小由扩散中像素块梯度值大小来决定, 去噪的同时更好的保持了图像的细节信息。

1 基本原理

图像去噪中使用的高斯卷积可被认为是标准的平滑运算, 它不考虑图像中的边缘部分, 是一种各向同性扩散。非线性扩散^[1-3]技术是考虑图像中不连续部分(边缘、轮廓等)的一种平滑技术, 它在运算过程中考虑到图像的边缘和非边缘区域的区别, 采用不同的平滑策略, 从而获得不同的扩散效果, 可以说非线性扩散是高斯卷积扩散的一种变形, 目的是在图像平滑, 去除噪声的过程中保留图像边缘、轮廓等一系列重要信息, 这也是后期图像处理的必要条件。

Perona 和 Malik 在其著名的研究中介绍了基于热平衡方程, 各向异性扩散方程为:

$$I_t = \text{div}[c(|\nabla I|) |\nabla I|] \quad (1)$$

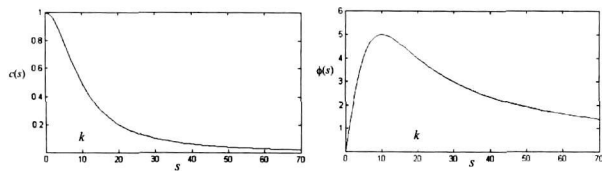
其中“div”表示散度算子, ∇ 是梯度算子, t 表示演化时间(尺度), $I(t=0) = I_0$ 即初始时刻的图像为所要处理

的图像。 $c(\cdot)$ 是扩散函数, 它始终为正值, 而且是图像梯度值的递减函数。扩散函数 $c(\cdot)$ 在非线性扩散中起着保持边缘的重要作用。它在图像梯度较小的区域(平滑区域)扩散较大, 消除噪声。在梯度较大的区域(图像边缘)减少扩散, 从而保持边缘、轮廓等图像特征。所以选择一个好的扩散函数 $c(\cdot)$ 对扩散效果有着重要影响。Perona-Malik 给出了两种扩散函数

$$c_1(s) = \frac{1}{1 + \left(\frac{s}{k}\right)^2} \quad (2)$$

$$c_2(s) = \exp\left[-\left(\frac{s}{k}\right)^2\right] \quad (3)$$

式中, s 表示梯度的大小。在 P-M 扩散方程中, 在扩散过程中像素的改变量大小用流量函数 $\phi(s) = s \cdot c(s)$ 。对于 Perona 和 Malik 提出了两个扩散函数来说, 扩散值最大的区域在梯度模的值为 0 的点, 随着梯度模的增大, 扩散量随之减小。图 1(a) 给出了公式 (2) $c_1(s)$ 随梯度 s 变化的曲线以及其流量函数曲线, 可见流量函数随着梯度 s 的增大而逐渐减小。扩散函数实现在图像平坦区进行平滑而对边界扩散减弱。然而, 在高频区域也存在较弱的扩散, 在扩散过程中会使边界模糊。



(a) 扩散函数 $c_1(s)$ (b) 流量函数

图 1 扩散函数及其流量函数

$c(\cdot) > 0$ 时, 被称为前向扩散 (forward diffusion), 在前向扩散中, 像素值总是从高的像素区域传送到低的像素区域, 实现图像的平滑。当 $c(\cdot) < 0$ 称之为后向扩散^[4,6] (backward diffusion), 同前向扩散相反, 高梯度像素向相邻的低梯度像素值点取值, 所以中心像素大的点, 其值会不断增加, 实现图像锐化。很容易得到图像的后向扩散函数:

$$I_t = \nabla \cdot (-c(|\nabla I|) \nabla I) \quad (4)$$

后扩散可以用于图像增强, 并且当图像中不存在噪声时可以获得较好的图像增强效果。然而, 后向扩散不稳定, 我们知道前向线性扩散相当于对图像进行高斯卷积, 后向线性扩散等价与高斯反卷积, 当图像中存在高频的噪声时, 将对噪声进行放大。随着时间的推移, 随着时间的推进不断产生新的振荡, 直到取得满足极小值和极大值的条件, 当时间演变到某一时刻时, 图像中的

原始信息全部消失。另一方面, 由于方程会使图像的尖峰被削平、宽度增大, 从而图像的对比度下降, 细节边缘的区域内部灰度趋于一致, 甚至会被抹平。图 2 给出了图像后向扩散的结果。

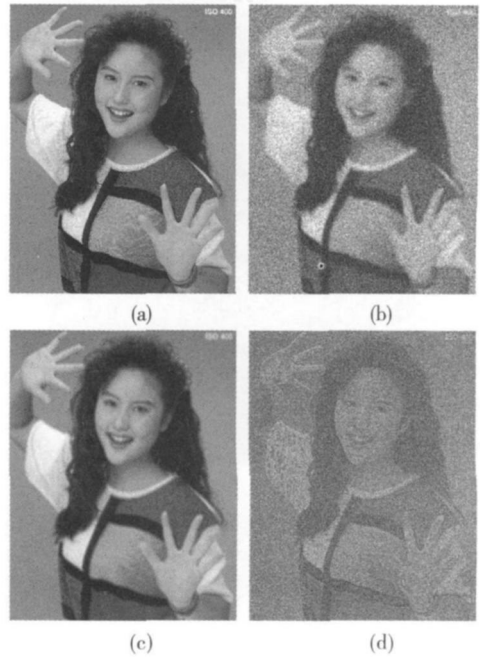


图 2 噪声图像的后向扩散

(a) 原图 (b) 噪声图像 (SNR= 1.4805)

(c) 逆扩散增强图片 (N= 10, dt= 0.2, SNR= 12.1093)

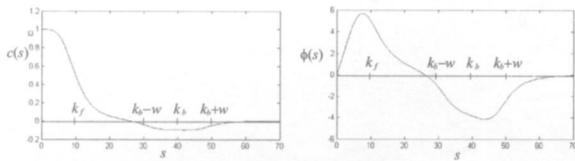
(d) 逆扩散增强图片 (N= 50, dt= 0.2, SNR= - 7.7070)

为此, 需要找到在图像增强的同时抑制噪声的算法, 以获得高质量的图像增强效果。Giboa 等人提出了前后向扩散 (FAB) 的图像增强算法^[7,8], 结合前向与后向扩散的优点, 在图像平坦区域采用前扩散, 平滑图像并滤除噪声。在图像细节部分采用后向扩散锐化图像, 其扩散系数定义为:

$$c(s) = \frac{1}{1 + \left(\frac{s}{k_f}\right)^n} - \frac{\alpha}{1 + \left(\frac{(s - k_b)}{w}\right)^{2m}} \quad (5)$$

参数 s 表示梯度绝对值, k_f 为前向扩散的截止梯度, 后向扩散的梯度范围由参数 k_b, w 决定, 其中 k_b 为中心梯度, w 决定后向扩散梯度范围宽度, 参数 α 决定了后向和前向扩散的比例, n 和 m 取值为 4 和 2。图 3 给出公式 (5) 中 $c(s)$ 随梯度 s 变化的曲线以及其流量函数曲线。从图 3(b) 可以看出在梯度比较低的区域, 其流量函数函数值为正, 为前向扩散过程, 平滑图像; 在梯度为中等值的时候, 流量函数函数值为负数, 进行后向扩散过程, 使边界区域的梯度增大, 实现图像锐化。

后向扩散过程等价于一个高斯去卷积过程, 由于其



(a) 扩散函数 $c(t)$ (b) 流量函数
图 3 前后扩散函数及其流量函数

数值不稳定而被认为是病态的,但是 G ilboa等人认为在局部范围内使用后向扩散过程不会破坏其稳定性。避免不稳定的方法是限制高梯度处后向扩散系数的值和扩散过程在迭代一定次数后停止。为了保证扩散中后向扩散不产生新的边界,要求前向扩散的最大流量大于后向扩散的最大流量,即:

$$\max_{s < k_f} [s \cdot c(s)] > \max_{k_b - w < s < k_b + w} |s \cdot c(s)| \quad (6)$$

α 为控制后向扩散的强度,同时为使前后向扩散稳定,应满足:

$$\alpha \leq \frac{k_f}{2(k_b + w)} \quad (7)$$

k_f 为控制前向扩散的最大截止频率, $[k_b - w, k_b + w]$ 为方向扩散的频率范围,为防止同一像素点的前向与反向扩散不同时发生,应满足

$$k_f < k_b - w \quad (8)$$

在没有先验知识的情况下, k_f, k_b 与 w 的选取可以通过图像的梯度绝对值的平均值 (mean absolute gradient, MAG) 来决定,即 $[k_f, k_b, w] = [2 \ 4 \ 1] \times MAG$ 。由于图像一般是非平稳信号,图像区域之间波动较大,不同区域梯度的差值较大。对于整个扩散过程 k_f, k_b 与 w 都为固定的数,对不同纹理特性的区域采用同样的扩散策略,会使平坦区域的弱纹理进行正扩散而消失;高梯度的细节得不到增强。因此,参数 k_f, k_b 与 w 的选取根据不同区域的平均梯度 (mean block absolute gradient, MBAG) 自适应确定。在梯度值较小的区域,参数取值相对较小一些,去除噪声的同时实现对低梯度图像的锐化。在梯度值较大的区域,参数的取值相对较大一些,实现对高梯度细节图像的增强。对不同梯度分布的图像块采用不同前后向扩散策略将具有更好的增强效果。其参数选取如下: $[k_f(x, y), k_b(x, y), w(x, y)] = [2 \ 4 \ 1] \times MBAG(x, y)$ 。

2 结果与分析

为证明自适应前后扩散算法的有效性,对含不同程度细节图片采用不同扩散方法测试。在对不同扩散方

式进行测试中,改变扩散次数,以最大信噪比 (SNR) 的消噪图像作为输出图像。图 4 中给出了以 ‘woman’ 作为测试图像,采用不同扩散方法的最大信噪比时的输出图像。其中高斯卷积噪声图像的信噪比为 6.3061db, PM 方法去噪后信噪比 9.4041db, FAB 消噪后信噪比为 9.6111db,自适应 FAB 消噪后信噪比为 SNR=9.6576db 可见基于图像区域特性的自适应前后扩散具有较高的信噪比。在保持细节方面,把图像细节部分放大,如图 5 所示。在保持细节方面, FAB 消噪优于 PM 消噪算法,自适应 FAB 扩散保持细节的性能最好。

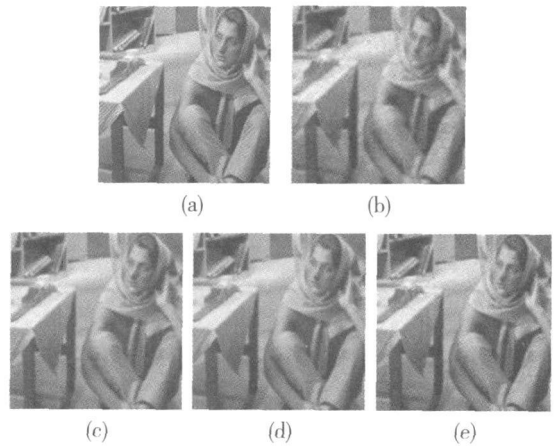


图 4 不同扩散方法去噪实验
(a) 原图 (b) 高斯卷积噪声 (SNR = 6.3061)
(c) PM 增强 (SNR = 9.4041) (d) FAB 增强 (SNR = 9.6111)
(e) 自适应 FAB 增强 (SNR = 9.6576)

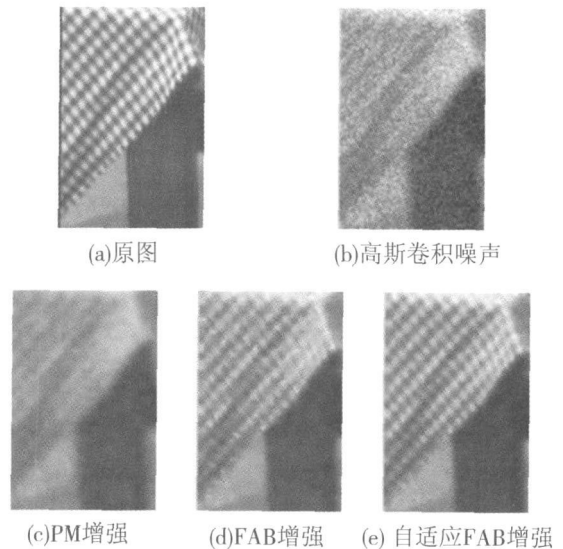


图 5 扩散实验图像的局部放大

3 结束语

本文介绍了非线性扩散、非线性后向扩散以及前后

向扩散的基本原理及特点。针对前后向扩散在扩散过程中参数恒定, 不适应非平稳图像的要求的缺点, 对前后向扩散的参数根据每次扩散的图像的局部梯度值自适应改变的前后向扩散算法。通过实验证明自适应前后向扩散算法在消除噪声的同时更好的保留了图像的细节信息, 且具有更高的信噪比。

参考文献:

- [1] Perona P, Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion[J]. *IEEE Trans. Pat. Anal. Machine Intel.*, 1990, PAM-12(7): 629-639
- [2] Catta E, Lions P L, Morel J M, et al. Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion[J]. *SIAM J* 1992, 29 (1): 182-193
- [3] Ma Jianwei, Plonka G. Combined Curvelet Shrinkage and Nonlinear Anisotropic Diffusion[J]. *IEEE Transactions on Image Processing* 2007, 16(9): 2198-2206
- [4] Gilboa G, Zeevi Y, Sochen N. Anisotropic selective in-

verse diffusion for signal enhancement in the presence of noise[J]. *Proc. IEEE ICASSP-2000 Istanbul Turkey* 2000, IN: 211-224

- [5] Sochen, Zeev Y Y. Resolution Enhancement of Co-bred Images By Inverse Diffusion Processes[J]. In *Proceedings of IEEE ICASSP'98 Seattle Washington May 12-15 1998*
- [6] 郝玉峰, 袁春伟. 基于各向异性逆扩散方程的指纹图像锐化去噪方法 [J]. *数据采集与处理*. 2005, 20(3): 258-262
- [7] Gilboa G, Sochen N, Zeevi Y Y. Forward-and-backward diffusion processes for adaptive image enhancement and denoising[J]. *IEEE Trans. Image Process.*, 2002, 11(7): 689-703
- [8] 杨学峰, 李金宗, 李冬冬, 等. 一种基于前后向扩散的图像去噪与增强方法 [J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2010, 35(8): 975-978

Image Sharpening and Denoising Research Based on Forward-and-Backward Diffusion Processes

CHEN Ming-ju¹, LIU Qiang-guo²

(1. School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China

2. School of Science, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract This paper introduce the basic principles of anisotropic diffusion, backward diffusion and forward-and-backward diffusion. The constant parameters of the FAB diffusion make the image details obscure when the image denoise process, so we adaptively change the parameters with the local gradient in FAB diffusion process. The simulation results show the FAB diffusion can keep the details in the image denoising and have high signal to noise ratio.

Key words anisotropic diffusion, forward-and-backward diffusion, image denoise, gradient