

图像去噪混合滤波方法

关新平 赵立兴 唐英干

(燕山大学电气工程学院, 秦皇岛 066004)

摘要 传统均值滤波和中值滤波对高斯型噪声和椒盐型噪声有着不同的滤波特性。实际滤波时,由于图像往往会受到两种不同性质噪声的同时干扰,因此,单独采用中值滤波或均值滤波都不会达到最好的去噪效果,为了能同时对两种不同性质的噪声进行滤除,现提出了一种新的混合滤波算法,该算法首先利用局部阈值把受高斯型噪声污染的像素和受脉冲型噪声污染的像素区别开来,然后对受高斯噪声污染的像素采用均值滤波算法,而对受椒盐噪声污染的像素则采用中值滤波算法进行去噪。仿真结果证明,该方法更具有实用性和有效性。

关键词 均值滤波器 中值滤波器 混合滤波器 隶属度函数

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2005)03-0332-06

Mixed Filter for Image Denoising

GUAN Xin-ping, ZHAO Li-xing, TANG Ying-gan

(Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

Abstract The conventional average filter and median filter have different filtering characteristics to Gauss noise and impulse noise. In fact, image usually is corrupted by Gauss noise and impulse noise simultaneously, so good filtering effect cannot be obtained if we only use average filter or median filter. In this paper, a new mixture filter method is proposed. The proposed method first classifies the pixels into two classes, one is the pixels which are corrupted by Gauss noise and the other is the pixels corrupted by impulse noise and then average filter is used for the pixels corrupted by Gauss noise and median filter is used for the pixels corrupted by impulse noise. The simulation result verifies that the proposed method is feasible and efficient.

Keyword average filter, median filter, mixed Filter, membership function

1 引言

众所周知,图像信号在产生、传输和记录过程中,经常会受到各种噪声的干扰,由于其严重地影响了图像的视觉效果,因此,在进一步进行边缘检测、图像分割、特征提取、模式识别等工作之前,采用适当的方法减少噪声是一项非常重要的预处理步骤。目前在噪声的预处理中,均值滤波算法^[1]和中值滤波算法^[2-5]是常用的两种方法。它们对不同的噪声有不同的去噪特性,如均值滤波算法对高斯噪声有较好的去噪能力,而对脉冲噪声的去噪能力却很差;相反,中值滤波算法对脉冲噪声的去噪能力很好,却

对高斯噪声的去噪能力较差。多年来,人们一直致力于单一滤波器的改进,并取得了明显的成果,如文献[6]采用自适应中心加权方法对均值滤波算法进行了改进;文献[7]则采用模糊加权方法对均值滤波算法做了改进;文献[2,4,7,8]利用自适应机制对中值滤波算法进行了改进。文献[4]提出了一种新颖的先去除滤波窗口中最大最小像素值,再进行自适应机制的滤波算法;文献[8]提出了一种首先在4个主要方向求中值,然后利用原始图像与4个子图像的差值产生加权系数之后,再进行合成的自适应方法,但这些方法在最后的评价过程中都是采用单一的噪声进行评价。对实际的图像处理过程而言,由于图像往往会受到两种噪声的同时干扰,因

基金项目:河北省教育厅基金资助项目(2002209)

收稿日期:2004-04-19;改回日期:2004-11-20

第一作者简介:关新平(1963~),男,教授,博士生导师。1999年获哈尔滨工业大学自动控制理论与应用专业博士学位。研究方向为图像分析与理解、鲁棒控制、ATM网络控制。E-mail:changxiangtt@yahoo.com.cn

此,单独采用任何一种滤波器,其去噪效果都不能达到最好。若能找到某种方法将受脉冲噪声和高斯噪声污染的像素区分开,而后对受不同噪声污染的像素采用不同的滤波方法,那么从理论上讲,会得到更好的滤波效果。基于此,本文提出了一种根据图像受不同性质噪声污染将具有不同性质的特点,首先利用局部阈值把像素归类为受高斯噪声污染的像素和受椒盐噪声污染的像素,然后对它们加以区别对待的滤波方法,而且,对实际的图像处理过程来说,由于生产线的专业化,因此所处理的图像类型在某

种程度上也就具有了一定的稳定性,也给本文的研究带来了实用性。

2 均值滤波算法分析

均值滤波算法又叫邻域平均法。这种方法的基本思想是用几个邻域像素灰度的平均值来代替每个像素的灰度值,其邻域的选取通常为以单位距离 Δx 构成的4邻域和以 $\sqrt{2}$ 个单位距离为半径 r 构成的8邻域(如图1圆形区所示)。

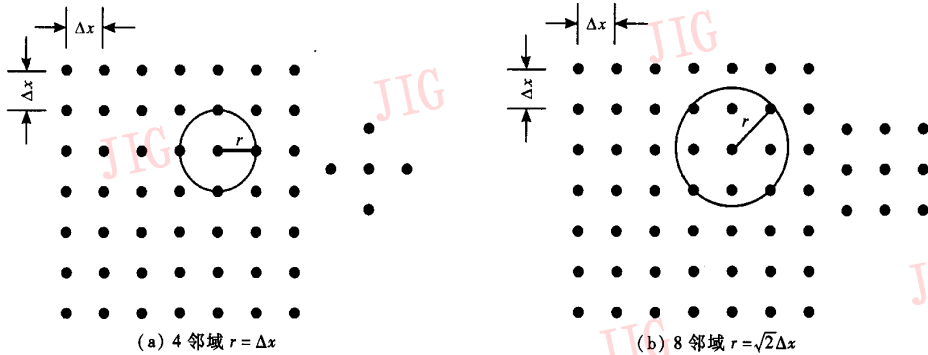


图1 4邻域和8邻域
Fig.1 4-neighbour and 8-neighbour

下面分析它的滤波特性,假设噪声的模型为

$$g(i, j) = f(i, j) + n(i, j) \quad (1)$$

经邻域平滑得到的图像为

$$\begin{aligned} \hat{g}(i, j) &= \frac{1}{M} \sum_{(i, j) \in S} g(i, j) \\ &= \frac{1}{M} \sum_{(i, j) \in S} f(i, j) + \frac{1}{M} \sum_{(i, j) \in S} n(i, j) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, S 为 (i, j) 点的邻域, M 为邻域中的总点数。根据统计分析,第2项中,噪声的方差为

$$D\left(\frac{1}{M} \sum_{(i, j) \in S} n(i, j)\right) = \frac{1}{M^2} \sum_{(i, j) \in S} D(n(i, j)) = \frac{1}{M} \sigma_{\text{noise}}^2 \quad (3)$$

其中, D 表示求噪声方差运算, σ_{noise}^2 为未经邻域平滑前原图像噪声的方差。由于图像经邻域平滑处理后,噪声的方差减少了 M 倍,因此起到了降低噪声平滑图像的作用,但该算法存在如下缺点:①均值滤波算法在平滑图像噪声的同时,必然会模糊图像的细节。由以上噪声方差的分析可知,采用均值算法在缩小图像噪声方差 M 倍的同时,实际上也缩小了由图像细节信号本身建立的模型‘方差’ M 倍,这必然会造成图像细节的模糊。这是均值算法本身存在

的固然缺陷,而且只能改善,不能改变;②采用相同权值进行平滑,算法存在盲目性,而这种盲目性的结果则表现为算法对冲击噪声的敏感性。这样,当采用相同的权值对含有噪声的图像进行均值滤波时,如果被处理区域含有受脉冲噪声污染的像素点,那么这个像素点会在很大程度上影响滤波效果,并且它还会通过此时的均值运算把它的影响扩散到其周围的像素点;③采用相同权值的均值滤波算法没有充分利用像素间的相关性和位置信息。为此,本文采用文献[9]提出的一种新型自适应模糊加权均值滤波算法。文献[9]是运用模糊数学的思想提出了一种基于模糊隶属度^[6]的加权均值滤波器,该算法是利用模糊隶属度函数的概念对均值滤波器的权值进行优化,使其在降低高斯噪声和保持图像细节等方面的能力都有所提高。它的算法如下(以 5×5 的窗口为例):①以窗口中心像素为中心,按 $\mu_{i, j} = e^{-\frac{(x(i, j) - y)^2}{c}}$ ($\mu_{i, j}$ 为滤波窗内与点 (i, j) 对应的权值; y 为该滤波窗口与中心点像素对应的像素灰度值; c 为尺度参数)计算窗口内各个样本点隶属于中心像素的隶属度,并以此为各个样本像素点对应的权值;②对窗口内各像素点加权求和便得到滤

波输出。

3 中值滤波算法分析

中值滤波的基本原理是把数字图像或数字序列中一点数值用该点的某个邻域中所有点的中值代替。设 $\{x(i,j), (i,j) \in I \times I\}$ 表示数字图像各点的灰度值, 滤波窗口为 S 的 2 维中值滤波定义为

$$y(i,j) = \text{med}_S \{x(i,j)\} = \text{med} \{x(i+r, j+s) \mid (r,s) \in S, (i,j) \subset I \times I\} \quad (4)$$

2 维中值滤波的窗口可以取方形、圆形或十字形等。

尽管经典的中值滤波器在平滑脉冲噪声方面非常有效, 同时能较好地保持图像细节, 但是它不管像素点的好坏均一致地应用到整幅图像, 这样必将会破坏许多好的图像细节。为了解决这个问题, 许多研究者提出了很多自适应中值滤波算法^[2,4,7,8]。本文采用文献[8]的自适应中值滤波算法, 其自适应机制是先在一个子窗口的 4 个主要方向(0°、45°、90°、135°)上分别进行中值滤波, 再用原始图像与 4 个子图像的差值产生加权系数, 之后进一步用 4 个子图像加权来合成新图像, 实践证明, 这种滤波算法有较好的细节保护特性和较强的滤噪能力。它的算法如下:

① 在 4 个方向分别进行求中值运算得到 4 个输出 $y_1(i,j)$ 、 $y_2(i,j)$ 、 $y_3(i,j)$ 和 $y_4(i,j)$;

② 将 4 个子图像与原始图像分别进行求差运算, 得到 4 个差值

$$d_1 = |y_1(i,j) - x(i,j)| \quad d_2 = |y_2(i,j) - x(i,j)| \\ d_3 = |y_3(i,j) - x(i,j)| \quad d_4 = |y_4(i,j) - x(i,j)|$$

③ 根据这 4 个差值计算出 4 个方向上的各点对中心点贡献的大小, 即求出各个方向的权重 $w_t (t=1,2,3,4)$, 其计算公式为

$$w_t = \frac{1/d_t}{1/d_1 + 1/d_2 + 1/d_3 + 1/d_4} \quad (5)$$

④ 计算滤波后中心像素点的最终结果为 $y(i,j) = \sum_{i=1}^4 w_t y_t$ 。

4 噪声点分离规则

本文采取设定阈值 T_1 、 T_2 的方法来消除噪声。设 $x(i,j)$ 为图像 (i,j) 点的像素值, 则该像素普通意义上的中值输出为 $m(i,j)$ 。定义 $l(i,j) = |x(i,j) -$

$m(i,j)|$, 也就是 $x(i,j)$ 和中值输出 $m(i,j)$ 之间的绝对差值。 $p_1(i,j)$ 和 $p_2(i,j)$ 为在所取邻域中和 $x(i,j)$ 最接近的两个点, 令 $a = |p_1(i,j) - x(i,j)|$, $b = |p_2(i,j) - x(i,j)|$, $v(i,j) = (a+b)/2$ 。

则, 去噪规则如下:

(1) 如果 $l(i,j) \geq T_1$, 且 $v(i,j) \geq T_2$, 采用中值滤波算法;

(2) 如果 $l(i,j) \geq T_1$, 且 $v(i,j) < T_2$, 采用均值滤波算法;

(3) 如果 $l(i,j) < T_1$, 采用均值滤波算法。

阈值 T_1 的选取采用文献[6]中的改进 MAD 算法, 本文选取 $T_1 = 2 \times \hat{\sigma}_k$ 。其中, $\hat{\sigma}_k = 1.75 \times N_k$, $N_k = \text{med} \{|\hat{n}_i|, i \in S_k\}$, S_k 如图 2 所示。阈值 T_2 的选取主要是针对图像的纹理中出现类似只有一个像素宽的直线、圆、三角形等‘单像素’的细微纹理情形, 例如, 当图像中出现一条只有一个像素列宽的直线时, 如果只用 $l(i,j)$ 判断, 且此时的 $l(i,j)$ 值足够大, 则采用中值滤波算法, 但实际情形是此时并没有椒盐噪声存在, 这就产生了判断错误(见图 3(b))。如果同时应用 $l(i,j)$ 和 $v(i,j)$, 则会得到如规则 2 的结果, 见图 3(c)。 T_2 值根据经验选取, 一般为 6~10 之间的整数, 在本文的算法中取 $T_2 = 10$ 。针对此情形, 在仿真实验中, 以图 3(a) 为例进行了仿真, 结果见表 1。

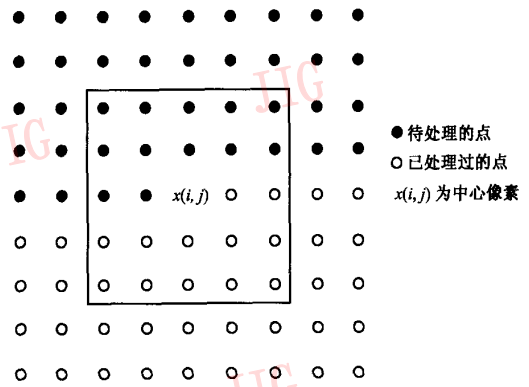


图 2 S_k (以第 k 个像素 $x(i,j)$ 为中心的 5×5 滑动窗口)

Fig. 2 S_k (5×5 Sliding window around the center pixel $x(i,j)$)

为了检验算法的滤波效果, 可以通过比较各种滤波算法的信噪比改善因子 R 来评价, 其定义为

$$R = 10 \log \frac{\frac{1}{KL} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L (y(i,j) - s(i,j))^2}{\frac{1}{KL} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L (x(i,j) - s(i,j))^2} \quad (6)$$



图 3 改进的样本不同处理方法的滤波结果

Fig. 3 Filtered outputs of the improved noise image of Lena

注:图 3(a)为引入‘单像素’细微纹理(如图中直线所示)的改进样本

表 1 图 3 的仿真结果

Tab. 1 Experimental results of the Fig. 3

高斯噪声 方差	椒盐噪声 比例	信噪比改善因子 R (dB)	
		只应用 $l(i,j)$ 的 混合算法	同时应用 $l(i,j)$ 和 $v(i,j)$ 的混合算法
0.01	0.01	-6.8176	-6.8847

式中, K, L 分别是图像的长度和宽度; $y(i, j)$ 是滤波输出; $s(i, j)$ 是标准图像; $x(i, j)$ 是输入图像。为了验证本文滤波算法的去噪质量, 采用 Lena 图像进行了不同算法滤波结果的对比实验, 若 R 是负值, 则说明滤波后噪声被抑制; R 越低, 说明滤波效果越好。

5 实验与结果分析

在进行不同滤波算法去噪效果对比实验之前, 首先比较了两类不同性质的噪声, 采用两种不同滤波方法的滤波特性, 结果如表 2、表 3 所示。从对比结果可以看出, 均值滤波算法对高斯噪声敏感, 其去噪能力比中值滤波算法好, 而中值滤波算法对椒盐噪声的去噪能力则要比均值滤波算法强很多。根据这两种滤波算法的特性, 本文提出了混合的滤波算法, 其目的就是为了在滤除噪声时, 既能发挥均值运算对高斯型噪声具有的良好去噪能力, 又能发挥中值运算对脉冲型噪声具有的良好抑制能力。为了检验本文所提算法的有效性, 本文对 Lena 灰度图像分别加入方差为 0.008、0.009、0.01 的高斯白噪声和比例数为 0.01 的椒盐噪声, 其信噪比改善因子如表 4 所示。由表 4 可以看出, 对受混合噪声同时污染的图像, 本文提出的混合滤波算法比改善的均值滤波算法和中值滤波算法的滤波效果都要好, 这就证明了本文所提算法的有效性。图 4(a)、(b) 为本

表 2 不同方差的高斯噪声两种滤波算法
信噪比改善因子比较

Tab. 2 Compare of R of FWA and AMF image of
Lena corrupted only by gauss noise

高斯白噪声方差	信噪比改善因子 R (dB)	
	模糊加权均值 滤波算法 ^[9]	自适应中值 滤波算法 ^[8]
0.01	-5.6218	-4.9174
0.009	-5.5835	-4.8033
0.008	-5.0976	-4.6379
0.007	-4.6171	-4.4476
0.006	-4.0279	-4.2487

文所用的样本图像和加上噪声以后的图像; 图 4(c) ~ 图 4(g) 为 Lena 图像同时受方差为 0.01 的高斯白噪声和比例数为 0.01 的椒盐噪声污染时, 各种滤波算法的滤波结果。表 1 给出了当图像中含有‘单像素’纹理时, 应用 $v(i, j)$ 和没有应用 $v(i, j)$ 时的信噪比改善因子, 从实验结果可以看出, $v(i, j)$ 确实起到了提高信噪比改善因子的作用。图 3(a) 为改进样本, 其中的直线是本文引入的‘单像素’纹理, 图 3(b)、图 3(c) 为只应用 $l(i, j)$ 和同时应用 $l(i, j)$ 和 $v(i, j)$ 时的滤波结果, 从图 3(c) 可以明显看出, $v(i, j)$ 的引入确实起到了保护图像细节的效果。表 5 数据表明, 在 $T_1 = 3.5 \times N_k$ 时, 可以得到最好的滤波效果。表 6 中, 当 $T_2 = 0$ 时, 由于 $v(i, j)$ 太敏感, 因此只要 $l(i, j) \geq T_1$ 就先采用中值滤波算法把‘单像素’细微纹理直线归为椒盐噪声; 当 $T_2 = 100$ 时, $v(i, j)$ 则太迟钝, 即使含有‘单像素’细微纹理, 由于要求的反差太大, 也不能正确处理, 所以 T_2 的选取一般凭经验选取。由以上结果可以看出, 本文提出的混合滤波算法比其他的任何一个算法的滤波效果都好。

表 3 不同噪声比例的脉冲噪声两种滤波算法信噪比改善因子比较

Tab. 3 Compare of R of FWA and AMF image of lena corrupted only by salt and pepper

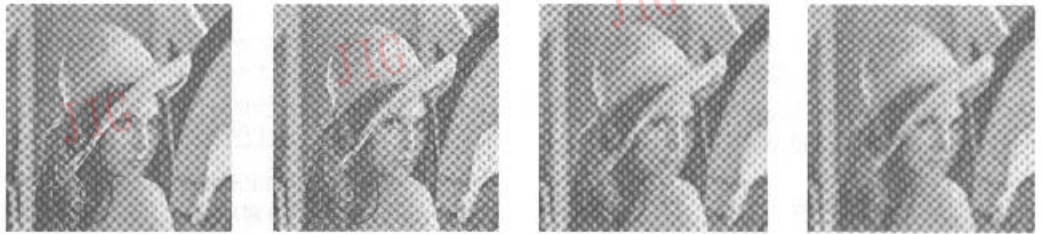
椒盐噪声比例	信噪比改善因子 R (dB)		椒盐噪声比例	信噪比改善因子 R (dB)	
	模糊加权均值滤波算法 ^[9]	自适应中值滤波算法 ^[8]		模糊加权均值滤波算法 ^[9]	自适应中值滤波算法 ^[8]
0.006	0.7020	-5.5913	0.01	-1.2235	-7.2931
0.007	0.2427	-6.3055	0.011	-1.3551	-8.0428
0.008	-0.2177	-6.5938	0.012	-1.6772	-8.2493
0.009	-0.6601	-7.1198	0.013	-2.1315	-8.7668

表 4 混合噪声各种滤波算法信噪比改善因子比较

Tab. 4 Compare of R of CAF/CMF/FWA/AMF/MF

噪声类型		信噪比改善因子 R (dB)				
高斯噪声方差	椒盐噪声比例	传统均值滤波算法	传统中值滤波算法	模糊加权均值滤波算法 ^[8]	自适应中值滤波算法 ^[9]	混合滤波算法
0.008	0.01	-5.4334	-6.0250	-6.3711	-5.9755	-6.3826
0.009	0.01	-5.8116	-6.0880	-6.5636	-5.8859	-6.7965
0.01	0.01	-6.1383	-6.1336	-6.8660	-5.9424	-6.9843

注: CAF: conventional average filter (传统均值滤波器); CMF: conventional median filter (传统中值滤波器); FWA: fuzzy weighted average filter (模糊加权均值滤波器); AMF: adaptive median filter (自适应中值滤波器); MF: mixed filter (混合滤波器)



(a) 样本图像 (b) 加噪图像 (c) 传统中值算法的滤波结果 (d) 传统均值算法的滤波结果



(e) 模糊加权均值算法的滤波结果 (f) 自适应中值算法的滤波结果 (g) 混合滤波算法的滤波结果

图 4 加噪 Lena 图像各种不同滤波算法的滤波结果

Fig. 4 Filtered outputs of the noise image of Lena

表 5 不同 T_1 时改善因子 R 的值

Tab. 5 Results of R with different T_1

阈值 T_1	$3.0 \times M_k$	$3.2 \times M_k$	$3.5 \times M_k$	$3.7 \times M_k$	$4.0 \times M_k$
信噪比改善因子 R (dB)	-6.8752	-6.9192	-6.9843	-6.9196	-6.9040

表 6 不同 T_2 时改善因子 R 的值

Tab. 6 Results of R with different T_2

阈值 T_2	0	6	8	10	100
信噪比改善因子 R (dB)	-6.8176	-6.8805	-6.8843	-6.8847	-6.7019

6 结 论

在本文提出的方法中,主要考虑了当图像同时受到高斯噪声和椒盐噪声污染时,由于均值滤波和中值滤波算法本身的局限性,使得此时采用任何一种滤波算法去噪效果都不会最好,因此,本文提出一种利用受椒盐噪声污染的像素一般它的像素值要比纯受高斯噪声污染的像素值大的特点来把样本中两种像素区别对待,并对不同性质的像素采取不同的去噪方法,这样既保持了均值滤波算法对高斯噪声有良好去噪能力的特性,又兼顾了中值滤波算法对图像细节有良好保持特性的优点,从而使得本文提出的方法更有实用性。

参考文献 (References)

- 1 Shu Zhi-long, Ruan Qiu-qi. A fast algorithm and its application of 2D mean value filter[J]. Journal of Northern Jiaotong University, 2001, 25(2):22~24. [舒志龙,阮秋琦. 一种二维均值滤波快速算法及其应用[J]. 北方交通大学学报, 2001, 25(2):22~24.]
- 2 Liu Xing-wei, Yin Guo-fu, Luo Xiaobin, et al. A new style adaptive median filter algorithm for engineering drawing [J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(5):403~405. [刘兴伟,殷国富,罗小宾等. 工程扫描图的一种新型的自适应中值滤波算法[J]. 中国机械工程, 2002, 13(5):403~405.]
- 3 Pitas I, Venetsanopoulos A N. Nonlinear digital filters: Principles and applications[M]. Kluwer Academic Publishers, January 1990. (ISBN-0-7923-9049-0), also reprinted in Taiwan of China, 1993: 416.
- 4 Li Shu-tao, Wang Yao-nan. Non-linear adaptive removal of salt and pepper noise from images[J]. Journal of Image and Graphics, 2000, 5A(12):999~1001. [李树涛,王耀南. 图像椒盐噪声的非线性自适应滤除[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5A(12):999~1001.]
- 5 Lee Y H. Generalized median filtering and related nonlinear filtering technique[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1985, 33(3):672~683.
- 6 Zhang Yu, Wang Xiqin. Adaptive center weighted modified trimmed mean filter [J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 1999, 39(9):76~78. [张宇,王希勤. 自适应中心加权的改进均值滤波算法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1999, 39(9):76~78.]
- 7 Kaoru Arakawa. Median filter based on fuzzy rules and its application to image restoration[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 77:3~13.
- 8 Wang Zhang-wei, Zheng Chang-qiong, Wang Jing-xi, et al. Application of a new self-adaptive median filter in medical ultrasonic images processing[J]. Journal of SiChuan University (Engineering Science edition), 2000, 32(5):92~95. [王章伟,郑昌琼,王景照等. 一种新型自适应中值滤波其在超声医学图像中的应用[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2000, 32(5):92~95.]
- 9 Hu Hao, Wang Ming-zhao, Yang Jie. Adaptive fuzzy weighted mean filter[J]. System Engineering and Electronics, 2002, 24(2):15~17. [胡浩,王明照,杨杰. 自适应模糊加权均值滤波器[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(2):15~17.]