

# 基于直方图的图象去噪滤波器

王保平<sup>1)</sup> 范九伦<sup>2)</sup> 谢维信<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>(西安电子科技大学电子工程学院, 西安 710071) <sup>2)</sup>(西安邮电学院信控系, 西安 710068)

<sup>3)</sup>(深圳大学信息工程学院, 深圳 518060)

**摘要** 滤除图象噪声时, 虽然利用的先验知识越多, 其滤波效果越好, 但是一般情况下, 由于只能得到一幅被污染的图象, 无法获得这些先验知识, 因而滤波效果较差. 为了解决该问题, 提出了一种去除图象中椒盐噪声的新型滤波器. 该滤波器首先给出了一种有效的估计原图象直方图的方法, 进而利用估计直方图的信息来进行滤波; 然后对滤波窗口中的像素进行一种排除最大和最小灰度值的操作, 以滤除椒盐噪声点. 实验表明, 该方法滤波效果优于传统的滤波器和其他模糊滤波器, 特别是当噪声概率超过 0.3 时, 这种优势尤为明显.

**关键词** 计算机图象处理(520·6040) 模糊加权滤波器 直方图 图象恢复 椒盐噪声 模糊隶属度  
**中图分类号**: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)07-0748-05

## Histogram-based Filter for Removing Image Noise

WANG Bao-ping<sup>1)</sup>, FAN Jiu-lun<sup>2)</sup>, XIE Wei-xin<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>(School of Electronics Engineering, Xidian University, Xi'an 710071)

<sup>2)</sup>(Department of Information and Control, Xi'an Institute of Post and Telecommunications, Xi'an 710061)

<sup>3)</sup>(Institute of Information Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060)

**Abstract** The more priori knowledge used in removing image noise, the better will the effect of removing image noise be, but we can only get a noise-corrupted image in general condition, and can't get this priori knowledge, so effect of removing image noise is not good. A novel filter for removing salt & pepper noise of image is proposed in this paper for solving this problem. Firstly, the filter provides an effective approach for estimating histogram of original image, then gets a membership function through the histogram, and then establishes a weighted fuzzy mean filter based on this membership function, so the filter utilizes the information of the estimated histogram to remove salt and pepper noise; Secondly, the filter does an operation of excluding maximum and minimum gray intensity to the pixels of filter windows in order to remove salt and pepper noise points. Experimental results show that the filter gives superior performance compared with conventional filters and other fuzzy filter, especially, the superiority will more obvious when noise probability exceeds 0.3.

**Keywords** Weighted fuzzy mean filter, Histogram, Image restoration, Salt & pepper noise, Fuzzy membership

## 0 引言

滤噪是图象预处理的一个基本内容, 而去除椒盐噪声又是其中的一项重要的任务. 在去除椒盐噪声方面, 中值滤波器是当前应用最广的方法之一, 其效果虽较好, 然而标准中值滤波器会破坏和丢失相对于滤波窗口尺寸较小的图象细节(如边缘、尖角等), 而且,

当噪声增加时, 其滤噪能力下降很快. 为了克服这些缺点, 人们对中值滤波器进行了许多改进<sup>[1~4]</sup>, 但是由于其滤波时, 未利用任何先验知识, 带有一定的盲目性, 因此, 其性能没有本质的改进. 近年来, 人们利用模糊理论和神经网络理论开发了一些新的滤波器<sup>[5~7]</sup>, 这类滤波器性能明显优于传统的滤波器, 但是它们在滤波时, 必须用一些参考图象作为训练样本才能对网络进行训练学习, 由于需要一段较长的启动

基金项目: 国家自然科学基金项目(69972041)

收稿日期: 2002-10-29; 改回日期: 2003-02-24

时间,因此,这类滤波器可行性差.

本文在考虑图象模糊信息的基础上,提出了一种新的滤波器,称之为基于直方图的模糊加权平均滤波器(hwfm).该方法类似于 neuro-fuzzy 滤波器,其在滤波时,不仅利用了原图象的信息,而且和传统滤波器相比,具有运算简单快速和不需要图象的任何先验知识的优点.由此可见,该方法在具有上述两类滤波器优点的同时,又避免了它们各自的不足.实验证明,其性能在整个噪声概率范围内,均明显优于现有的滤波器.

### 1 直方图的估计及模糊参数的获取

#### 1.1 原图象直方图的估计

本文论述的是加性椒盐噪声的去除问题,其理论模型如下

$$x(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{以概率 } p/2 \\ 255 & \text{以概率 } p/2 \\ x_0(i, j) & \text{以概率 } (1 - p) \end{cases} \quad (1)$$

其中,假定输入图象灰度级为 256,  $x(i, j)$  是被污染图象的灰度值,  $x_0(i, j)$  是原图象信号的灰度值,其噪声发生的概率  $p \in [0, 1]$ , 依据式(1)设计的原图象直方图的估计方法如下:

(1)估计噪声污染的概率 求出输入图象总的像素点个数  $N$  和灰度值  $x(i, j) = 0$  或  $x(i, j) = 255$  的像素个数  $M$ , 令  $\rho = M/N$ , 用它来估计噪声发生的概率  $p$ .

(2)恢复原图象的直方图 设  $h_0(g)$  表示原图象直方图函数在灰度值  $g$  处的估计值,  $h(g)$  表示被污染图象直方图函数在灰度值  $g$  处的值, 则根据式(1)可知, 对于某个像素灰度值  $x_0(i, j) = g$ , 其被污染时, 该像素灰度值以  $p/2$  的概率等于 0, 以  $p/2$  的概率等于 255, 以  $(1-p)$  的概率保持不变. 据此有

$$h(g) = h_0(g) - p/2 \times h_0(g) - p/2 \times h_0(g) \quad (2)$$

将式(2)整理后得

$$h_0(g) = h(g)/(1-p) \quad (3)$$

可利用此方法对 Lena 图进行直方图估计, 图 1 为原图象直方图, 图 2 为当噪声发生概率为 0.6 时的估计直方图, 由图 1 和图 2 可看出, 两图形状极其相似, 量值近乎相等, 可见, 该方法是有效的.

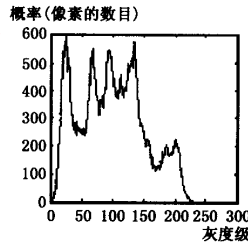


图 1 原图象的直方图

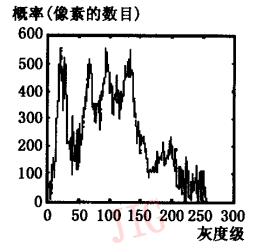


图 2 p 为 0.6 情况下恢复的直方图

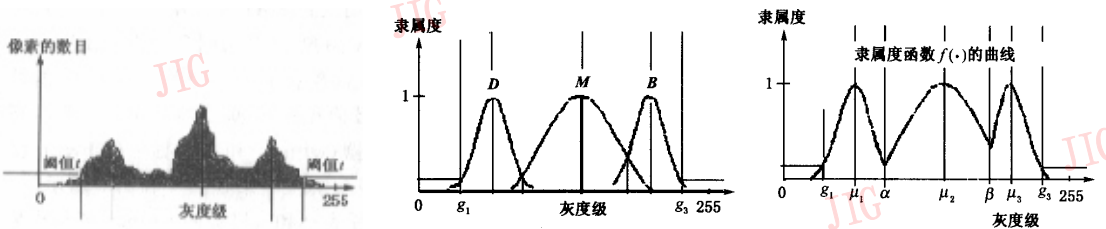
#### 1.2 直方图的模糊描述和模糊参数的获得

图 3(a)为某一估计的原图象直方图, 以其灰度级为论域, 可建立一些模糊子集, 并可在每一个模糊子集上定义一个隶属度函数用来描述其模糊属性. 实验时, 首先将直方图分为 3 个长度相等的部分, 并在其上建立 3 个模糊子集, 分别称之为暗区(D)、中区(M)、亮区(B), 如图 3(b)所示. 根据大部分图象直方图形状特点, 可以认为采用高斯曲线型的隶属度函数比较恰当, 其数学表达式为

$$f(x) = \exp \frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \quad (4)$$

式中,  $\mu$  为均值,  $\sigma$  为方差.

下面说明, 如何根据图象的直方图来选取隶属度函数中的参数  $(\mu_1, \sigma_1)$ ,  $(\mu_2, \sigma_2)$  和  $(\mu_3, \sigma_3)$ , 并最终确定隶属度函数的形状. 由于若隶属度函数的形状越接近直方图的形状, 则隶属度函数就越能体现出直方图中包含的图象信息, 因此, 这组参数的选取是很重要的.



(a) 原图象直方图

(b) 从图 3(a)提取的 3 个隶属度函数曲线

(c) 从图 3(b)集合并的总隶属度函数曲线

( $\alpha, \beta$  为 3 个模糊子集交点)

图 3 隶属度函数的获取

设  $h_0(g)$  代表某原图象直方图函数的估计值, 在  $h_0(g)$  中取一个阈值  $t$ , 本文取  $t=10$ ,  $t$  值的选取是相对于质心处的  $h_0(g)$  值而言, 一般情况是只要  $t$  值远小于质心处的  $h_0(g)$  即可. 在暗区 ( $D$ ) 中求出使  $h_0(g)=t$  的, 在亮区 ( $B$ ) 中求出使  $h_0(g)=t$  的, 并定义 3 个部分的质心分别为

$$C_D = \frac{\sum_{g \in D} (g \times h_0(g))}{\sum_{g \in D} h_0(g)}, C_M = \frac{\sum_{g \in M} (g \times h_0(g))}{\sum_{g \in M} h_0(g)}, C_B = \frac{\sum_{g \in B} (g \times h_0(g))}{\sum_{g \in B} h_0(g)}$$

然后就可按以下步骤确定隶属度参数中的参数.

(1) 一般来说, 质心周围像素分布比较密集, 且对称性较好, 据此, 取  $\mu_1 = C_D$ , 利用高斯函数的统计特点, 取  $\sigma_1 = (\mu_1 - g_1)/3$ , 这样做的结果就使小于阈值  $t$  的那些像素的隶属度很小, 这正是所期望的, 据研究, 以这样参数  $(\mu_1, \sigma_1)$  所表示的隶属度函数最能反映此区间像素直方图的统计属性.

(2) 同理  $\mu_3 = C_B, \sigma_3 = (g_3 - \mu_3)/3$ .

(3)  $\mu_2 = C_M$ , 在  $\mu_1$  和  $\mu_2$  间求出使  $h_0(g)$  最小的  $g_{\min}, \sigma_2 = |\mu_2 - g_{\min}|/3$ .

(4) 将 3 个模糊集合为一个模糊集, 图 3(c) 表示合并后总的隶属度函数曲线, 其隶属度函数用  $f(\cdot)$  表示.  $f(\cdot)$  为分段函数, 其中  $\alpha$  和  $\beta$  为分段函数的连接点.

值得指出的是, 模糊子集的个数并不局限于这 3 个, 若模糊子集越多, 隶属度函数曲线就越接近直方图函数曲线, 则滤波效果就越好.

## 2 新算法(hwfm)

$X = [x(i, j)]_{N_1 \times N_2}$  表示被污染的输入图象.  $w_n(i, j)$  代表像素中心在  $(i, j)$  大小为  $n \times n$  的一个窗口, 如  $n=3$  时

$$w_n(i, j) = \begin{bmatrix} x(i-1, j-1) & x(i, j-1) & x(i+1, j-1) \\ x(i-1, j) & x(i, j) & x(i+1, j) \\ x(i-1, j+1) & x(i, j+1) & x(i+1, j+1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

令  $Y = [y(i, j)]_{N_1 \times N_2}$  表示滤波后的输出图象,  $hwfm(\cdot)$  表示新提出的滤波器函数, 则

$$y(i, j) = hwfm(w_n(i, j)) \quad (6)$$

该滤波器的具体实现步骤如下:

(1) 在输入图象灰度值矩阵中任取一个  $x(i, j)$ , 如果  $x(i, j)$  满足,  $0 < x(i, j) < 255$ , 则滤波器输出  $y(i, j) = x(i, j)$ , 否则, 执行步骤 2.

(2) 在输入图象灰度值矩阵中任取一个中心在

$(i, j)$ , 大小为  $3 \times 3$  的窗口, 然后在其中找灰度最大值  $x_{\max}$  和最小值  $x_{\min}$ , 如果  $x(m, n) = x_{\min}$  或  $x(m, n) = x_{\max}$ , 则令  $x(m, n) = 0$ , 并根据以下原则去除它们, 即去除那些受噪声严重污染的像素点.

① 如剩下的像素个数大于等于 3, 则去除它们中的最大和最小灰度值, 然后用其平均值作为滤波器的输出.

② 如剩下的像素个数大于零小于 3, 则用其灰度值的平均值作为滤波器的输出.

③ 如剩下的像素的个数等于零, 则执行步骤 3.

(3) 取一个大小为  $5 \times 5$  窗口, 如  $x(m, n) = x_{\min}$  或  $x(m, n) = x_{\max}$ , 则令  $x(m, n) = 0$ , 即去除它们; 然后用剩下的像素灰度值的加权平均作为滤波器的输出, 公式如下:

$$y(i, j) = \frac{\sum_{k=-2}^2 \sum_{l=-2}^2 f(x(i+k, j+l)) \times x(i+k, j+l)}{\sum_{k=-2}^2 \sum_{l=-2}^2 f(x(i+k, j+l))} \quad (7)$$

(4) 如果  $n=5$  时, 窗口中的像素均被丢弃, 则用相邻 4 个滤波器输出值的加权平均作为滤波器的输出.

该算法运行时, 经过去除最大和最小灰度值之后, 如果  $3 \times 3$  的窗口中剩下像素的个数不为零, 则根据像素灰度值的强相关性, 应该用其平均值作为滤波器的输出, 因这样有利于保护图象的细节; 如果为零, 则只能取一个  $5 \times 5$  窗口, 同样进行一个排除最大和最小灰度值像素的操作, 然后再判断其剩下的像素的个数是否为零, 如果不为零, 则此时因为距窗口中心点  $(i, j)$  的距离较远, 相关性减弱, 所以应用其加权平均作为滤波器的输出.

## 3 实验结果及分析

实验 1 是利用被污染的大小为  $256 \times 256$ 、灰度级为 256 的 Lena 图象为输入图象, 用峰值信噪比 PSNR 作为评价的客观准则来分别对标准中值滤波器 (median), 极值型中值滤波器 (minmax)<sup>[1]</sup>, 模糊加权平均滤波器 (wfm)<sup>[7]</sup> 和本文提出的 hwfm 滤波器等进行了比较. 实验结果如图 4 和图 5 所示.

实验 2 用同样大小和灰度级的 pepper 图象作为输入图象, 实验结果如图 6 所示. 由实验结果可见:

(1) 从图 4 曲线可知, 传统滤波器不适合噪声较强的情况, 当  $p$  超过 0.3 时, 滤波的效果急剧下降.

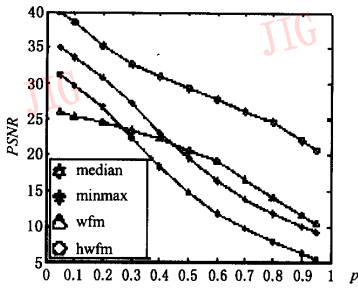


图 4 不同滤波器恢复的 Lena 图象的峰值信噪比随概率  $p$  变化的曲线

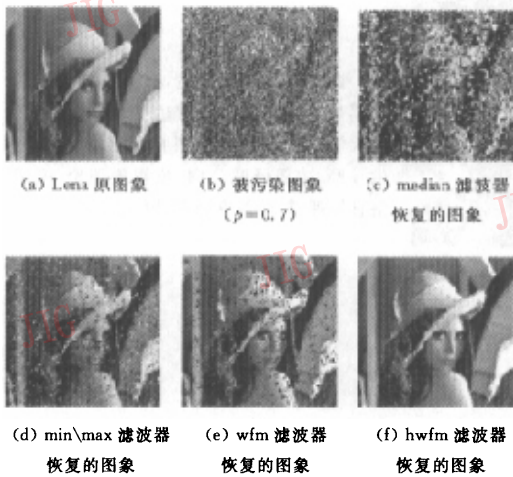


图 5 被污染概率  $p=0.7$  时,不同的滤波器恢复的 Lena 图象效果比较

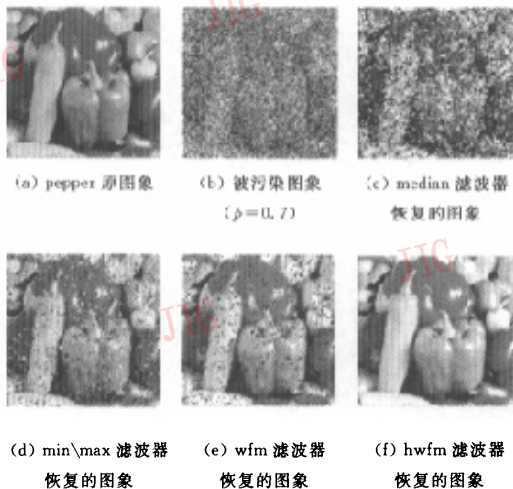


图 6 被污染概率  $p=0.7$  时,不同的滤波器恢复的 pepper 图象效果比较

(2) median 和 minmax 滤波器不能去除图象上的那些由椒盐噪声产生的亮点和暗点, wfm 滤波器有所改善, 而 hwfm 滤波器则较好地解决了这个问题, 从而使图象的主观视觉效果大为改善; 在实验中发现, 在同样的 PSNR 的情况下, 用 hwfm 滤波器恢复的图象的视觉效果较好, 同时还注意到, 当 PSNR 大于 20dB 时, 几种滤波器均可得到满意的效果, 因此, 当概率  $p$  小于 0.3 时, hwfm 滤波器的优势不太明显; 当概率  $p$  大于 0.3 时, hwfm 滤波器仍能得到满意的效果, 而其他滤波器则无能为力, 此时, 它的优势体现得特别明显. 实验表明, 当概率  $p$  等于 0.8 时, hwfm 滤波器就能得到比较满意的效果, 因 hwfm 的抗噪性能好, 故可以用于滤除被强噪声污染的图象; 且在保护边缘, 尖角等图象细节方面也优于其他 3 个滤波器, 这点, 通过比较图 5 几幅图象的头发和帽子就可看出; 另外, 将此算法应用于其他图象时, 均得到了满意的效果, 由此可证明该算法的通用性强.

(3) 从表 1 可知, 新滤波器的运行时间短, 特别是当噪声概率较小时, 其运行时间很小.

表 1 不同滤波器滤除 Lena 图象噪声时运行时间比较  
单位: s

噪声概率	滤波器		
	median	wfm	hwfm
0.1	95	144	14
0.2	95	143	20
0.3	95	142	26
0.4	95	140	32
0.5	95	140	40
0.6	95	140	50
0.7	95	140	78
0.8	95	138	113
0.9	95	136	183

### 4 结 论

本文提出了一种模糊加权平均滤波器(hwfm), 由于其权值是一个能够描述原图象直方图统计特性的隶属度函数, 因此 hwfm 滤波时, 利用了原图象的信息. 同时由于它还根据椒盐噪声的特点, 对滤波窗口中的像素进行一种排除最大和最小灰度值的操作, 以滤除椒盐噪声点, 因此 hwfm 滤波器滤波时, 也利用了噪声的特性信息. 由此可见, hwfm 滤波器类似于 neuro-fuzzy 滤波器, 滤波时也充分利用了原

图象的信息和噪声的特性信息,而和传统滤波器相比,其具有运算简单快速和不需启动时间的优点.实验表明,新提出的 hwhm 滤波器在速度和性能两方面均明显优于现有的滤波器,特别是当噪声概率超过 0.3 时,这种优势尤为明显.

### 参 考 文 献

- 1 Wang J H, Lin L D. An improved median filter using minmax algorithm for image processing[J]. Electronics Letters, 1997, 33(16): 1362~1363.
- 2 Brownrigg D R K. The weighted median filter [J]. Communcation Association for Computing Machinery, 1984, 27(8): 807~818.
- 3 Arce G R, Foster R E. Detail preserving ranked-order based filters for image processing[J]. IEEE Transactions on Acoustics Speech & Signal Processing, 1989, 37(1): 83~89.
- 4 Sun T, Neuvo Y. Detail-preserving median based filters in image processing[J]. Pattern Recognition Letters, 1994, 15(4): 341~347.
- 5 Yu P, Lee C S. Adaptive fuzzy median filter [A]. In: Proceedings International Symposium Artificial Neural Networks [C], London: Elsevier Science Publishers, 1993:318~362.
- 6 Wang J H, Yu M D. Image smoothing by adaptive fuzzy optimal filter[A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference System, Man and Cybernetics[C], New York: IEEE Computer Society Press, 1995:845~848.
- 7 Lee C S, Kuo Y H, Yu P T. Weighted fuzzy mean filters for image processing[J]. Fuzzy Sets System, 1997, 89(2): 157~180.



王保平 1964年生,1993年获湖北大学硕士学位,现为西安电子科技大学信号和信息处理专业的博士研究生.主要研究方向为模糊信息处理、模式识别和图象处理.



范九伦 1964年生,1998年获西安电子科技大学博士学位,1998至2000年在西北工业大学博士后流动站工作.主要研究兴趣为不确定性推理,模糊模式识别和图象处理.



谢维信 1941年生,1965年毕业于西安军事电讯工程学院雷达工程系.现任深圳大学校长,西安电子科技大学教授,博士生导师.主要研究方向,模糊集理论、模糊信息处理、智能信息处理、模式识别.