

基于高概率椒盐噪声的模糊滤波器 在图像恢复中的算法设计

王贵君, 杨永强

(天津师范大学数学科学学院, 天津 300387)

摘 要: 高概率椒盐噪声对数字图像的重度污染大量存在, 如要消除信息少且噪点集中的噪声存在诸多困难; 而低概率椒盐噪声对数字图像的轻度污染虽然可完全滤除, 但在实际图像恢复中又缺少普遍意义. 本文基于灰度值空间的模糊划分和描述灰度水平的模糊数, 采用极值法对高概率噪声实施检测并建立恰当滤波窗口, 应用广义重心去模糊化法和非噪声点对应的隶属函数设计一种新模糊滤波器. 最后, 通过仿真实例获得该滤波器可有效地过滤数字图像中高概率椒盐噪声, 并说明它的去噪性能优于其他常见滤波器.

关键词: 高概率椒盐噪声; 模糊划分; 恰当滤波窗口; 模糊滤波器; 图像恢复

中图分类号: TP183, O159 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2015)01-0024-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2015.01.005

Algorithm Design of Fuzzy Filter Based on Salt-and-Pepper Noise with High Probability in Image Restoration

WANG Gui-jun, YANG Yong-qiang

(School of Mathematics Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract: Severe pollution of salt-and-pepper noise with high probability in digital images is widespread, such as to eliminate less information and noisy noise has many difficulties. Although light pollution of salt-and-pepper noise with low probability in digital images can be completely removed, it lacks of universal sense in actual image restoration. In this paper, aimed at the fuzzy partition in the gray-value spaces and fuzzy numbers describing the gray-value level, the extreme value method is used to conduct the noise with the high probability test and establish the suitable filtering window. And then, applying the defuzzification method of center of generalized gravity and the membership functions corresponding to the non-noise points to design a kind of new filter. Finally, we obtain that the filter can effectively filter the salt and pepper noise with high probability in digital images by simulation example, and its denoising performance is superior to other common filters.

Key words: salt-and-pepper noise with high probability; fuzzy partition; suitable filtering window; fuzzy filter; image restoration

1 引言

一般图像在形成、传输和处理等过程中会产生噪声,从而使图像质量下降,而椒盐噪声是降低图像质量的主要因素之一.由于椒盐噪声主要为亮点和暗点噪声,其灰度值与邻域内其他像素点会有明显的不同,故椒盐噪声的滤除效果直接影响到图像后续的处理,例如:图像压缩和图像分割等.此外,一般线性滤波器在处理椒盐噪声中效果并不佳,而非线性滤波器在滤除噪声和保留图像细节方面会有更好的效果,但作为一种非线

性滤波方法,传统的中值滤波器(MF)是较为适合滤除椒盐噪声的方法之一.然而,一般中值滤波器可以有效地滤除数字图像中的低概率椒盐(噪声概率 $\leq 50\%$)噪声,但实际上,若图像受到高概率(噪声概率 $> 50\%$)椒盐噪声污染时,其滤波性能会急剧下降,效果也大幅减退.究其主要原因是由于高概率噪声图像中有效信息较少且噪声点分布较密集等.因此,如何更好地将高概率椒盐噪声滤除是一个重要课题,一些学者曾提出许多相应的改进算法,例如,自适应中值滤波器,均值滤波器,模糊均值滤波器等,但其效果并不令人满意.

自 2002 年来,刘普寅和李洪兴教授^[1-3]通过引入灰度空间的模糊划分,建立了选择型 FNN(模糊神经网络),并与推理型 FNN 有机结合设计了一种 FNN 滤波器(FNNF).该滤波器在高概率椒盐噪声的图像处理中虽比中值滤波器(MF)和自适应加权模糊均值(AWFM)滤波器有较好的效果,但其实际去噪能力并不是很强,更不能完全消除噪声及其重度污染,从而造成图像中仍有大量黑斑存在的现象.2007 年,文献[4]根据开关滤波器理论和极值剪切法来估计噪声密度,利用相似度函数和自适应加权(SFF)算法对图像实施滤波.实验表明,该 SFF 算法尽管可以完全消除噪声,但在图像边缘处总会呈现较明显的锯齿状条纹.2010 年,文献[5]仍通过开关滤波器对椒盐噪声进行分级检测,提出了一种自适应开关加权均值(ASWM)滤波器,该滤波器虽然对高噪声概率去噪有效,但其图像边界轮廓模糊现象并没有获得处理.2011 年,文献[6,7]针对高密度椒盐噪声给出了消除算法和自适应中值滤波算法,2012 年,文献[8~11]采用 T-S 模糊方法对椒盐噪声的开关设计了模糊滤波器(SF),一定程度上消除滤波窗口中心的噪声,进而利用梯度信息定义图像噪声点的模糊隶属函数,并对 MF 进行加权得到模糊中值滤波器(FMF).此外,通过迭代方式利用图像中有用信息并提出迭代滤波器,但对于高椒盐噪声的情况采用 3×3 固定邻域,会将错误信息扩散影响最终结果^[12].这些滤波器的诸多不足促使我们必须另外去寻求更佳优化滤波器.

本文在文献[2,3]的基础上,通过在灰度值空间上引入模糊划分和模糊数的概念,进而对高概率噪声检测建立恰当滤波窗口,并利用广义重心去模糊化和非噪声点对应的隶属函数设计一种新模糊滤波器及算法.实验表明,该滤波器可有效地处理数字图像中高概率椒盐噪声,而且性能优良.

2 模糊划分

为了利用自然语言的模糊性来刻画数字图像,进而有效地过滤图像中产生的高概率椒盐噪声,我们采用模糊集的隶属函数来描述图像的灰度水平,其目的是获得一种高效优化的新模糊滤波器.现对给定闭区间 $[a, b]$ 首先实施模糊划分,并记 $F_0(\mathbf{R})$ 表示实数 \mathbf{R} 上全体普通模糊数构成的集合.

定义 1^[2,3] 给定一组模糊数 $\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_n \in F_0(\mathbf{R})$,若存在 $d \in \mathbf{R}^+$,使 $\forall t \in [a, b]$,满足 $\sum_{i=1}^n \tilde{X}_i(t) \leq d$,则称 $\{\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_n\}$ 为 $[a, b]$ 的一个弱模糊划分.特别地,若 $\forall t \in [a, b]$,恒满足 $\sum_{i=1}^n \tilde{X}_i(t) = 1$,则称模糊数组 $\{\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_n\}$ 为 $[a, b]$ 的一个模糊划分.

通常情况下,由于图像中像素点灰度值的取值范

围是 $0 \sim 255$.故为方便起见,我们不妨设平面图像 $F = \{F(t_1, t_2), -a \leq t_1, t_2 \leq a\}$ 的灰度水平取值于闭区间 $[0, 255]$,即 $\forall (t_1, t_2) \in [-a, a]^2$,其灰度值 $F(t_1, t_2) \in [0, 255]$.为此,将灰度值闭区间 $[0, 255]$ 按定义 1 进行模糊划分,这样,该图像的灰度值即可视为模糊现象,当然可用自然语言,如“深黑”、“浅黑”、“微黑”、“适中”、“微亮”、“较亮”、“明亮”等来描述,如图 1 所示.

事实上,为了建立用于恢复噪声图像的模糊推理规则,我们可将像素 (t_1, t_2) 的灰度值模糊化,即,如图 1 所定义的梯形模糊数.

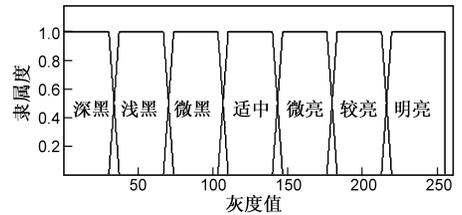


图 1 $K=k_0=7$ 时梯形灰度模糊集

此外,为了用模糊集(数)来刻画数字图像的灰度水平,我们将对闭区间 $[0, 255]$ 实施模糊划分,进而采用梯形模糊数去刻画图像的灰度水平.

设 K 是 $0 \sim 255$ 数字之间可调节的自然数,亦即, $0 < K < 255$,并将灰度值区间 $[0, 255]$ 实施 K 等分.记 $h = 255/K$,适当选取自然数 k_0 使 $k_0 \leq K$,而平面图像 F 的灰度水平可以用 k_0 个模糊集所刻画的自然语言来描述.令 $I_k = [(k-1)h, kh]$ ($k = 1, 2, \dots, K$),现针对 $\forall x \in [0, 255]$,我们通过定义梯形模糊数的隶属函数来描述图像的灰度水平如下,令

$$\tilde{G}_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq h-1 \\ \frac{h+1-x}{2}, & h-1 < x \leq h+1 \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$$\tilde{G}_{k_0}(x) = \begin{cases} \frac{x-254+h}{2}, & 254-h \leq x \leq 256-h \\ 1, & 256-h < x \leq 255 \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

特别当 $k = 2, 3, \dots, k_0 - 1$ 时,假设其核 $\text{Ker}(\tilde{G}_{k-1}) \subset I_{k_1}$,且 $\text{Ker}(\tilde{G}_k) \subset I_{k_2}, \text{Ker}(\tilde{G}_{k+1}) \subset I_{k_3}$.我们取

$$\tilde{G}_k(x) = \begin{cases} \frac{x-k_1h+1}{(k_2-k_1-1)h+2}, & k_1h-1 \leq x \leq (k_2-1)h+1 \\ 1, & (k_2-1)h+1 < x \leq k_2h-1 \\ \frac{(k_3-1)h+1-x}{(k_3-k_2-1)h+2}, & kh-1 < x \leq (k_3-1)h+1 \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (2)$$

按定义 1 中模糊划分思想,在灰度值区间 $[0, 255]$

上不难构造出上述描述灰度水平的一族模糊数,这为后文设计新的模糊滤波器及其算法提供了必要准备.

3 模糊滤波器的设计

3.1 极值法噪声检测

通常情况下,图像在传输过程中会受到椒盐噪声的污染,一般会造成图像质量下降.最常见的滤波方法是一种传统的非线性中值滤波,它是对所有像素点做相同的处理,从而导致没被噪声污染图像的像素点也被过滤掉,从而造成了图像边缘细节的模糊,这无疑是中值滤波的缺陷.然而,极值滤波法在去除椒盐噪声时虽然也存在不足,但其检测噪声点却颇显优势,这是因当图像受到椒盐噪声污染,通常在图像显示时,噪声点会随机分布地表现为黑色(胡椒)或白色(盐粒),而且出现概率相等,其灰度值为极小值或极大值.一般地,在8-bit的灰度图像中,椒盐噪声的灰度值为0或255.

设平面图像 F 尺寸为 $N \times N$,其噪声概率为 p_0 ,而 $f(i, j), g(i, j)$ 分别为原始图像和噪声图像的灰度值函数^[10,12].

现依据椒盐噪声特点,选取噪声图像的灰度值函数的数学模型为

$$g(i, j) = \begin{cases} 0, & p(0) = p_0/2 \\ 255, & p(255) = p_0/2 \\ f(i, j), & p(f(i, j)) = 1 - p_0 \end{cases}$$

其中 $i, j = 1, 2, \dots, N, p(f(i, j))$ 表示当像素点 (i, j) 的灰度值为 $f(i, j)$ 时,该点受到噪声污染的概率.

从上述模型明显可看出,图像中共有 $N^2 \times p_0$ 个椒盐噪声点,而且受污染的像素点 (i, j) 的灰度值 $g(i, j)$ 与其相邻像素点的灰度值互不影响.因此,基于这一思想,本文采用极值法检测椒盐噪声的策略,即,若某个像素点 (i, j) 的灰度值 $f(i, j)$ 为0或255,则可认为该像素点可能为椒盐噪声,并对检测出的噪声点进行滤除,而非噪声点直接保留即可.

3.2 模糊滤波器

一般图像在受到高概率椒盐噪声污染时,其椒盐噪声点通常会成片状紧密地聚集在某个区域中,甚至某些噪声点周围在很大邻域内也全部是噪声点.换言之,当高噪声概率大于50%时,若以像素点 (i, j) 作为其 3×3 的邻域,则在该邻域内周围的8个像素点中,必存在4或4个以上的椒盐噪声点^[13].因此,如何尽量利用图像中少量有用信息去逼近其真实信息,如何防止噪声点进一步集结和传播,这些问题应是有效滤除高概率椒盐噪声的关键.

事实上,图像在一点的灰度值可以表示为一个局部邻域中所建立的模糊推理网络的输入输出关系.为

此,可事先取定一个可以在整个2-D图像平面上移动的滑动窗口,然后通过滑动窗口中的灰度值建立合适的模糊推理规则.因此,对于高概率椒盐噪声污染而言,若采用较小邻域作为滤波窗口,则在窗口内可能完全不存在非噪声点,而且会将噪声扩散;若为获取更多的有用信息将滤波窗口扩大,则会在滤波窗口中引入离中心像素较远的非噪声点,从而导致出现新的误差,造成滤波图像模糊不清.为避免上述一些缺陷,通常对极值法检测出的每个噪声点建立恰当滤波窗口,以便在窗口内找到非噪声点的同时,又不会引入新的偏差.

下面,在灰度区间 $[0, 255]$ 上依据模糊划分的思想构造一族描述灰度水平的模糊数.为了充分利用滤波窗口内的有用信息去描述噪声点的灰度值,将窗口内非噪声点对应到这族模糊数中,采用重心去模糊化法进行滤波输出,并具体求出其相应的函数值.此外,选取恰当滤波窗口尺寸的基本原则是迭代扩大窗口直到窗口中包含非噪声点为止.

设平面图像 F 的大小为 $N \times N$,其椒盐噪声概率为 p_0 ,以像素点 (i, j) 为中心建立大小为 $n \times n$ (n 为奇自然数)滤波窗口 w_{ij} ,其中 $i, j = 1, 2, \dots, N$.记像素点 (i, j) 在原始图像中的灰度值为 $f(i, j)$,在噪声图像中的灰度值为 $g(i, j)$.一般地, 3×3 (边心距为1)滤波窗口如图2所示.

$g(i-1, j-1)$	$g(i-1, j)$	$g(i-1, j+1)$
$g(i, j-1)$	$g(i, j)$	$g(i, j+1)$
$g(i+1, j-1)$	$g(i+1, j)$	$g(i+1, j+1)$

图2 3×3 滤波窗口

此外,在平面图像 F 中为了使过滤出的像素点灰度值更加逼近其真实信息,本文采用极值法检测噪声,并对其建立恰当滤波窗口,按照模糊划分的思想,利用重心去模糊化法和非噪声点所对应的隶属函数设计了如下模糊滤波器.首先,采用极值法检测图像所受到的椒盐噪声,从而将像素点分为两类:一类是噪声点,另一类是非噪声点.为了减少其算法的复杂程度,我们只对噪声点进行滤除,而对非噪声点不再进行过滤,并直接保留其灰度值即可.其次,为使程序运行快捷、实现方便,在滤波过程中先以每个噪声点为中心建立 3×3 滤波窗口(按照边心距为1设计),并在窗口内周围的其他像素点中寻找是否还存在非噪声点,若存在,则采用 3×3 滤波窗口即可;若不存在,则扩大为 5×5 滤波窗口(边心距为2),进而继续去寻找窗口内的非噪声点,

反复进行直至找到窗口内的所有非噪声点为止. 此时, 滤波窗口不再被扩大, 继而再对每个噪声点创建恰当的滤波窗口.

3.3 算法设计

为了将模糊滤波器在图像恢复中设计算法, 约定当 m -bit 平面图像 $F = \{F(t_1, t_2), -a \leq t_1, t_2 \leq a\}$ 中像素灰度值差不超过 2^{m-4} 时不会改变其视觉变化. 为此, 我们设计一种新模糊滤波器及其算法如下:

第一步 将灰度值区间 $[0, 255]$ 进行 2^{m-4} 等分, 这里, 记灰度值区间

$$I_k = \left[\frac{255(k-1)}{2^{m-4}}, \frac{255k}{2^{m-4}} \right], k = 1, 2, 2^2, \dots, 2^{m-4}$$

第二步 应用式(1)和(2)定义梯形模糊数族 \tilde{G}_k , 进而决定 $[0, 255]$ 的模糊划分.

第三步 令噪声点数 $P_{\text{Noise}} = 0, \forall i, j = 1, 2, \dots, N$, 判断噪声图像灰度值 $g(i, j)$ 是否为 0 或 255? 若不是, 则该像素点即为非噪声点, 此时, 令最终输出 $u(i, j) = g(i, j)$; 若是, 则认为该像素点是噪声点, 且 $P_{\text{Noise}} = P_{\text{Noise}} + 1$, 转入下一步.

第四步 $\forall i, j = 1, 2, \dots, N \times p_0$, 以噪声点 (i, j) 为中心建立 $n \times n$ (n 为奇数) 的滤波窗口 w_{ij} , 一般情况下 n 通常取 3(或 5).

第五步 遍历 w_{ij} 内周围其他像素点, 判断是否存在非噪声点? 若存在, 记其所对应的模糊数为 \tilde{G}_{k_0} (其中 $k_0 \in \{1, 2, \dots, k\}$); 若不存在, 则扩大 w_{ij} 的大小, 例如可令 $n = n + 2$, 转入第四步.

第六步 设恰当滤波窗口 w_{ij} 的大小为 $n' \times n'$, $\forall i, j = 1, 2, \dots, N$, 根据广义重心去模糊化法^[1-3, 12], 计算最终输出 $u(i, j)$ 为

$$u(i, j) = \frac{\sum_{h=-\frac{n'-1}{2}}^{\frac{n'-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n'-1}{2}}^{\frac{n'-1}{2}} g(i+h, j+l) \tilde{G}_{k_0}(g(i+h, j+l))}{\sum_{h=-\frac{n'-1}{2}}^{\frac{n'-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n'-1}{2}}^{\frac{n'-1}{2}} \tilde{G}_{k_0}(g(i+h, j+l))}$$

此外, 为了更清晰地表述上述模糊滤波器的优化性能, 在实现步骤中作以下几点说明:

注 1 首先, 对于任意图像 F , 上述算法中的噪声概率 p_0 均可以由公式 $p_0 = P_{\text{Noise}} / (N \times M)$ 事先计算出. 其次, 依据该模糊滤波器, 对于 8-bit 的平面图像, 通常可将 $[0, 255]$ 分为 16 等份, 此时, 该灰度区间长度不被 16 整除, 造成 I_k 两端点的值为小数, 这不便于后面计算滤波输出值 $u(i, j)$. 因此, 实际应用中通常对 $[0, 255]$ 进行 15 或 17 等分, 如图 3 所示.

注 2 由于一般图像具有分片光滑性, 它在滤波窗口内非噪声点的灰度值差别并不大, 此时, 若将闭区间

$[0, 255]$ 实施 2^{m-4} 等份, 从而使滤波窗口中的非噪声点可能几乎全部落在某一个灰度值区间 I_{k_0} 内. 因此, 该模糊滤波器实现第五步骤时模糊数 \tilde{G}_{k_0} 必是唯一的. 此外, 为了能充分利用有用信息去逼近噪声点的真实信息, 在应用该模糊滤波器进行反复滤波时, 针对先前由噪声点变成的非噪声点, 在下一轮过滤中一律将其视为有用信息. 这样, 在反复滤波过程中会不断地增加有用信息, 从而也有效地降低恰当滤波窗口的大小, 进而降低算法的复杂程度和缩短运行时间.

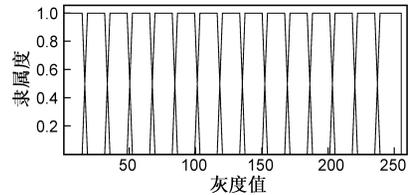


图3 灰度模糊集-15等分

4 仿真实验

在解决图像处理或恢复问题时, 即使受到高概率 ($p > 0.5$) 脉冲噪声污染的图像, 采用本文所给滤波器不仅可以有效地消除图像中椒盐噪声的干扰, 而且使未被污染的真实信号得到保存. 为了检验本文所给模糊滤波器对椒盐噪声的滤除能力, 基于 Matlab 7.0 中以 “salt & pepper” 为参数的 Imnoise 函数^[13], 我们对 8-bit (512 × 512) 的 Goldhill 图像(见图 4(a)) 分别添加噪声概率为 0.3、0.6 的椒盐噪声生成噪声图像(图 4(b)(c)).

事实上, 对上述被椒盐噪声污染图像, 分别采用中值滤波器 MF、自适应中值滤波器 AMF 及本文所设计的模糊滤波器进行滤波, 如图 5~6 所示.



图4 Goldhill原图及被噪声污染的图



图5 30%椒盐噪声的滤除结果图

此外, 用肉眼比较上述图像可以看出, 对 30% 椒盐噪声图, MF 不能完全滤除噪声点. 事实上, 在噪声概率



图6 60%椒盐噪声的滤除结果图

达到 60% 时, AMF 的滤除结果轮廓模糊, 图像中有明显斑点. 然而, 本文滤波器在这两种不同概率椒盐噪声的干扰下, 都可完全滤除噪声, 且较好地恢复图像的细节部分. 为了精确地验证所给滤波器的性能, 采用峰值信噪比 (PSNR) 和绝对平均误差 (MAE) 作为客观评价标准^[13,14], 现针对 MAE 和 PSNR 分别定义如下:

$$\text{PSNR} = 10 \cdot \lg \frac{255^2 N_1 \times N_2}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} (f(i, j) - u(i, j))^2}$$

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} |f(i, j) - u(i, j)|}{N_1 \times N_2}$$

其中, $N_1 \times N_2$ 表示图像 F 的尺寸, $f(i, j)$ 为原始图像的灰度值, $u(i, j)$ 为经过滤波器处理后的图像灰度值. 由上式明显看出, 当 MAE 越小, 表明过滤图像与原始图像误差越小; 当 PSNR 越大, 则图像恢复效果越好. 以 MAE 和 PSNR 为度量对上述各滤波器的滤除结果进行计算如表 1 所示.

表 1 Goldhill 图像滤波数据表

滤波器	MAE		PSNR	
	30% 椒盐噪声	60% 椒盐噪声	30% 椒盐噪声	60% 椒盐噪声
MF	11.5245	21.0018	23.0480	12.2397
AMF	6.7324	10.3569	28.4254	21.2680
新模糊滤波器	1.8696	3.0227	30.3963	27.7810

从表 1 数据分析知, 在不同噪声概率下本文滤波器均比其他两种大幅度降低了 MAE 值, 提高了 PSNR 值, 特别地, 在噪声概率较大时, 效果更加明显.

为进一步表明所设计的新模糊滤波器可以较好地滤除图像中的高概率椒盐噪声, 我们以 80% 椒盐噪声概率的 Man 图像为例, 通过滤除图像和实验数据, 采用 FNNF, SFF, ASWM, SF, FMF 迭代滤波器与该滤波器进行比较, 参见图 7 及表 2.

从图 6 可直观看出, 当椒盐噪声高达 80% 时, FNNF 过滤后的图像会出现明显的黑白斑点, SFF 会在图像细节中留下明显的锯齿状, ASWM 则产生了轻微的马赛克

现象, 而 SFF、FMF 和迭代滤波器均会造成图像轮廓模糊, 且边缘出现黑框, 但 FMF 的效果最差. 然而, 本文所设计的新模糊滤波器对椒盐噪声图像滤除后, 既可以将噪声点全部去除, 获得较清晰的效果, 又很好地保留了图像的细节部分, 例如 Man 帽子上羽毛的细小横纹等 (见图 7). 另外, 表 2 实验数据客观的表明了新模糊滤波器较其他滤波器具有更小的 MAE 值和更大的 PSNR 值. 因此, 该模糊滤波器克服了过去只能滤除低概率椒盐噪声对数字图像的轻度污染的缺欠, 其滤除性能明显优于其他滤波器.

表 2 含 80% 椒盐噪声 Man 图像的滤波数据表

评价标准	FNNF	SFF	ASWM
MAE	13.3067	9.8487	7.9643
PSNR	18.4795	22.3710	22.6583
SF	FMF	迭代滤波	本文滤波
7.3182	8.8317	8.7299	6.3827
23.6849	22.1049	23.4354	25.9783

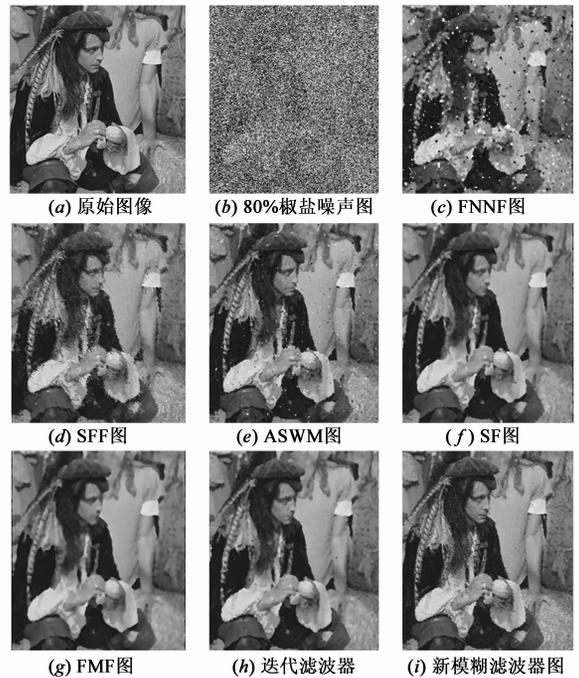


图7 Man原图及80%椒盐噪声的滤除结果图

5 结论

本文基于对图像灰度空间的模糊划分, 采用极值噪声检测法以及恰当滤波窗口和重心去模糊法的噪声滤除方式, 设计了一种新模糊滤波器, 并且通过仿真实验验证了该滤波器不仅能有效地滤除椒盐噪声, 而且对于高概率椒盐噪声污染的图像其滤除效果更佳. 实际上, 本文所设计的新模糊滤波器虽可完全去除椒盐

噪声,但在高概率椒盐噪声的干扰下对图像部分细节处理也不十分理想,甚至造成局部轮廓模糊,这是由于在噪声滤除过程中,并非每个噪声点对应的滤波窗口都是适合的,从而使新误差随之产生.与此相关的进一步研究应是如何设计更为简单而高效的模糊滤波器,例如在滤除过程中,加入梯度信息处理图像边缘等细节部分.另外,如何在更一般意义下建立图像恢复的优化模糊滤波器,也是值得进一步深入研究的问题.

参考文献

- [1] Liu Pu-yin, Li Hong-xing. Representation of digital image by fuzzy neural networks[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2002, 130(1): 109 – 123.
- [2] Liu Pu-yin, Li Hong-xing. Fuzzy techniques in image restoration a survey[J]. Intentional Journal of Computational Cognition, 2004, 2(2): 131 – 149.
- [3] 刘普寅,李洪兴.基于模糊神经网络的图像恢复技术[J].中国科学(E辑),2002,32(4):541 – 552.
Liu Pu-yin, Li Hong-xing. Image restoration techniques based on fuzzy neural networks[J]. Science in China (Series E), 2002, 32(4): 541 – 552. (in Chinese)
- [4] 宋宇,等.基于相似度函数的图像椒盐噪声自适应滤除算法[J].自动化学报,2007,33(5):474 – 479.
Song Yu, et al. Image salt & pepper noise self-adaptive suppression algorithm based on similarity function[J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 33(5): 474 – 479. (in Chinese)
- [5] 陈初侠,丁勇,刘栋莉.去除椒盐噪声的自适应开关加权均值滤波[J].计算机工程,2010,36(4):210 – 212.
Chen Chu-xia, Ding Yong, Liu Li-li. Adaptive switched weighted mean filtering for salt and pepper noise removal[J]. Computer Engineering, 2010, 36(4): 210 – 212. (in Chinese)
- [6] 吕宗伟,等.一种高效快速的高密度椒盐噪声消除算法[J].电子学报,2011,39(8):1903 – 1906.
Lü Zong-wei, et al. One efficient and fast method for the removal of high-density salt and pepper noise[J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(8): 1903 – 1906. (in Chinese)

- [7] 孙海英,李锋,商慧亮.改进的变分自适应中值滤波算法[J].电子与信息学报,2011,33(7):1743 – 1747.
Sun Hai-ying, Li Feng, Shang Hui-liang. Salt-and-pepper noise removal by variational method based on improved adaptive median filter[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(7): 1743 – 1747. (in Chinese)
- [8] 郭远华,侯晓荣.针对椒盐噪声的开关模糊滤波器[J].计算机应用,2012,32(5):1293 – 1295.
Guo Yuan-hua, Hou Xiao-rong. Switching based fuzzy filter for salt-and-pepper noise[J]. Journal of Computer Applications, 2012, 32(5): 1293 – 1295. (in Chinese)
- [9] 王芳,满益云.基于模糊中值滤波的椒盐噪声去噪方法[J].模糊系统与数学,2012,26(1):166 – 174.
Wang Fang, Man Yi-yun. Salt-and-pepper noise removal based on fuzzy median filtering[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2012, 26(1): 166 – 174. (in Chinese)
- [10] Lu Chingta, Chou Tzuchun. Denoising of salt-and-pepper noise corrupted image using modified directional-weighted median filter[J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(10): 1287 – 1295.
- [11] 蔡秀梅,范九伦.两种菱形结构指纹图像方向滤波器组的设计[J].计算机研究与发展,2012,49(5):1142 – 1148.
Cai Xiu-mei, Fan Jiu-lun. Two novel directional filter banks with diamond structure for fingerprint enhancement[J]. Journal of Computer Research and Development, 2012, 49(5): 1142 – 1148. (in Chinese)
- [12] Hsieh M H, Cheng F C, Shie M C, et al. Fast and efficient median filter for removing 199% levels of salt-and-pepper noise in images[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2013, 26(4): 1333 – 1338.
- [13] Riji R, Keerthi A S, et al. Fuzzy based directional weighted median filter for impulse noise detection and reduction[J]. Fuzzy Information and Engineering, 2012, 4(4): 351 – 369.
- [14] 刘金良.一类网络环境下的离散线性系统的可靠性滤波器设计研究[J].电子学报,2012,40(12):2557 – 2561.
Liu Jin-liang. Network-based reliable filter design for a class of discrete linear systems[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(12): 2557 – 2561. (in Chinese)

作者简介



王贵君 男,1962年7月出生,吉林通化人,教授,中国模糊系统与模糊数学学会理事,天津市数学会理事.研究方向:模糊神经网络、模糊系统分析、模糊测度与模糊积分.
E-mail: tjwgj@126.com



杨永强 男,1988年11月出生,天津人,硕士研究生.研究方向:模糊神经网络、图像处理等.
E-mail: 510176215@qq.com