

## 基于人类视觉特性的两步去噪模型

舒玉强,杨红雨

(四川大学 计算机学院, 成都 610064)

(upcsyq@sina.com)

**摘 要:**基于局部归一化的局部方差去噪模型在平坦区域去噪明显,但去噪速度慢,而且纹理细节保护欠佳。为此,用全局归一化的局部方差度量空间细节,得到新的扩散系数。新模型先用新扩散系数加速去噪,再用旧扩散系数去除不平滑现象和小黑点。实验结果表明:新模型在快速有效地去除高斯噪声的同时可更好地保护纹理细节,而且信噪比和峰值信噪比与仅用一个扩散系数的模型相比有所提高。

**关键词:**人类视觉特性;直方图;扩散系数;空间细节;方差

**中图分类号:** TP391.41 **文献标志码:** A

## Two-step denoising model based on human visual property

SHU Yu-qiang, YANG Hong-yu

(School of Computer Science, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China)

**Abstract:** Removal model based on local variance normalized can remove noise significantly in flat area but slowly and maintains the texture details poorly. Therefore, global variance normalized was proposed to measure spatial detail, and then a new diffusion coefficient was given. New removal model used the new diffusion coefficient to accelerate denoising and then used the old diffusion coefficient to remove the uneven and black dots. Experimental results show that new model not only removes noise quickly and effectively while protecting texture details better, and the SNR and PSNR are slightly higher than the model with only one diffusion coefficient.

**Key words:** human visual property; histogram; diffusion coefficient; spatial detail; variance

### 0 引言

在拍摄和传输过程中,图像往往因各种因素被加入大量噪声,不仅严重影响图像的视觉效果,同时也给后续的图像处理和分析带来了一定的困难。

传统的图像去噪算法的去噪结果等价于传导系数为常量的热扩散方程,属于各向同性扩散。在去噪的同时会模糊甚至破坏图像的边缘。为了在去噪的同时对图像的边缘进行保持,文献[1]提出了各向异性扩散方程为:

$$u_t = \text{div}(c(|\nabla u|) \nabla u) \quad (1)$$

初始条件为  $u(x, y, 0) = u_0$ ,  $u_0$  是原始图像,  $c(\cdot)$  是扩散系数,它是一个非负、递减、与图像的梯度有关的函数,  $c(0) = 1, \lim_{x \rightarrow \infty} c(x) = 0$ 。理想的扩散系数需要满足以下性质:

1) 图像的同质区域内,扩散系数大,以利于噪声消除;2) 在边缘区域和纹理区域内,扩散系数小,以利于保护纹理结构和边缘。为此,文献[1]给出了下面两个启发性的扩散系数:

$$c(|\nabla x|) = \exp(-(|\nabla x|/K)^2) \quad (2)$$

$$c(|\nabla x|) = 1/(1 + (|\nabla x|/K)^2) \quad (3)$$

其中  $K$  为阈值(需要根据实际的图像来调整)。

实际上,式(2)、(3)存在以下的问题:1) 不能够消除小尺度区域和梯度突变的噪声<sup>[2]</sup>;2) 没有理论证明它们是正确的<sup>[2]</sup>;3) 阈值  $K$  难以得到有效的控制<sup>[2]</sup>;4) 没有考虑人类视觉系统的影响<sup>[3]</sup>。为此,许多学者提出了解决上述问题的扩散系数。文献[4]提出了一个简单的并且有效的扩散系数,

但是扩散系数的导数在零点存在奇异性,而且容易导致平滑区域出现块效应。文献[2, 5-7] 尽管能够解决问题1),但是仍存在选择某些常数,如阈值、高斯参数等。文献[8] 提出一个新颖内核各向异性扩散方法,在处理低噪比图像时优于以前的算法,但也需要阈值估计。文献[9] 提出一种新的小波阈值,优于软阈值和硬阈值,但需要随着噪声强度选择相应的参数。

在现实世界中,图像作为信息的载体,最终由人类视觉系统来获取。因此,在图像去噪过程中,本文考虑了视觉心理学和心理物理学,提出用全局归一化的局部方差来度量空间细节,并由此给出了一个新的扩散系数,分析了其优缺点,最后结合优点给出了一个两步去噪模型。

### 1 改进的扩散系数

#### 1.1 基于人类视觉特性的扩散系数

心理物理学实验证实,人眼对物体亮度的主观感受强烈地依赖于背景亮度和结构。在平滑区域,亮度差异很容易被察觉,导致更高的噪声可见度;而在图像边缘或场景复杂区域,尽管亮度差异较大,却难以被察觉,因此有更低的噪声可见度,这就是视觉掩蔽效应<sup>[3]</sup>。

根据人类视觉掩蔽效应,文献[10] 定义了噪声可见度函数:

$$f(i, j) = 1/(M(i, j) \cdot \theta + 1) \quad (4)$$

其中:  $M(i, j)$  为噪声掩盖函数,用来度量空间细节;  $\theta$  为调节

收稿日期:2009-06-23;修回日期:2009-08-14。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60736046)。

作者简介:舒玉强(1985-),男,四川遂宁人,硕士研究生,主要研究方向:图形图像处理; 杨红雨(1967-),女,四川成都人,教授,主要研究方向:图形图像处理。

参数,信噪比小于等于 20 dB 时,取为 0.001;其他情况取为  $0.1^{[11]}$ 。理想情况下,在场景复杂区域,  $f \rightarrow 0$ ;在平滑区域,  $f \rightarrow 1$ 。可知,噪声可见度函数与扩散系数性质一致。

由于局部方差不用区分垂直、水平以及任何方向的斜率,对一个广义的屏蔽函数是一个很好的选择<sup>[11]</sup>。文献[11]提出用图像的局部方差度量空间的细节。在此基础上,文献[3]提出了一个新的扩散系数:

$$c(|\nabla u|) = 1/(1 + M_l(i, j) \cdot |\nabla u|) \quad (5)$$

### 1.2 扩散系数已有的改进

受噪声的影响,基于局部方差的扩散函数不能够满足在平滑区域使得  $f \rightarrow 1$ 。为此文献[12]提出用局部归一化的局部方差来度量空间的细节,其扩散系数为:

$$c(|\nabla u|) = 1/(1 + M_l(i, j) \cdot |\nabla u|) \quad (6)$$

其中:  $M_l(i, j) = M(i, j) / \max_{(i, j) \in \Omega_l} (M(i, j))$ ;  $\Omega_l$  是一个以  $(i, j)$  为中心的  $3 \times 3$  小邻域;  $M(i, j)$  是  $\Omega_l$  内  $(i, j)$  处的方差;  $i \in [1$ ,

$M], j \in [1, N]$  ( $M, N$  分别是图像的高度和宽度);  $|\nabla u|$  是梯度模。

为了更好地探讨所给出的扩散系数是否与引言中所提到的两个性质一致,本文采用了直方图方法。

如图 1(a)所示,由于噪声图像方差比较大,梯度也较大,所以扩散系数值都非常接近 0,几乎不平滑。如图 1(b)、(c)所示,开始时扩散系数值主要在 0.6 左边,并且大部分小于 0.1,这可以解释模型的扩散次数较多(60 次)。去噪结果表明,在扩散次数少的时候,去噪效果不佳,而且有黑点出现(如图 2(c));随着扩散次数增加,图 1(b)第三行直方图表明,该图趋于比较理想的状态,平坦区域去噪效果明显且无黑点,但“块效应”严重(如图 2(d))。

### 1.3 新改进的扩散系数

以式(6)为扩散系数的去噪方法中,由于局部归一化的局部方差  $M_l(i, j)$  没有考虑到图像局部相对于整体的情况而

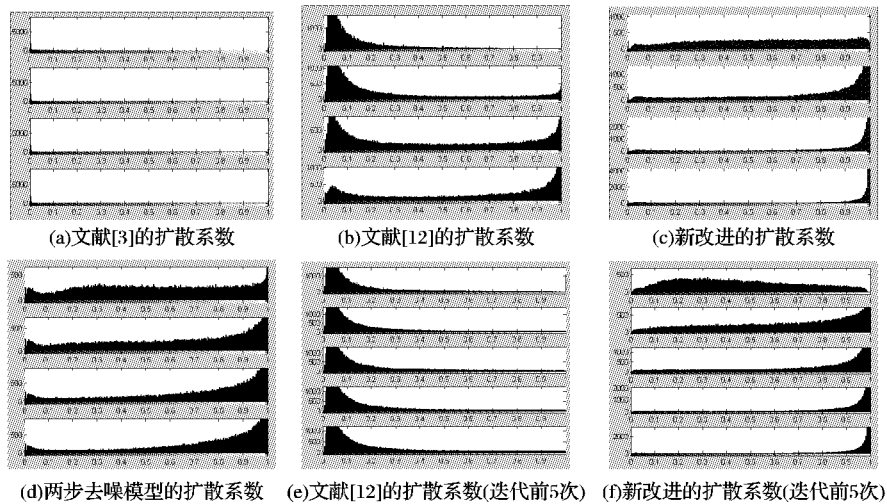


图 1 扩散系数的直方图

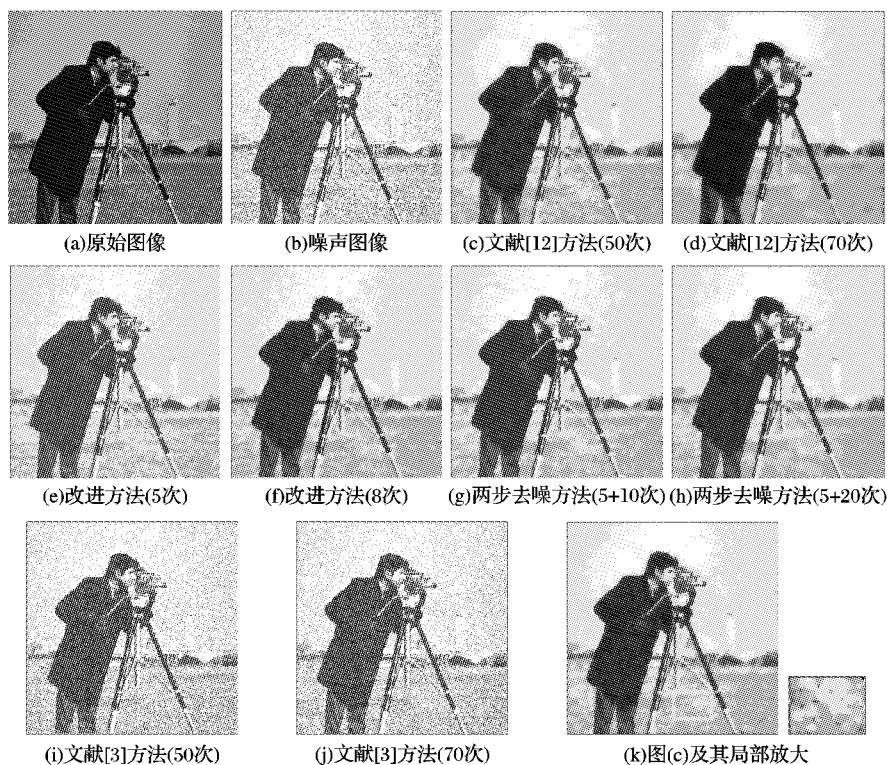


图 2 Cameraman 去噪结果

导致降噪速度缓慢,所以本文提出用全局归一化的局部方差  $M_g(i,j)$  来度量空间的细节,相应的扩散系数如下:

$$c(|\nabla u|) = 1/(1 + M_g(i,j) \cdot |\nabla u|) \quad (7)$$

其中:  $M_g(i,j) = M(i,j) / \max_{(i,j) \in \Omega_g} (M(i,j))$ ,  $\Omega_g$  表示整幅图像,其他的参数含义与式(6)的一样。

如图 1(c) 所示,开始时扩散系数值分布均匀,符合引言性质。随着迭代次数的增加(大于 2 次),主要集中在平滑、快速去噪,但对细节保留不够且在平滑区域出现了不平整(如图 2(e) 中的黑色大衣),平滑次数少于 8 次时,有小黑点出现。

## 2 两步去噪模型

为了解决上述模型的问题,在各向异性扩散方程<sup>[1]</sup>中,结合式(6)和(7)的优点,提出了两步去噪模型:

$$u_i = \text{div}(c(|\nabla u|) \nabla u) \quad (8)$$

模型说明和分析:先用式(7)作为扩散系数,作用加速去噪(如图 1(f)),因为:

$$1/(1 + M_g(i,j) \cdot |\nabla u|) \geq 1/(1 + M_i(i,j) \cdot |\nabla u|)$$

这是以部分纹理为代价加快去噪速度,实验表明由于迭代次数少,纹理总体平滑程度弱于文献[12]方法(如图 3(c)和(d)),通常迭代 5 到 10 次;再用式(6)作为扩散系数,作用去除不平整现象,减少黑点。实验表明通常迭代 10 到 30 次。由图 1(d)知,经加速去噪后,模型的扩散系数与引言中性质是一致的。数值解法可参考文献[1]。



图 3 Lena 去噪结果

## 3 实验结果及分析

为了验证新模型有效性,利用了 Cameraman 和 Lena 图像(加均值为 0,方差为 0.01 的高斯噪声)进行了实验。为了客观地评价去噪效果,采用了信噪比 SNR 和峰值信噪比 PSNR。

因前面已有 Cameraman 图的去噪分析,现仅对 Lena 去噪结果进行分析。文献[3]方法几乎不能够去除噪声(如图 3(f))。文献[12]方法引起了“块效应”,纹理保持也不佳(特别是图中的头发)。改进的方法能够很好地去除噪声,纹理细节也得到很好的保持,但是平滑区域有不平坦现象(如图 3(d)中帽子的左上角,脸部左下角)。两步去噪模型不仅

有效地去除噪声,而且纹理细节保持均优于前面三种方法(如图 3(e),特别是头发和上唇保持明显)。

表 1 去噪后的性能参数比较

方法	Cameraman 图		Lena 图	
	SNR	PSNR	SNR	PSNR
文献[3]方法	4.8848	10.4675	13.0468	20.2636
文献[12]方法	5.1429	10.7257	18.4507	25.6674
改进的方法	5.1548	10.7375	19.9708	27.1876
本文的方法	5.1614	10.7441	20.1276	27.3443

## 4 结语

根据人类视觉特性,提出用基于全局归一化的局部方差的噪声可见度函数作为扩散系数,直接避免了参数  $K$  和其他常数的选择。根据已有改进扩散系数的优点和新的扩散系数的优点,提出了一个两步去噪模型,从性能参数和去噪图像可知取得了比较好的去噪效果。但是如何设计一个好的停止准则是下一步需要考虑的问题。

### 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] 王毅, 张良培, 李平湘. 各向异性扩散平滑滤波的改进算法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(2): 210-216.
- [3] 余庆军, 谢胜利. 基于人类视觉系统的各向异性扩散图像平滑方法[J]. 电子学报, 2004, 32(1): 17-20.
- [4] RUDIN L I, OSHER S, FATEMI E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms[J]. Physica D, 1992, 60(1/4): 259-268.
- [5] 白俊奇, 陈钱. 基于各向异性扩散的红外图像噪声滤波算法[J]. 光学学报, 2008, 28(5): 866-869.
- [6] 陈一虎, 叶正麟. 一种改进的各向异性扩散图像去噪方法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(13): 170-172.
- [7] ALVAREZ L, LIONS P L, MOREL J M. Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion [J]. SIAM Journal on Numerical Analysis, 1992, 29(3): 845-866.
- [8] YUA J H, WANG Y Y, SHENB Y Z. Noise reduction and edge detection via kernel anisotropic diffusion [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 10(29): 1496-1503.
- [9] SIDDIAH P, PRABHAKARA RAO. A new wavelet based method for denoising of biological signal [J]. International Journal of Computer Science and Network Security, 2008, 1(8): 238-243.
- [10] ANDERSON G L, NETRAVALI A N. Image restoration based on a subjective criterion [J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1976, 6(12): 845-853.
- [11] KATSAGGLOSA K, BIEMOND J, SCHAFTER R W, et al. A regularized iterative image restoration algorithm [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1991, 39(4): 914-929.
- [12] 钱惠敏, 茅耀斌, 王执铨. 基于各向异性扩散的几种平滑算法比较及改进[J]. 南京理工大学学报, 2007, 38(5): 605-611.
- [13] SAPIRO G, CASELLES V. Histogram modification via differential equations[J]. Journal of Differential Equations, 1997, 135(2): 238-268.
- [14] CASELLES V, LISANI J L, MOREL J M, et al. Shape preserving local contrast enhancement [J]. Image Processing, 1997, 1(8): 314-317.