

直方图加权均值滤波器

杨群生^{1, 2}, 黄继武¹, 康显桂¹, ZHOU Wang³

(11 中山大学电子系, 广州 510275; 21 华南师范大学计算机系, 广州 510631;
31 Lab for Computational Vision, New York University, New York 10003, USA)

摘要: 本文提出了一种适合于消除图像盐椒噪声的滤波器))直方图加权均值(HWM)滤波器.该算法以加权均值滤波器为基础,利用被污染图像的直方图函数作为权值进行加权运算.实验表明,对于噪声率在5%到90%的噪声图像,HWM滤波器具有良好而稳健的去噪效果,当噪声率超过70%时,其优越性更加突出.

关键词: 直方图; 图像处理; 直方图加权均值滤波器

中图分类号: TP911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 037222112 (2004) 071108204

Histogram Weighted Mean Filter for Image Processing

YANG Qunsheng^{1,2}, HUANG Jiwu¹, KANG Xiangui¹, ZHOU Wang³

(11 Dept. of Electronic and Communication Engineering, Sun Yat2Sen Univ, Guangzhou, Guangdong 510275, China;
21 Dept. of Computer Science, South China Normal Univ, Guangzhou, Guangdong 510631, China;
31 Lab for Computational Vision, New York Univ, New York 10003, USA)

Abstract: A new weighted mean filter, histogram weighted mean (HWM) filter, is proposed to restore images corrupted by salt pepper impulse noise. The idea is based on weighted mean filter, which uses the histogram function of the corrupted image as weight. Experimental results demonstrate that the proposed HWM filter is effective and robust for different noise ratio, ranging from 5% to 90%. When noise ratio exceeds 70%, HWM filter gives superior performance compared with other known filters.

Key words: histogram; image processing; histogram weighted mean filter.

1 引言

图像噪声的消除是图像处理中的一个重要内容,已有许多学者进行了深入的研究,并提出了许多有效算法^[1~8].近年来,许多学者提出了高噪声率图像的恢复算法,如文献^[4]提出开关中值滤波(Switch \tilde{N})和迭代开关中值滤波(Switch $\hat{0}$)算法,文献^[5]中提出逐次开关中值(PSM)滤波算法,文献^[6]提出软开关(Softswitching)中值滤波算法,这些都是目前具有代表性的去噪算法,但这些算法对于被噪声污染相当严重(例如超过70%的噪声图像)效果并不理想.文献^[7]引进模糊技术,在图像通信中,利用发送端原图像的直方图作为知识基来建立模糊隶属函数,在接收端进行噪声消除的算法.但在一般情况下,根本不知道原图像是什么,因此该算法不应用于一般情形的图像噪声消除.文献^[8]对该算法进行了改进,提出了FDWM滤波算法,该算法适用于一般情形下的图像噪声消除,但该算法中参数设置比较复杂.

本文提出了一种更为简洁、更容易操作的脉冲噪声消除滤波器))直方图加权均值滤波器.在本文算法中,根据盐椒

噪声图像直方图表现出来的像素的统计特性,结合噪声图像保留的空间信息,将像素点的直方图函数值作为均值滤波的权值.该算法适合于处理盐椒噪声图像,尤其适合处理高噪声率图像,当噪声率超过40%时,HWM的去噪效果明显优于其它算法,甚至对于噪声率大于90%的噪声消除仍然有效.

2 HWM 滤波器

2.1 图像直方图的性质

本文所考虑的噪声类型是盐椒噪声(SaltPepper Impulse Noise).

设图像灰度级为 L , $x_k I [0, L-1]$ 是图像 X 的第 k 个灰度级,则直方图函数可表示为

$$p(x_k) = \frac{n_k}{n}, \quad (1)$$

其中, n_k 为第 k 个灰度级水平的像素数, n 为图像 X 中像素总数.

盐椒噪声图像的特点是噪声点均匀分布于整个图像,即原图像点等概率地被噪声点所取代,而噪声点的像素值大多

取值为最大或最小,这就导致中间值的像素数等概率减少,因此,对于盐椒噪声图像,具有如下性质:

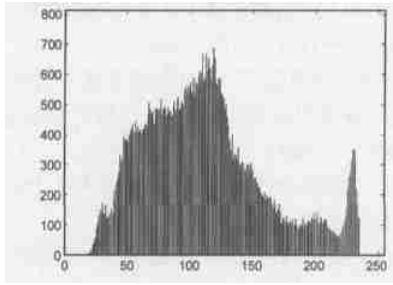


图 1 Goldhill 原图直方图

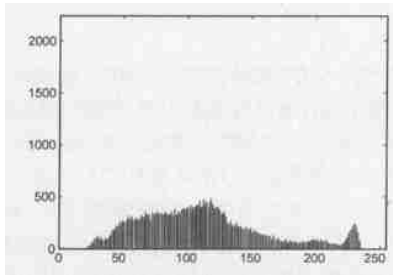


图 2 噪声率为 30% 的 Goldhill 图像直方图

普通图像被盐椒噪声污染后,除两端之外,在各个灰度级其直方图函数与原图像直方图函数的比例基本不变(如图 1、图 2 所示),即盐椒噪声图像的直方图保持了原图像直方图的基本形状.

换言之,盐椒噪声图像包含原图像像素的空间信息,而直方图又反映了图像全局的统计信息.本文利用这些全局信息和空间信息进行图像恢复.HWM 的基本思想就是以 $p(x_k)$ 作为加权均值滤波的权值进行图像恢复.

2.1.2 HWM 滤波算法

设 $X = [x_{i,j}]_{N_1 \times N_2}$ 和 $Y = [y_{i,j}]_{N_1 \times N_2}$, $x_{i,j}, y_{i,j} \in \{0, 1, \dots, L-1\}$, $0 \leq i \leq N_1-1, 0 \leq j \leq N_2-1$ 分别是输入图像和滤波后的输出图像.对某一个点 (i, j) ,以该点为中心的大小为 $(2L_d+1) \times (2L_d+1)$ 的窗口内所有图像点所构成的矩阵为 $X(i, j)$.

记 $HWM(\#)$ 为 HWM 滤波函数,对应 (i, j) 的输出结果设为 $y_{i,j}$:

$$y_{i,j} = HWM(X(i, j)), \quad (2)$$

具体滤波过程如下:

设

$$w(x_{i,j}) = \begin{cases} 0, & \text{if } x_{i,j} \in A \text{ or } x_{i,j} \in B \\ p(x_{i,j}), & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

其中 A 和 B 是可调参数.

如果

$$E_{k=-L_d}^{k=L_d} E_{l=-L_d}^{l=L_d} w(x_{i+k, j+l}) X_{i+k, j+l}, \quad (4)$$

则

$$y_{i,j} = \frac{E_{k=-L_d}^{k=L_d} E_{l=-L_d}^{l=L_d} w(x_{i+k, j+l}) X_{i+k, j+l}}{E_{k=-L_d}^{k=L_d} E_{l=-L_d}^{l=L_d} w(x_{i+k, j+l})}, \quad (5)$$

否则

$$y_{i,j} = x_{i,j}. \quad (6)$$

显然,这是一种加权均值滤波算法,其权值是对应点的直方图函数值.

当噪声率很高时,大量被污染的点容易形成噪声斑,如果只通过一次滤波,就不能完全消除噪声斑.解决这个问题通常有两种方法,第一种方法是高噪声率图像使用较大的滤波窗口,但窗口大容易丢失细节信息,使恢复结果模糊;本文使用第二种方法,即通过迭代滤波方法来解决.在滤波前要估计噪声率 R, 估计公式为:

$$R = 1 - \frac{E_{i=1}^B \frac{1}{A+1} n_i}{n}. \quad (7)$$

输出效果与迭代次数 N 关系密切,由于后一次迭代以前一次恢复结果为基础,所以迭代次数不是越多越好,多了容易引起输出结果模糊.实验表明,大多数图像取得最佳结果的迭代次数为:

$$N = \begin{cases} 1, & 0F R F 0I 4 \\ 2, & 0I 4 F R F 0I 7 \\ 3, & 0I 7 F R F 0I 8 \\ 4, & 0I 8 F R F 0I 9 \\ 6, & 0I 9 F R \end{cases} \quad (8)$$

2.1.3 脉冲检测 HWM 滤波算法

虽然 HWM 滤波器对于噪声率在 5% 到 90% 之间的图像都表现出稳健的去噪效果,并且对于当噪声率超过 40% 时的高噪声率图像,HWM 的滤波效果明显优于其它几种滤波器,但对于噪声率小于 30% 的低噪声率图像,其滤波效果就不如其它算法(如图 3).为改善低噪声率图像的滤波效果,本文采用开关控制策略,在使用 HWM 算法之前,先对图像中的噪声点进行预检测,把图像点分为好点和噪声点两类,最终的噪声

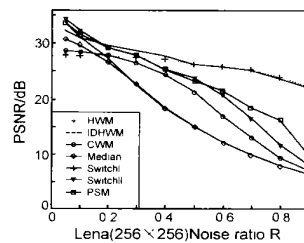


图 3 /Lena 恢复结果的 PSNR 变化曲线

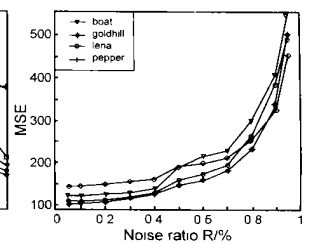


图 4 HWM 滤波结果的 MSE 变化曲线

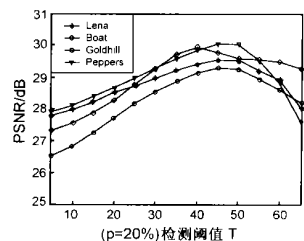


图 5 PSNR 随检测阈值 T 变化曲线图

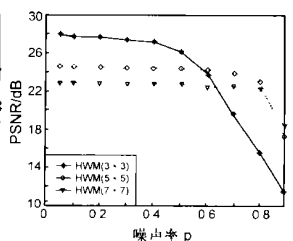


图 6 PSNR 随不同滤波窗口变化曲线图

消除算法仅仅施用于被检测出的噪声点上. 本文提出脉冲检测(Impulse Detection)HWM 算法, 简称 IDHWM 如下:

让 $\underline{xc} = [x_{i,j}]_{N_1 \times N_2}$ 表示待测图像经过 HWM 滤波后的结果, 即

$$x_{i,j} = \text{HWM}(\underline{x}(i, j)), \quad (9)$$

IDHWM 的滤波结果为:

$$y_{i,j} = \begin{cases} \text{HWM}(\underline{x}(i, j)), & \text{if } |x_{i,j} - \underline{xc}_{i,j}| < T \\ x_{i,j}, & \text{else} \end{cases} \quad (10)$$

其中 T 为预先设定的阈值. 由于盐椒噪声取值为最大或最小, 与好的像素值差别较大, 所以 T 的取值一般比较大, 取值范围也比较宽泛, 通常 T 取 35 到 55 之间比较合适. 当 $T = 0$ 时, IDHWM 效果就等同于 HWM.

3 实验结果

实验中处理的是盐椒噪声图像, 测试图像为 256@256 灰度图像, 灰度级 $L = 256$, 取 $L_d = 1$, 即 $3@3$ 的滑动窗口, 参数 $A = 0, B = 255$. 本文将 HWM 和 IDHWM 滤波器和其它几种典型的噪声消除算法进行比较. 包括标准中值滤波(Median)^[1], 中心加权中值滤波(CWM)^[2], 开关 I 中值滤波(Switch I), 迭代开关中值滤波(Switch II)^[4] 以及逐次开关中值滤波(PSM)^[5] 的结果进行比较. 评价准则均为方误差(MSE)和峰值信噪比

(PSNR). 图 3 提供了 Lena0 图像盐椒噪声率从 5% 到 90% 的 PSNR 比较结果. 从图 3 中的 PSNR 变化曲线中可以看出, HWM 滤波器对于噪声率在 5% 到 90% 之间的图像都表现出稳健的去噪效果, 并且对于当噪声率超过 40% 时的高噪声率图像, HWM 滤波器比其它的滤波器效果好得多. 但对于噪声率低于 30% 的低噪声率图像, HWM 的滤波效果不如其它滤波器. IDHWM 滤波器改善了低噪声率图像的滤波效果, 虽然当噪声率低于 20% 时其效果不够理想, 但滤波效果有明显的改善. 当噪声率高于 20% 时, IDHWM 滤波器的效果优于其它滤波器. 图 4 给出了 HWM 滤波器对于几种不同图像滤波后的 MSE 变化曲线, 滤波范围从 5% 到 95%, 测试图像为 / Boat0, / Lena0, / Goldhill0 和 / Pepper0. 图 4 表明了 HWM 滤波器对于不同类型、不同噪声率的图像都有稳健的滤波效果. 图 5 给出了噪声率为 20% 时 PSNR 随检测阈值 T 变化情况, 从图中可以看出, 对大多数图像, 阈值 T 取 35 到 55 之间可以取得比较理想的滤波结果. 图 6 给出了 HWM 的滤波窗口取 $(3@3)$ 、 $(5@5)$ 、 $(7@7)$ 时, 进行一次滤波后 PSNR 曲线的变化图, 从图中可以知道, 当噪声率小于 50% 时, 使用 $(3@3)$ 窗口效果比较好, 当噪声率在 60% 到 80% 之间时, 因为小窗口滤波容易留下噪声斑, 故使用 $(5@5)$ 比较好. 符合图像处理中高噪声率使用大窗口可以取得更好效果的一般规律, 不过由于窗口较大时, 容易丢失细节信息, 所得结果比较模糊, 一般可以使用 $(3@3)$ 窗口进行迭代滤波改善滤波效果. 图 7 给出了测试图像 / Boat0, / Lena0, / Goldhill0 和 / Pepper0 在

几种噪声率情况下的恢复图像, HWM 滤波结果的视觉效果具有显著的提高. 图中之所以选择 PSM 滤波结果作比较, 是因为 PSM 结果是其它几种滤波器中效果最好的图 7.

从上述实验结果中可以得出如下结论:

(1) 对于高噪声率图像, HWM 滤波器表现出比其它几种典型滤波器好得多的滤波性能, 尤其当噪声率超过 70% 时, 其优越的性能更加明显.

(2) HWM 滤波器的性能稳健, 对噪声率从 5% 到 90% 的图像, 都有比较稳健的恢复效果.

(3) IDHWM 明显改善了 HWM 滤波器对低噪声率图像的恢复效果, 提高了 HWM 滤波器的性能.

4 结论

本文提出了一种新的滤波器))) HWM 滤波器, 与其它几种常用滤波器比较, HWM 滤波器具有稳健的滤波效果. 对于高噪声率图像, 尤其是当噪声率超过 70% 时, 其优越的性能更加突出. 另一优点表现在 HWM 算法实际上是一种加权均值计算, 因此它的计算复杂性低, 便于硬件实现. 对于低噪声率图像, 本文引入新的检测算法, 提出了 IDHWM 滤波器, 明显地改进了对于低噪声率图像的滤波效果. 但 HWM 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

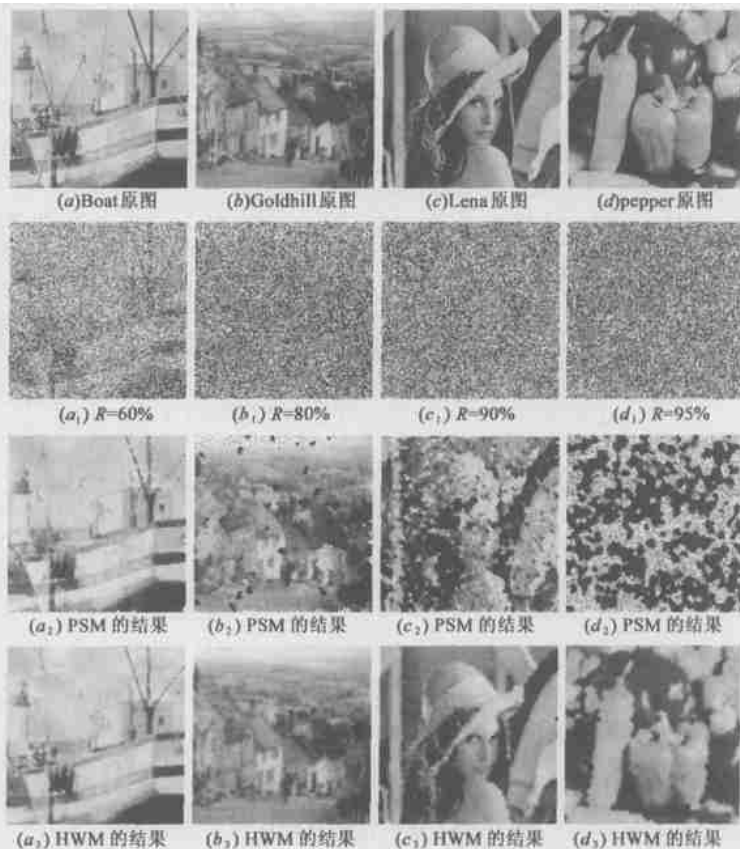


图 7 PSM 和 HWM 滤波器对于不同噪声率图像的恢复结果比较

(a)~(d): 大小为 256@256 的原图像. (a₁)~(d₁): 噪声率分别为 60%, 80% 和 90% 污染的图像. (a₂)~(d₂): PSM 滤波器的恢复结果. (a₃)~(d₃): HWM 滤波器的恢复结果

或255 的像素点, HWM 将导致图像失真. 不过一般图像的像素值为取 0 或 255 附近值的情况比较少见, 因此它适用于绝大部分噪声图像的恢复. 另外 HWM 仅适用于处理盐椒噪声图像, 如何扩展到适用于处理高斯噪声和噪声点在 0 到 255 之间随机取值的图像, 我们将另文探讨.

参考文献:

- [1] Brownrigg D. The weighted median filter[J]. Commun, Assoc, Computer, 1984, (3): 807- 818.
- [2] Ko S J, Lee S J. Center weighted median filters and their application to image enhancement[J]. IEEE Trans, Circuits Syst, 1991, 38(9): 984- 993.
- [3] Lin H, Willson A N. Median filter with adaptive length[J]. IEEE Trans, Circuits Syst, 1988, 35(6): 675- 690.
- [4] Sun T, Neuvo Y. Detailpreserving median based filters in image processing[J]. Pattern Recognition Letters, 1996, (15): 341- 347.
- [5] Wang Z, 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, 1999, 46(1): 78- 80.
- [6] Eng H, Ma K. Noise adaptive softswitching median filter[J]. IEEE Tran, Image Proc, 2001, 10(2): 242- 251.

- [7] Lee C S, Kuo Y H, Yu P T. Weighted fuzzy mean filters for image processing[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997, (89): 157- 180.
- [8] 杨群生, 陈敏, 余英林. 基于模糊技术的图像噪声的消除[J]. 电子学报, 2000, 28(10): 31- 35.

作者简介:



杨群生 男, 1965 年 4 月出生于江西, 1997 年 7 月获华中理工大学应用数学专业硕士学位, 2000 年 7 月获华南理工大学通信与信息系统专业博士学位, 现为中山大学电子与通信工程系博士后. 主要研究方向包括图像处理、神经网络、模糊技术等.



黄继武 男, 1962 年出生于广东揭阳, 博士, 中山大学电子与通信工程系教授、博士生导师, IEEE 高级会员, 5 中国图像图形学报 6 和 5 模式识别与人工智能 6 编委、广东省图像图形学会常务理事, 发表论文 50 多篇, 主要研究方向为图像处理、多媒体信息安全技术.