

## 一种基于人类视觉的模糊边缘敏感去噪方法

谢胜利, 余庆军

(华南理工大学 无线电与自动控制研究所, 广东 广州, 510640)

**摘要:** 为了在消除噪声的同时保留或加强图像中的细节, 提出了一种模糊边缘敏感去噪算法. 该算法在有关人类视觉系统特性的基础上, 结合模糊逻辑技术, 判断像素所处的位置, 并采用相应的滤波策略以进行噪声消除. 实验结果表明, 该算法在高斯噪声平滑、脉冲噪声消除以及边缘保留方面, 相比其他一些算法, 如传统的边缘敏感噪声消除算法以及模糊去噪算法, 能提供更好的性能.

**关键词:** 图像处理; 边缘增强; 噪声消除; 人类视觉系统; 模糊逻辑

**中图分类号:** TP391      **文献标识码:** A

## Fuzzy edge-sensitivity noise reduction method based on human vision

XIE Sheng-li, YU Qing-jun

(The Research Institute of Radio & Automatic Control, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China)

**Abstract:** In order to reduce noise and preserve image details simultaneously, a fuzzy edge-sensitivity noise reduction algorithm is proposed. On the basis of some characteristics of human visual system, this algorithm judges the location of current pixel in the image and applies relative filtering strategy to it by integrating fuzzy logic technique. The experimental results show that this algorithm can obtain better results than other schemes, such as general edge sensitivity reduction algorithm and fuzzy noise reduction algorithm, in respect of impulse noise removal, smoothing of Gaussian noise and edge preservation.

**Key words:** image processing; edge enhancement; noise reduction; human visual system; fuzzy logic

### 1 引言 (Introduction)

在图像处理应用中, 受噪声污染图像的复原工作是一个长期的研究课题. 尽管目前已经取得了很好的成果<sup>[1-5]</sup>, 但是如何在消除噪声的同时保留或加强图像中的细节仍然是一件相当困难的工作. 因此, 它仍然吸引了人们广泛的注意力.

近来, Adelman<sup>[1]</sup> 提出了一个非线性的边缘敏感噪声消除算法. 该算法首先检测当前像素所在边缘的方向, 然后沿着边缘执行平均运算, 并以此更新目标像素的亮度值. 由于保证了平均运算不穿过边缘, 使得该算法不仅具有较好的噪声消除特性, 而且能提供很好的边缘保留能力. 然而, 该算法并不适合于自然景物图像, 而且也不能提供很好的脉冲噪声消除能力, 其主要原因在于噪声消除与细节保留之间的不确定性以及没有考虑到人类视觉系统的影响.

由于模糊技术非常适合于为不确定的情况建立

模型, 而且它能够通过新的知识表示方法, 把人的经验变成计算机可以接受的控制模型, 从而实现有效的控制. 因此, 模糊技术在图像处理领域中很快受到了广泛的重视<sup>[2-4]</sup>. 本文的目的是基于人类视觉系统的某些特性, 将模糊技术与边缘敏感噪声消除算法相结合, 设计一个新的非线性滤波器. 该滤波器不仅能消除脉冲噪声, 而且还能平滑掉高斯噪声, 同时能够有效地保留边缘和图像的细节. 本文在引言之后, 第 2 部分介绍了人类视觉系统的一些特性; 第 3 部分提出了具体的算法; 第 4 部分提供了一些实验结果, 并对所提出的方法进行了评估; 最后, 给出了一些结论.

### 2 人类视觉系统的一些特性 (Some characteristics of human visual system)

作为信息的载体, 所有图像最终会受到人类视觉系统的观察和了解, 因此人类视觉心理在图像信息成功通信中扮演着非常重要的作用. 人类视觉

系统对于图像的理解是一个非常复杂的过程. 为简单起见, 这里只介绍人类视觉系统中有关对比度和选择性的概念.

自然图像中对比度通常取决于被观察对象的尺寸、背景的亮度、视角以及被观察模型的空间频率等参数<sup>[5]</sup>. 然而, 在对比度的分析过程中同时考虑这些参数将是一件相当困难的任务. 因此, 这里只考虑几个涉及背景和亮度的简单对比度测量模型.

简单的对比度测量模型通常有两种: 一种是 Michelson 对比度, 另外一种是 Weber 对比度<sup>[6]</sup>. Michelson 对比度通常用于测量一个周期性模型, 例如正弦光栅, 其表达式为

$$C_M = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \quad (1)$$

其中  $L_{\max}, L_{\min}$  分别为当前区域内的最大和最小亮度值. 显然  $0 \leq C_M \leq 1$ , 而且当  $L_{\max} = L_{\min}$  时,  $C_M = 0$ ; 当  $L_{\min} = 0$  时,  $C_M = 1$ . 而 Weber 对比度则用于测量一致背景中小的测试目标的局部对比度, 定义为

$$C_W = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

其中  $\Delta L$  是目标亮度与背景亮度  $L$  之间的差值. 显然, Weber 对比度的取值范围为  $[0, \infty]$ .

在图像特征的检测过程中, 如果一个像素的局部对比度大于最小可辨差异 (Just noticeable difference), 即局部最小对比度, 那么该像素可视为一个轮廓点. 然而, 噪声点的局部对比度也可能会超过最小可辨差异, 因此如何辨别噪声点和轮廓点是很困难的. 不过, 人们发现, 人类视觉具有一定的选择性. 它使人的注意目标往往集中于周围环境中感兴趣的区域, 从而使人们可判断当前区域是否受到噪声的影响, 以及当前像素点是否位于图像的边缘等. 于是, 我们可根据人类视觉的选择性选择相应的策略, 从而达到同时消除噪声和保留细节的目的. 其具体算法如下给出.

### 3 具体算法 (Proposed algorithm)

人类视觉系统面对外在刺激时, 必须分析光线、获取意义, 及时地做出物体识别的工作, 以便能对之反应. 但是, 由于大脑所获得的许多信息都是模棱两可的, 因此视觉系统必须在各种不同的线索中找出一个唯一解. 下面, 我们将在人类视觉系统的基础上, 结合模糊推理技术, 提出一个新的边缘敏感滤波器, 以用于噪声污染图像的复原工作.

在该方案中, 选择如图 1 所示的滤波窗口, 并采用方程式 (2) 计算当前像素的局部对比度  $C_W(i, j)$ , 其中

$$L_b(i, j) = \frac{1}{8} \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 L(i+k, j+l), \quad (3)$$

$$\Delta L(i, j) = |L(i, j) - L_b(i, j)| \quad (4)$$

接着, 采用如图 2 所示的“偏小型”隶属函数  $f(C)$  将  $C_W(i, j)$  转换成相应的模糊变量. 这里,  $f(C)$  是人们最常用的隶属函数之一, 其中  $C$  表示局部对比度,  $u$  表示隶属度,  $a$  通常取值为最小可辨差异, 而  $b$  的取值范围为  $[a, 255]$ . 根据 19 世纪初的 Weber 定律可知, 最小可辨差异与亮度  $L$  之间的比率是一个常数, 在很大亮度范围内等于 0.02. 但是现在对于最小可辨差异有了更好的描述: 很明显, 它不是常数, 它只是在某些背景亮度内可用 Weber 定律近似, 其取值依赖于背景亮度. 为了准确起见, 采用 Blackwell<sup>[7]</sup> 所提出的最小可辨差异计算公式, 如下所示:

$$a = 0.0594 * (1.219 + L_b^{0.4})^{2.5} \quad (5)$$

其中  $L_b$  为采用式 (3) 所计算的背景亮度. 为了进行下一步的处理工作, 采用 IF-THEN-ELSE 方式提出了如下的模糊规则:

“如果  $C_W(i, j)$  小, 那么当前像素处于平滑区域, 否则该像素处于噪声污染区域或边缘区域.”

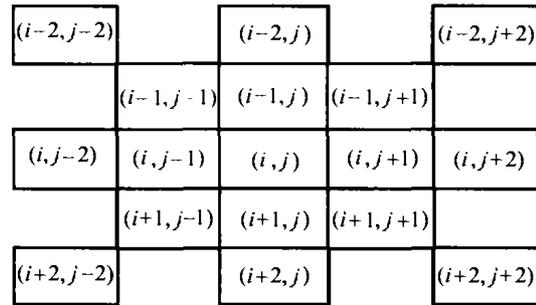


图 1 当前滤波窗口  
Fig. 1 Current filtering window

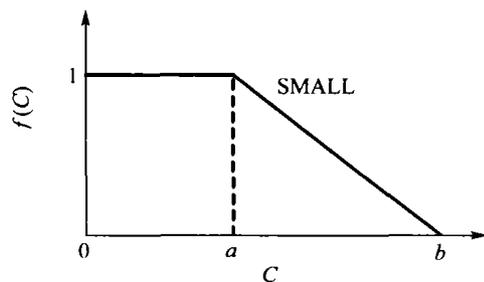


图 2 隶属函数  
Fig. 2 Membership function

接着, 进一步分析这两种情况下所应采取的去噪策略:

如果 IF 规则发生作用, 即当前像素处于平滑区域, 那么该像素的输出值为平滑区域 (如图 3(e) 所示) 内所有像素的中值, 记为 Median (0). 这里, Median

表示中值算子.显然,该项规则的激活度为  $f(C_w)$ , 记为  $\lambda_0$ .

如果 ELSE 规则发生作用,则检测当前像素所在边缘的方向.假设当前像素可能所处的方向为  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  和  $135^\circ$ , 如图 3(a~d)所示.接着,采用方程式(1)计算当前像素在  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  和  $135^\circ$  方向上的

Michelson 对比度,分别记为  $C_{w1}$ ,  $C_{w2}$ ,  $C_{w3}$  和  $C_{w4}$ . 同样地,为了检测当前像素所在边缘的方向,采用 IF-THEN 方式提出了如下形式的模糊规则:

“如果  $C_{wi}$  小,那么当前像素的输出值为  $i$  所对应方向的边缘(如图 3(a~d)所示)上所有像素的中值,记为  $\text{Median}(i)$ .”

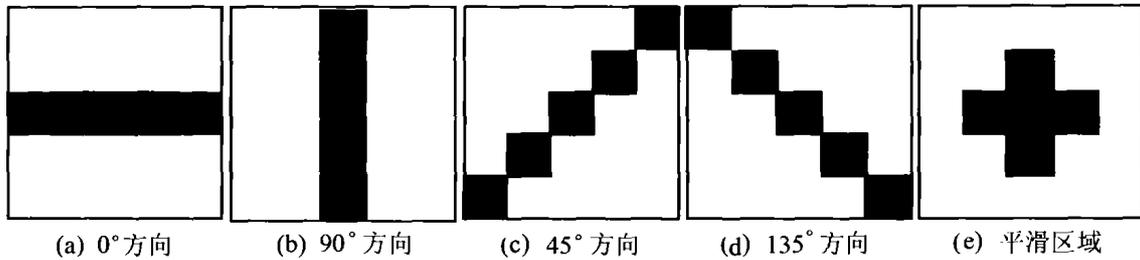


图 3 中心像素可能所处的方向  
Fig. 3 Possible directions that the center pixel locates

这里仍然采用如图 2 所示的“偏小型”隶属函数.但是,这里的  $a$  值由 Weber 定律来确定,即令  $a = 0.02L_b$ , 如果  $a > 1$ , 则令  $a = 1$ , 而且  $b$  的取值范围被限制在  $[a, 1]$  之间.于是,相应规则的激活度可计算为

$$\lambda_i = f(C_{wi}). \quad (6)$$

最后,应用相关推理机制计算系统的输出为

$$y = \lambda_0 \text{Median}(0) + (1 - \lambda_0) \frac{\sum_{i=1}^4 \lambda_i \text{Median}(i)}{\sum_{i=1}^4 \lambda_i}. \quad (7)$$

为了进一步提高噪声消除能力,用输出值  $y$  代替当前像素值,即令  $L(i, j) = y$ , 并将其用于下一步的处理工作.值得注意的是,这里所采用的 Median 操作运算也可用其它运算来代替,如平均运算等.

#### 4 实验结果(Experimental results)

为了验证所提出方案的有效性,本文将该方案与 Adelman<sup>[1]</sup>方案以及 Russo<sup>[2]</sup>所提出的方案进行了比较,给出了如图 4,5 所示一组实验结果.显然,在消除高斯噪声以及消除脉冲噪声的能力方面,该

方案较 Russo 方案和 Adelman 方案具有更好的性能.但是在计算时间上,该方案较 Adelman 方案所花的时间要长,但比 Russo 方案要少.

同时,本文还在均方误差、平均绝对误差这两个测量标准的基础上将该方案与上述两个方案进行了比较,得到了如表 1~3 所示的结果.这两个标准给定为

$$\text{MSE} = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [L_f(i, j) - L_o(i, j)]^2, \quad (8)$$

$$\text{AME} = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M |L_f(i, j) - L_o(i, j)|, \quad (9)$$

这里  $L_f(i, j)$  和  $L_o(i, j)$  分别表示原始图像和过滤图像,  $N$  和  $M$  分别为图像中每行和每列中像素的个数.根据实验结果,容易得出,无论是在消除高斯噪声、脉冲噪声以及混合噪声方面,还是在边缘和图像细节保留方面,本文所提出的滤波器相比文献[1]所提出的边缘敏感噪声消除算法以及文献[2]所提出的 FIRE 滤波器都具有更好的性能.

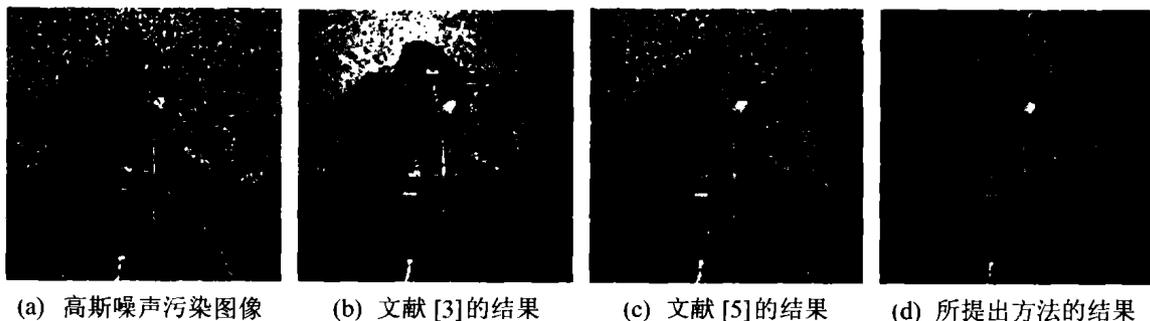


图 4 不同方案去除高斯噪声的实验结果比较  
Fig. 4 Experiment results comparisons of different schemes for reducing Gaussian noise

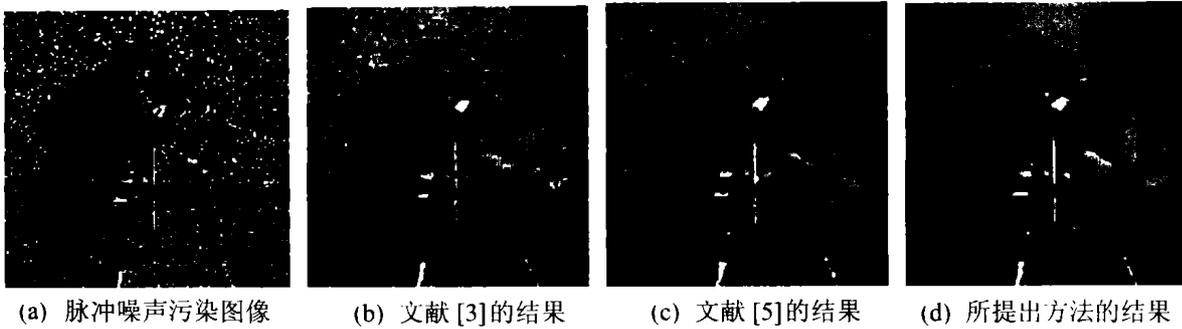


图5 不同方案去除脉冲噪声的实验结果比较

Fig. 5 Experiment results comparisons of different schemes for reducing impulsive noise

表1 不同方案在脉冲噪声环境下的误差(MSE和MME)

Table 1 MSE and MME caused by different schemes in impulsive noise condition

滤波器	MSE(脉冲噪声)			MME(脉冲噪声)		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
文献[3]滤波器	0.0074	0.0168	0.0279	0.0406	0.0743	0.1079
文献[5]滤波器	0.0031	0.0062	0.0112	0.0235	0.0350	0.0492
所提出的滤波器	0.0024	0.0047	0.0097	0.0145	0.0203	0.0303

表2 不同方案在高斯噪声下的误差(MSE和MME)

Table 2 MSE and MME caused by different schemes in Gaussian noise condition

滤波器	MSE(高斯噪声)			MME(高斯噪声)		
	0.05	0.08	0.10	0.05	0.08	0.10
文献[3]滤波器	0.0147	0.0214	0.0254	0.0948	0.1142	0.1250
文献[5]滤波器	0.0229	0.0318	0.0363	0.1176	0.1394	0.1492
所提出的滤波器	0.0085	0.0130	0.0157	0.0685	0.0865	0.0952

表3 不同方案在脉冲和高斯混合噪声下的误差(MSE和MME)

Table 3 MSE and MME caused by different schemes in mixed noise condition

滤波器	MSE			MME		
	脉冲噪声混合 0.02 高斯噪声			脉冲噪声混合 0.02 高斯噪声		
	5%	8%	10%	5%	8%	10%
文献[3]滤波器	0.0103	0.0125	0.0142	0.0745	0.0804	0.0856
文献[5]滤波器	0.0118	0.0131	0.0136	0.0795	0.0830	0.0842
所提出的滤波器	0.0052	0.0062	0.0069	0.0497	0.0529	0.0560

### 5 结束语(Conclusions)

本文在人类视觉特性的基础上,结合模糊逻辑的方法,提出一个新的边缘敏感噪声消除滤波器.本文的研究结果表明,该滤波器不仅能消除脉冲噪声和高斯噪声,而且能消除混合噪声,同时还能有效地保留边缘和图像的细节.但是,如何更加充分地利用人类视觉系统的一些特性,以及如何提高算法的运行速度,仍然值得进一步的讨论.

### 参考文献(References):

[1] ADELMANN H G. An edge-sensitive noise reduction algorithm for image processing [J]. *Computers in Biology and Medicine*, 1999,

29(2): 137 - 145.

[2] RUSSO F. A FIRE filter for detail-preserving smoothing of images corrupted by mixed noise [C] // *The 6th IEEE Int Conf on Fuzzy Systems Proceedings*, 1997, 2: 1051 - 1055.

[3] RUSSO F, RAMPONI G. A fuzzy operator for the enhancement of blurred and noisy images [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1995, 4(8): 1169 - 1174.

[4] CHOI Y, KRISHNAPURAM R. A robust approach to image enhancement based on fuzzy logic [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1997, 6(6): 808 - 825.

[5] KAMEL B B, BEGHDADI A. A new image smoothing method based on a simple model of spatial processing in the early stages of human vision [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2000, 9(2): 220 - 226.

(下转第385页)

- [M]//TIPPETT J T. *Optical and Electro-optical Information Processing*. Cambridge, MA: MIT Press, 1965: 159 - 197.
- [4] SOBEL I. *Camera Models and Machine Perception* [M]. CA: Stanford AI Memo, 1970: 121.
- [5] PREWITT J M S. Object Enhancement and Extraction [M]//LIPKIN B S, ROSENFELD A. *Picture Processing and Psychopictorics*. New York: Academic Press, 1970: 826 - 857.
- [6] 管业鹏,童林夙.二维图像特征点快速提取算法[J].中国图像图形学报,2002,7A(12):1296 - 1301.  
(GUAN Yepeng, TONG Linsu. A fast algorithm for extracting feature point in 2-dimensional image [J]. *J of Image and Graphics*, 2002, 7A (12), 1296 - 1301.)
- [7] OTSU N. A threshold selection method from gray-scale histograms [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 1988, 9(1): 62 - 66.
- [8] CHENG Mingqi. Gray image segmentation on MEBML frame [C]//*Proc of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2000: 135 - 137.
- [9] 姚耀文,朱海洲.点阵地图图像处理过程中阈值的选取[J].华南理工大学学报(自然科学版),1997,25(3):25 - 9.  
(YAO Yaowen, ZHU Haizhou. Selection of threshold in image processing of bit map [J]. *J of South China University of Technology (Natural Science)*, 1997, 25(3): 25 - 9.)
- [10] 杨恬,李德芳.灰度图像的二维 Otsu 自动阈值分割研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),1998,23(6): 658 - 662.  
(YANG Tian, LI Defang. Study of two-dimensional Otsu thresholding for grey image segmentation [J]. *J of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 1998, 23(6): 658 - 662.)
- [11] 吴有富,许连清.一种基于 Kullback-Leiblar 距离的自动多门限图像分割方法及应用[J].贵州大学学报(自然科学版),1998, 15(4):271 - 275.  
(WU Youfu, XU Lianqing. A Kulback-Leiblar cross entropy based automatize multipartie thresholding algorithm [J]. *J of Guizhou University (Natural Science)*, 1998, 15(4): 271 - 275.)
- [12] 马颂德,张正友.计算机视觉——计算理论与算法基础[M].北京:科学出版社,1998.  
(MA Songde, ZHANG Zhengyou. *Computer Vision: Fundamental Computation Theory and Algorithms* [M]. Beijing: Science Press, 1998.)

#### 作者简介:

管业鹏 (1967—),男,副教授,先后在东南大学和浙江大学从事博士后研究工作,主要研究方向为数字图像处理与分析及立体视觉等,E-mail:ypguan@staff.shu.edu.cn;

顾伟康 (1939—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机视觉、人工智能、智能机器人视觉系统等。

#### (上接第 380 页)

- [6] PELI E. Contrast in complex image [J]. *J of Optical Society American A*, 1990, 7(10): 2032 - 2040.
- [7] WARD G. A contrast -based scalefactor for luminance display [J]. HECKBERT P S. *Graphics Gems IV*, 1994, 415 - 421.

#### 作者简介:

谢胜利 (1958—),男,华南理工大学无线电与自动控制研究所

教授,博士生导师,IEEE 高级会员,出版学术专著(国家“九五”重点图书)和教材各一部,发表学术论文 70 多篇,4 次获得省部级科技奖励,主要研究方向为非线性系统学习控制、自适应多路回波消除、盲信号处理以及图像处理等,E-mail: suny\_scut@163.com;

余庆军 (1973—),男,2001 年获华南理工大学电信学院工程专业硕士学位,现为华南理工大学电信学院通信与信息系统工程专业 2001 级博士生,主要研究方向为自适应信号处理和图像处理。