

# 基于模糊技术的图像噪声消除

杨群生<sup>1,2</sup>, 陈 敏<sup>2</sup>, 余英林<sup>2</sup>

(1. 华南师范大学计算机科学系, 广州 510631; 2. 华南理工大学电子与通信工程系, 广州 510641)

**摘 要:** 本文提出了一种新的滤波器——模糊检测加权均值 (FDWM) 滤波器. 根据被污染图像的直方图的特点, 利用它所反映的图像统计特性, 建立模糊隶属函数, 改进算法设计, 并结合新的检测算法进行噪声消除. 对于盐椒噪声图像, 当噪声率超过 30% 时, FDWM 的去噪效果远远优于常规方法, 特别是当噪声率超过 50% 时, FDWM 的优越性更加突出, 无论其主观视觉效果还是其峰值信噪比或均方误差都表明了这一点.

**关键词:** 模糊检测加权均值; 模糊技术; 直方图; 隶属函数; 脉冲噪声; 图像处理

**中图分类号:** TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 10-0031-05

## The Image Noise Removal Based on Fuzzy Technique

YANG Qun-sheng<sup>1,2</sup>, CHEN Ming<sup>2</sup>, YU Ying-lin<sup>2</sup>

(1. Dept. of Computer Science, South China Normal Univ., Guangzhou 510631, China;

2. Dept. of Electronic and Comm. Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510641, China)

**Abstract:** A new filter—Fuzzy Detection Weighted Mean filter is presented in this paper. Based on the histogram of corrupted image and its statistic characteristic, we construct the fuzzy membership functions and present the design methodology of FDWM combining new detection algorithm. For salt-pepper impulse noise image, when the noise probability exceeds 30%, FDWM gives superior performance compared with conventional filters, especially when noise probability is more than 50%, the advantage of FDWM is more prominent than other filters. This is showed by the subjective vision and peak signal-to-noise-rate (PSNR) or mean square error (MSE).

**Key words:** fuzzy detection weighted mean; fuzzy technique; histogram; membership function; impulse noise; image processing

### 1 引言

对于脉冲噪声的消除, 许多学者进行了深入的研究, 目前已提出了多种脉冲噪声消除算法<sup>[1~7]</sup>. 为了取得更满意的效果, 近年来发表的许多新算法都采用了开关控制策略<sup>[1~5]</sup>. 文献[5]中提出的逐次开关中值滤波器和文[3]中提出基于远程相关算法进行噪声消除, 其效果是目前最好的去噪算法之一, 但这种算法和前人的诸多算法一样, 对于被噪声污染相当严重 (例如超过 50% 的噪声图像) 效果也并不好, 而且其算法运算时间要求较长.

模糊集理论已经成功地应用于控制、模式识别和图像处理等方面<sup>[6,7]</sup>. 在信息处理问题中, 所含的不确定性越大, 使用模糊技术就越容易收到令人满意的效果. 在图像处理中, 可以将一幅图像看成一个模糊集, 当图像被噪声高度污染时, 其模糊不确定性就增加了, 应用模糊知识处理图像的效果就会更加明显. 在模糊知识应用到图像处理中时, 建立恰当的隶属函数极其重要. 文献[6]考虑到在图像传输过程中, 由于各种原因可能致使图像受到加性噪声的污染, 提出利用原图像的直方图作为知识基来建立隶属函数, 在接收端进行噪声消除

的方法. 但在一般情况下, 根本不知道原图像是什么, 这就无法利用原图像的直方图及其性质, 因此文献[6]的算法不适用于一般情况下的噪声消除. 另外, 该算法没有进行检测, 导致接收端恢复图像的模糊化, 本文在分析了噪声图像性质以后, 结合开关检测策略, 改进了文[6]的算法, 提出了一种非常有效的噪声消除方法, 本文称之为模糊检测加权均值 (FDWM) 算法, 该算法在对原图像信息毫无所知的情况下, 能够极其有效地消除噪声, 对于盐椒噪声图像, 本文的算法对于噪声率超过 30% (图像中超过 30% 的点是噪声点) 图像的去噪效果明显好于其它算法, 甚至对于噪声率大于 90% 的噪声消除仍然有效.

本文首先以噪声图像的直方图为基础建立隶属函数, 然后进行检测, 再进行算法设计实现噪声消除, 文中做了大量实验, 并对实验结果进行分析和说明.

### 2 模糊隶属函数的建立

本文所考虑的噪声概率分布形式为受噪声干扰的图像点以 50% 等概率取图像灰度的最大或最小值, 通常称为盐椒噪声 (Salt-Pepper Impulse Noise). 对于一个 8-bpp (bits/pixel) 的灰度

图像而言,这种情况下噪声图像中受噪声干扰像素的灰度值取值为 0 或 255.

参考文献[6],首先建立隶属函数:

设待处理的噪声图像  $X$  大小为  $N_1 \times N_2$ ,灰度级为  $L$ ,记  $X = [x_{i,j}]_{N_1 \times N_2}, x_{i,j} \in \{0, 1, \dots, L-1\}, 0 \leq i \leq N_1-1, 0 \leq j \leq N_2-1$ . 为了引入模糊集理论进行噪声消除,设定三个模糊集 DK(黑暗)、MD(中等明暗)和 BR(明亮).

为简单起见,设定像素  $x_{i,j}$  属于以上三个模糊集的隶属函数为如下三角分布:

$$f(x) = \begin{cases} L((m-x)/\dots), & \text{for } x \leq m \\ R((x-m)/\dots), & \text{for } x \geq m \end{cases} \quad (1)$$

其中  $L(y) = R(y) = \max(0, 1-y)$ ,  $\dots, m$  为待定参数.

黑白图像可以看成是一个各态历经的随机过程,其直方图是图像信号统计特性的反映. 盐椒噪声图像的特点是噪声点均匀分布于整个图像,也就是原图像点等概率地被噪声点所取代,而噪声点的像素值又都取值为 0 或  $L-1$ ,这就导致像素值在 1 到  $L-2$  之间的像素点等概率减少,所以,图像直方图有如下性质:

普通图像被盐椒噪声污染后,除两端(灰度级为 0 和  $L-1$  的端点)之外,其直方图的极值点与原图像直方图的极值点基本不变(如图 1,图 2 所示).

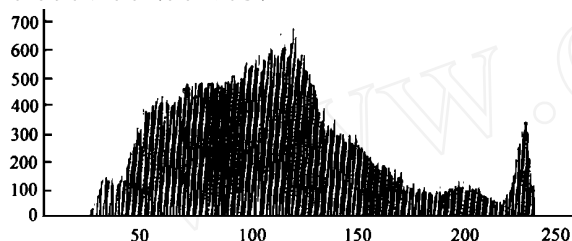


图 1 Goldhill 原图的直方图

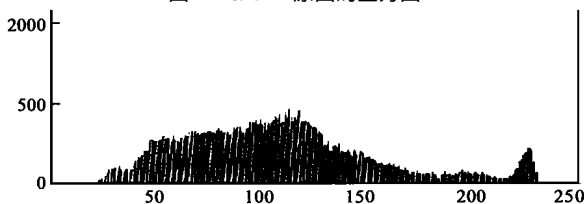


图 2 噪声率为 30% 的 Goldhill 图像的直方图

利用这一特点,可以使用依据噪声图像的直方图所建立的隶属函数来进行噪声消除.

假设  $s_k \in [0, L]$  是图像  $X$  的第  $k$  个灰度级,则直方图离散函数可以写成:

$$p(s_k) = \frac{n_k}{n} \quad (2)$$

其中  $n_k$  为第  $k$  个灰度级水平的像素数,  $n$  为图像  $X$  中总的像素数.

现在以噪声图像的直方图为基础,参照文献[6],在灰度级  $[1, L-2]$  上建立关于模糊集 DK、MD 和 BR 的隶属函数.

模糊集隶属函数的构造算法[6]如下:

step1. 确定模糊集 DK、MD 和 BR 的模糊区间  $[DK_{\text{begin}}, DK_{\text{end}}]$ 、 $[MD_{\text{begin}}, MD_{\text{end}}]$  和  $[BR_{\text{begin}}, BR_{\text{end}}]$ ;

step1.1 设  $DK_{\text{end}} = \left\lfloor \frac{L-1}{3} \right\rfloor$ ,  $BR_{\text{begin}} = 2 \times \left\lceil \frac{L-1}{3} \right\rceil$ ,  $MD_{\text{begin}} = DK_{\text{end}} - \text{left\_overlap}$ ,  $MD_{\text{end}} = BR_{\text{begin}} + \text{right\_overlap}$ , 这里  $\text{left\_overlap}(LP)$  和  $\text{right\_overlap}(RP)$  分别表示模糊隶属函数的交叉集部分,可以根据实际情况取值;

step1.2 让  $DK_{\text{begin}}$  等于从灰度级 1 到  $DK_{\text{end}}$  第一个使得  $n_k > t$  的  $s_k$ , 其中  $t$  是门限值;

step1.3 让  $BR_{\text{end}}$  等于从灰度级  $BR_{\text{begin}}$  到  $L-2$  最后一个使得  $n_k > t$  的  $s_k$ , 其中  $t$  是门限值.

step2 在区间  $[DK_{\text{begin}}, DK_{\text{end}}]$  上找到一个点  $s_k$ , 使得  $p(s_k)$  取得最大值,并在此区间上建立模糊集 DK 的隶属函数  $f_{DK}$ :

step2.1 让  $m_{DK} = s_k$ ;

step2.2 让  $DK = m_{DK} - DK_{\text{begin}}$ ;

step2.3 让  $DK = DK_{\text{end}} - m_{DK}$ .

Step3 在区间  $[MD_{\text{begin}}, MD_{\text{end}}]$  上找到一个点  $s_k$ , 使得  $p(s_k)$  取得最大值,并在此区间上建立模糊集 MD 的隶属函数  $f_{MD}$ :

Step3.1 让  $m_{MD} = s_k$ ;

Step3.2 让  $MD = m_{MD} - MD_{\text{begin}}$ ;

Step3.3 让  $MD = MD_{\text{end}} - m_{MD}$ .

Step4 在区间  $[BR_{\text{begin}}, BR_{\text{end}}]$  上找到一个点  $s_k$ , 使得  $p(s_k)$  取得最大值,并在此区间上建立模糊集 BR 的隶属函数  $f_{BR}$ :

Step4.1 让  $m_{BR} = s_k$ ;

Step4.2 让  $BR = m_{BR} - BR_{\text{begin}}$ ;

Step4.3 让  $BR = BR_{\text{end}} - m_{BR}$ .

Step5 结束.

并且设  $f_{DK}(0) = f_{DK}(L-1) = f_{MD}(0) = f_{MD}(L-1) = f_{BR}(0) = f_{BR}(L-1) = 0$ .

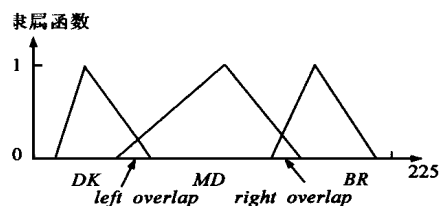


图 3 模糊隶属函数示意图

### 3 图像噪声的检测

为取得更好的恢复效果,必需进行开关检测.对于高噪声率图像,由于使用常规的噪声检测算法很容易出现误判,检测效果会随噪声率的升高而急剧下降,对此,本文提出一种新的检测方法,称为迭代模糊检测(Iterative Fuzzy Detection)方法.

首先把噪声图像的所有点都看成噪声点,进行加权模糊均值滤波处理(见第 4 节),根据需要,可以进行若干次迭代,将所得到的图像  $x$  作为参考图像,然后将原噪声图像和它进行比较,得出模糊标志:

$$f_{ij} = \begin{cases} 1, & |x_{i,j} - x_{i,j}| > T_d \\ 0, & |x_{i,j} - x_{i,j}| \leq T_d \end{cases} \quad (3)$$

这里  $T_d$  是预先设定的门限值,  $x_{i,j}$  和  $x_{i,j}$  分别为噪声图像和

参考图像位于 (i, j) 的灰度值. 该检测算法可使误判率极低, 有效地保证图像的清晰度.

### 4 改进的加权模糊均值滤波器消除噪声

本文改进的加权均值算法是在文[6]的基础上加入了噪声点的判定. 利用上述算法进行噪声检测后, 对每个图像点赋予了一个标志信息  $f_{ij}$ , 这些标志信息构成了一个二值的标志图像, 本文的算法是对整个图像自左至右, 从上到下扫描一遍, 对每个检测出的噪声点即  $f_{ij} = 1$  的点一一进行恢复.

对某一个噪声点 (i, j), 选取以该点为中心的大小为  $(2L_d + 1) \times (2L_d + 1)$  的窗口, 对应三个隶属函数, 分别利用它们在所选窗内进行加权均值处理, 把它们分别称为黑暗加权均值滤波、中等明暗加权均值滤波和明亮加权均值滤波, 对应 (i, j) 的输出结果设为  $y(i, j)$ .

下面给出黑暗加权均值算法<sup>[6]</sup>:

step1 如果  $f_{ij} = 0$ , 那么  $\bar{y}_{DK}(i, j) = x_{i,j}$ ; 否则, 即如果  $f_{ij} = 1$ , 计算 step2;

step2 如果 
$$\sum_{k=-L_d}^{k=L_d} \sum_{l=-L_d}^{l=L_d} f_{DK}(x_{i+k,j+l}) = 0 \quad (4)$$

$$\bar{y}_{DK} = \frac{\sum_{k=-L_d}^{k=L_d} \sum_{l=-L_d}^{l=L_d} f_{DK}(x_{i+k,j+l}) \times x_{i+k,j+l}}{\sum_{k=-L_d}^{k=L_d} \sum_{l=-L_d}^{l=L_d} f_{DK}(x_{i+k,j+l})} \quad (5)$$

否则  $\bar{y}_{DK}(i, j) = 0$ ;

step3 结束.

应用同样的方法, 计算出中等明暗加权均值  $\bar{y}_{MD}$  和明亮加权均值  $\bar{y}_{BR}$ . 从式 (5) 可知, 由于  $f_{DK}(0) = f_{DK}(L-1) = f_{MD}(0) = f_{MD}(L-1) = f_{BR}(0) = f_{BR}(L-1) = 0$ , 所以该算法消除了噪声的影响, 同时利用了图像灰度的统计信息进行图像恢复.

为了决定采用那一个值作为最后输出结果, 必须给出一个判断标准, 对文献[6]的标准进行改进, 判决隶属函数改为式 (6), 具有更好的效果:

定义: 函数

$$f_c(x) = \begin{cases} 0, & x < DK_{begin}/2 \\ 1, & DK_{begin}/2 \leq x \leq (L + BR_{end})/2 \\ 0, & x > (L + BR_{end})/2 \end{cases} \quad (6)$$

在所选定的窗口内进行加权运算: 如果  $f_c(x_{i+k,j+l}) = 0$ , 则

$$f_c(\mathcal{X}(i, j)) = \frac{\sum_{k=-L_d}^{k=L_d} \sum_{l=-L_d}^{l=L_d} f_c(x_{i+k,j+l}) \times x_{i+k,j+l}}{\sum_{k=-L_d}^{k=L_d} \sum_{l=-L_d}^{l=L_d} f_c(x_{i+k,j+l})} \quad (7)$$

如果

$$\sum_{k=-L_d}^{k=L_d} \sum_{l=-L_d}^{l=L_d} f_c(x_{i+k,j+l}) = 0 \quad (8)$$

则取

$$f_c(\mathcal{X}(i, j)) = 0 \quad (9)$$

判决标准如下:

如果  $|\bar{y}_{DK}(i, j) - f_c(\mathcal{X}(i, j))| < |\bar{y}_{MD}(i, j) - f_c(\mathcal{X}(i, j))|$ ,

那么  $y(i, j) = \bar{y}_{DK}(i, j)$ ;

否则  $y(i, j) = \bar{y}_{MD}(i, j)$ .

如果  $|\bar{y}_{BR}(i, j) - f_c(\mathcal{X}(i, j))| < |y(i, j) - f_c(\mathcal{X}(i, j))|$ , 则  $y(i, j) = \bar{y}_{BR}(i, j)$ .

### 5 实验结果

在实验中所选图像为灰度图像, 其灰度级  $L = 256$ , 取  $L_d = 1$ , 即  $3 \times 3$  的窗口, 利用的方法是迭代模糊检测算法加上加权模糊均值算法, 本文称之为模糊检测加权均值 (Fuzzy Detection Weighted Mean FDWM) 算法.

对于盐椒噪声的消除, 已经有很多效果很好的算法, 本文从中挑选了几种常用的 (如中值滤波  $3 \times 3, 5 \times 5$ ) 和能够保留细节的目前最好的几种算法 (如文[2]中的 I\_switch, I 即原文中的 Switch, II, 文[5]中的算法 Adp\_psmf) 进行比较. 图 4、图 5、图 6 给出了在不同噪声率下恢复图像 Boat, Goldhill, Lena 的均方误差 (MSE)、平均绝对误差 (MAE) 和峰值噪声信噪比 (PSNR) 的变化曲线, 从中可以看出随着噪声率的提高, 本文的算法就越显出它的优越性, 而且清晰度较高, 性能很平稳, 从所附的图像中也可以看出其主观视觉效果相当不错.

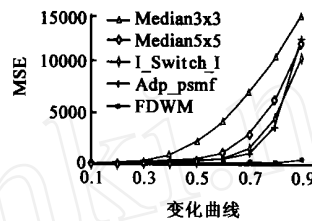


图 4 Boat 的均方误差

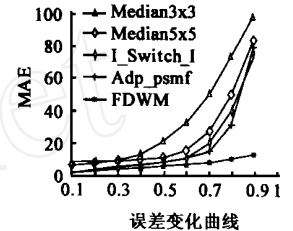


图 5 Goldhill 的平均绝对误差变化曲线

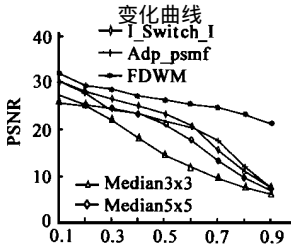


图 6 Lena 的 PSNR 变化曲线

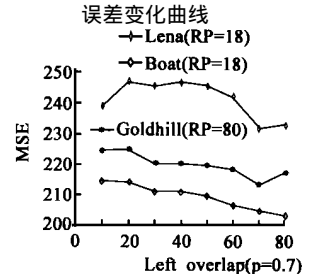


图 7 均方误差随 LP 的变化曲线

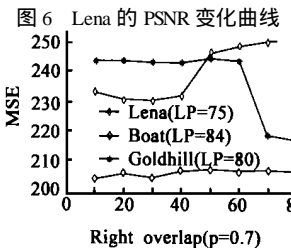


图 8 均方误差随 RP 的变化曲线

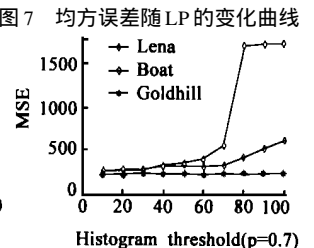


图 9 均方误差随 Hist\_Thre 的变化曲线

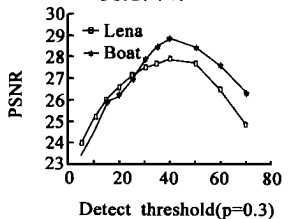


图 10 PSNR 随检测门限  $T_d$  的变化曲线 ( $p = 0.3$ )

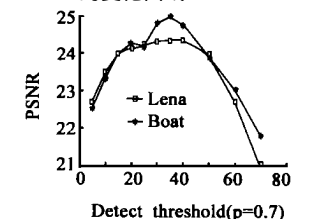


图 11 PSNR 随检测门限  $T_d$  的变化曲线 ( $p = 0.7$ )

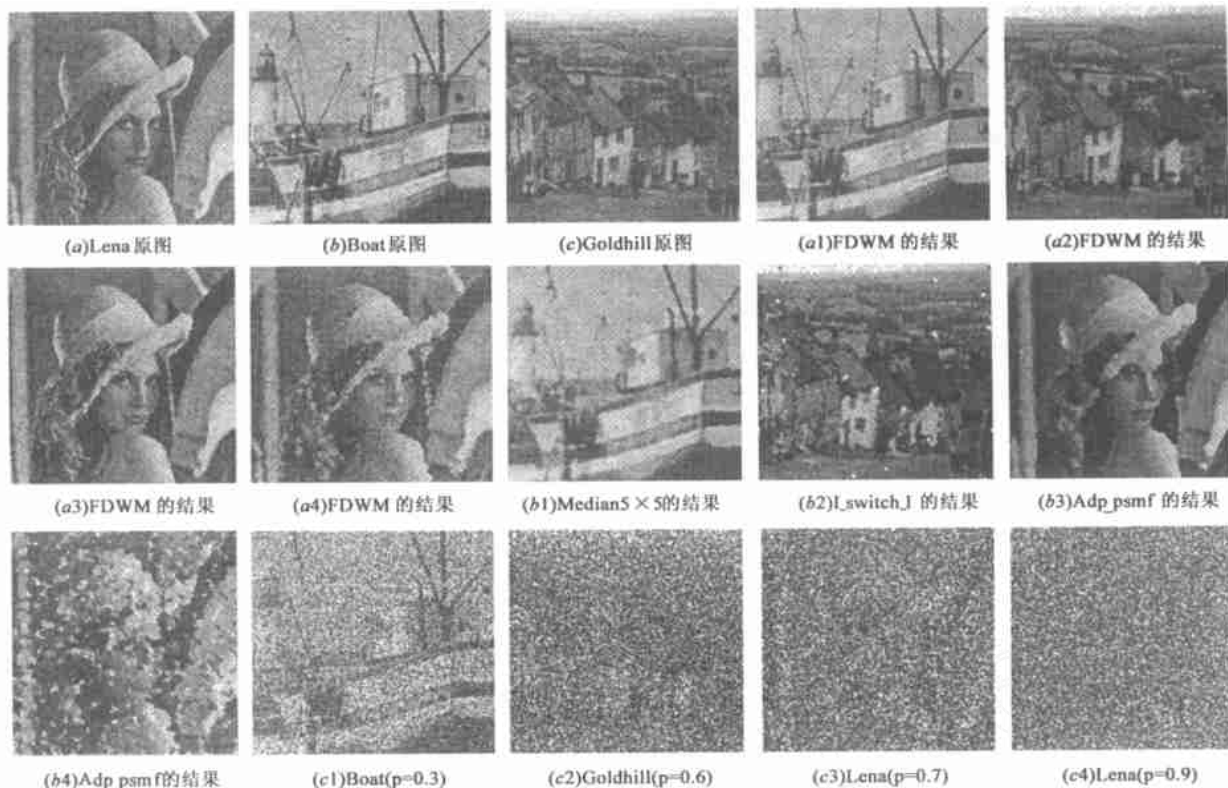


图 12

表 1 Lena256 ×256 灰度图像在噪声率为 40%和 70%下的恢复结果比较

滤波算法	测试项目	40%噪声图像	70%噪声图像
Median(3 ×3)	PSNR(dB)	18.69	9.54
	MSE	878.32	7234.69
Median(5 ×5)	PSNR(dB)	24.54	13.28
	MSE	228.42	3054.67
Sun,Neuvo, Switch. I [2]	PSNR(dB)	18.59	9.49
	MSE	899.38	7315.16
Sun,Neuvo, I. Switch. I [2]	PSNR(dB)	25.31	15.38
	MSE	191.36	1885.94
Wang Z.,Zhang DAdp. psmf [5]	PSNR(dB)	21.23	19.70
	MSE	489.34	697.56
FDWM	PSNR(dB)	27.02	24.48
	MSE	129.17	231.93

根据噪声图像的具体特点, left. overlap (LP), right. overlap (RP) 选择不同的值会得到不同的效果, 图 7、图 8 以及图 9 分别是均方误差随 left. overlap, right. overlap 以及建立隶属函数时的直方图门限  $t$  的变化曲线, 从图 7 和图 8 知, 对于噪声率为 70% 的 Lena, Boat, Goldhill 图像, (LP, RP) 分别取 (70, 20), (80, 10) 和 (70, 80) 附近可以取得最佳效果, 从图 9 中可看出直方图门限的选取也因图像而异, 但在  $t < 60$  时性能都相当平稳. 在本文的实验中, 对于噪声率大于 30% 时, 首先按照第四节的算法进行两次迭代得到的图像作为检测的参考图像, 然后进行检测和去噪.

图 10 和图 11 是当图像的噪声率分别为 30% 和 70% 时所

恢复图像的峰值信噪比随检测门限值  $T_d$  的变化曲线, 从中可知, 其门限值分别取 41 和 37 附近的值时效果最佳.

图 12 中 (a), (b), (c) 分别是 Lena, Boat, Goldhill 256 × 256 的原图像, c1 是噪声率 30% 的 Boat 图像, a1, b1 分别是 FDWM 和 5 × 5 窗口中值滤波对 c1 恢复的图像, c2 是噪声率 60% 的 Goldhill 图像, a2, b2 分别是 FDWM 和 I. switch. I 对 c2 恢复的图像.

c3 是噪声率 70% 的 Lena 图像, a3, b3 分别是 FDWM 和文 [5] 中 Adp. psmf 对 c3 恢复的图像, c4 是噪声率 90% 的 Lena 图像, a4, b4 分别是 FDWM 和 Adp. psmf 对 c4 恢复的图像, a4 检测参考图像是结果 4 次迭代而得.

从以上图表、图像以及表 1 所反映的特性中可以得出如下结论:

- (1) 对于盐椒噪声的消除, FDWM 滤波器具有比目前已知滤波器更好的去噪效果, 尤其是对于噪声率高于 30% 的图像更显出它的优越性;
- (2) FDWM 滤波器对于各种噪声率的图像都有良好的稳定性;
- (3) FDWM 滤波器能够确保好点不受影响, 所以能够较好地保留细节, 图像能保持较好的清晰度.

## 6 结束语

本文设计了新的滤波器——FDWM 滤波器, 并且分析了其原理. FDWM 具有设计简单, 易于硬件实现, 性能稳定, 适合于处理各种噪声率的盐椒噪声图像. 但 FDWM 不能恢复像素

值为 0 或 255 的点,如果原图像中包含很多取值为 0 或 255 的点,FDWM 将导致图像失真,而且 FDWM 不能直接应用于高斯噪声和噪声点在 0 到 255 之间随机取值的图像,直接应用的效果是很差的,必须加以算法改进,对于 FDWM 应用于随机噪声消除的算法改进将另撰文论述.

#### 参考文献:

- [ 1 ] Abreu E. ,Lightstone M. ,Mitra S. K. and Arakawa K. ,A new efficient approach for the removal of impulse noise from highly corrupted images [J]. IEEE Tran.on Image Proc. ,June 1996 ,5 (6) :1012 - 1025.
- [ 2 ] Sun T. and Neuvo Y. ,Detail-preserving median based filters in image processing [J]. Pattern Recognition Letters ,Apr. 1996 ,15 :341 - 347.
- [ 3 ] Wang Z. and Zhang D. ,Restoration of impulse noise corrupted image using long-range correlation [J]. IEEE Signal Processing Letters ,1998 ,5(1) :4 - 6.
- [ 4 ] Zhang D. and Wang Z. ,Impulse noise detection and removal using fuzzy techniques [J]. IEE Electronics Letters ,Feb. 1997 ,33 (5) :378 - 379.
- [ 5 ] Wang Z. and Zhang D. ,Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II:Analog and Digital Signal Processing Jan. 1999 ,46(1) :78 - 80.
- [ 6 ] Lee C. S. ,Kuo Y. H. and Yu P. T. ,Weighted fuzzy mean filters for image processing [J]. Fuzzy Sets and Systems ,1997 ,89:157 - 180.
- [ 7 ] Peng S. and Lucke L. ,Multi-level adaptive fuzzy filter for mixed noise removal [J]. Proc. IEEE Int. Symp. Circuit Syst. ,April 1995 ,2:1524 - 1527.

#### 作者简介:



**杨群生** 1965 年 4 月出生,1987 年毕业于江西赣南师范学院数学系,1997 年获华中理工大学应用数学专业硕士学位,现为华南理工大学通信与信息系统博士研究生. 主要研究方向包括图像处理、神经网络、模糊技术等.



**陈敏** 1980 年 12 月出生,1999 年获华南理工大学通信与信息系统专业学士学位,现为华南理工大学通信与信息系统专业硕士研究生. 主要研究方向包括视频编码与图像处理、神经网络、模糊技术等.

**余英林** 1932 年生,1961 年获中国科学院副博士学位. 现为华南理工大学电子与通信工程系教授、博士生导师. 目前的主要研究方向包括图像与图形处理、神经网络、信号处理、模式识别、模糊技术等.

(上接第 142 页)

- [ 2 ] David Wheeler. Transactions using bets [A]. In security protocols:4<sup>th</sup> International Workshop [C]. M. Lomas (ed) ,Springer-Verlag ,LNCS 1189:89 - 92 ,1996.
- [ 3 ] Paul Syverson. Weakly secret bit commitment :Applications to lotteries and fair exchange [A]. In Proceedings of 1998 IEEE Computer Security Foundations Workshop [C] ,Rockport Massachusetts ;211 - 326 ,June , 1998.
- [ 4 ] Ronald L. Rivest. Electronic lottery tickets as micropayments [A]. In Financial Cryptography: FC '97 [C] , Proceedings , R. Hirschfeld (ed. ) ,Springer-Verlag ,LNCS,1998 ,1318 :307 - 314.

#### 作者简介:



**郑东** 1964 年生于山西翼城县,1999 年获西安电子科技大学密码学博士学位,现在上海交通大学计算机系从事博士后研究工作,研究方向是密码学与信息安全.



**张彤** 1966 年出生,1987 年毕业于西安交通大学自动控制系,1990 年于国防科技大学获工学硕士,现在西安电子科技大学攻读密码学博士学位,主要研究方向是密码学与保密通信.