

图文信息技术

针对多重退化因素的印刷图像复原方法

朱明, 杨利杰, 吕金燕, 王梦飞

(河南工程学院, 郑州 450001)

摘要: **目的** 对于由多种因素所导致的印刷图像退化问题, 文中提出一种针对椒盐噪声、高斯噪声和模糊退化等多重退化因素的图像复原方法。**方法** 首先针对印刷图像椒盐噪声密度不高的特点, 设计一种基于灰度范围准则和局部差别准则的椒盐噪声二级检测和滤除方法, 并通过评价实验得出合适的阈值参数设置。在去除高斯噪声和图像模糊的过程中, 利用边缘保持平滑滤波的原理和特性, 将双边滤波器和引导滤波器应用于图像复原中, 又在此基础上设计和应用图像细节增强的二次引导滤波器。**结果** 在椒盐噪声去除方面, 新方法对大部分图像都能取得较好的复原效果, 尤其对细微边缘不多的图像效果最佳, 复原后的 PSNR 值能达到 40 以上。二次引导滤波器对高斯噪声和图像模糊的复原效果最好。**结论** 通过对不同图像复原方法的效果进行评价和分析, 验证了文中方法的性能, 为今后图像复原技术的应用提供了指导。

关键词: 图像复原; 椒盐噪声; 高斯噪声; 引导滤波

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)19-0190-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.19.033

A Printing Image Restoration Method for Multiple Degradation Factors

ZHU Ming, YANG Li-jie, LYU Jin-yan, WANG Meng-fei

(Henan University of Engineering, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT: The work aims to propose an image restoration method for printing image degradation caused by multiple factors with respect to multiple degradation factors including salt & pepper noise, Gaussian noise and fuzzy degradation. First, considering that the salt & pepper noise density of printing image was not very high, a two-step method for detecting and removing salt & pepper noise based on gray-scale range criterion and local difference criterion was designed, and the proper threshold parameters were found by means of the evaluation experiment. In the process of removing Gaussian noise and image blurring, considering the principle and properties of the edge-reserving smoothing filter, the bilateral filter and guided filter were applied in the image restoration, and on this basis, the second-time guided filter for detail-enhancement of the image was designed and applied. For the removal of salt & pepper noise, the proposed method can achieve better restoration results for most images, especially for the images with few slight edges, and the PSNR value can reach over 40 after the restoration. The second-time guided filter had the best restoration effect for Gaussian noise and image blurring. Through the evaluation and analysis on different image restoration methods, the properties of the proposed method are verified and it provides guidance for the application of image restoration technology in the future.

KEY WORDS: image restoration; salt & pepper noise; Gaussian noise; guided filter

印刷图像在采集和记录的过程中, 通常会受到多种退化因素的干扰, 造成图像质量的下降。在图像采集过程中产生的退化称为模糊, 在图像记录过程中产生的退化称为噪声^[1]。为了获得更高的图像印

刷质量, 就必须在印前过程中对图像进行复原, 在去除各类噪声的同时, 使模糊的图像清晰化, 并且尽可能地保留图像细节。目前有关图像复原技术的研究大多只限于针对某一种退化因素的复原算法。

收稿日期: 2018-05-31

基金项目: 国家自然科学基金 (61301231); 2017 年度河南省青年骨干教师培养计划 (2017GGJS154)

作者简介: 朱明 (1983—), 男, 博士, 河南工程学院副教授, 主要研究方向为印前图文处理、颜色管理。

例如, 针对图像椒盐噪声的典型复原方法包括: 加权中值滤波^[2], 自适应中值滤波^[3], 极值中值滤波^[4], 开关中值滤波^[5]和基于方向差异性的开关中值滤波^[6-8]等; 针对高斯噪声和模糊的典型复原方法有维纳滤波器和有约束最小二乘滤波器^[9-11], 但这 2 种滤波器的图像复原效果有限, 还有较大的提升空间。

鉴于印刷图像往往同时受到多重退化因素的干扰, 因此在输出前需要设计一种方案综合处理上述多种退化问题。在文中研究的针对多重退化的图像复原方法中, 针对印刷图像椒盐噪声密度不高的特点, 设计了一种基于灰度范围准则和局部差别准则的椒盐噪声二级检测和滤除方法; 然后又利用双边滤波器和引导滤波器的边缘保持平滑特性, 将其应用到了针对高斯噪声和模糊的图像复原中, 随后又在此基础上设计和应用了图像细节增强的二次引导滤波器对图像进行复原。在方法评价部分, 首先针对文中提出的椒盐噪声去除方法, 测试了不同阈值参数条件下的图像复原效果, 分析了阈值参数设置与图像特征的关系; 针对高斯噪声和模糊退化, 文中又评价分析了 5 种图

像复原方法的效果及其对图像的适用性。

1 基本原理和方法

1.1 方法流程

文中提出的针对多重退化的印刷图像复原流程见图 1。与其他退化因素相比, 处于图像极值的椒盐噪声往往具有一定的独立性, 因此可以将图像复原流程划分为 2 个主要部分: 第 1 个部分负责进行椒盐噪声的检测和去除, 文中首先利用灰度范围准则和局部差别准则对图像中的椒盐噪声进行检测, 然后利用中值滤波方法将检测到的椒盐噪声进行滤除; 与椒盐噪声相比, 高斯噪声和模糊在图像微观层面不太容易区分, 因此第 1 个部分需要将这两者一并进行处理, 文中分别使用了 5 种方法来实现这 2 种退化因素的去除, 分别是维纳滤波器, 有约束最小二乘滤波器, 图像边缘保持的双边滤波器和引导滤波器, 以及图像细节增强的二次引导滤波器, 并且比较了这 5 种方法的复原效果。

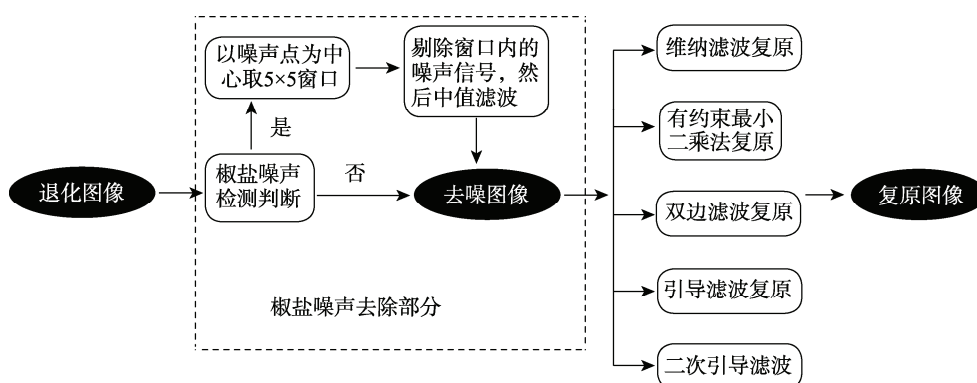


图 1 针对多重退化的印刷图像复原方法的整体流程

Fig.1 Overall workflow of the printing image restoration method for multiple degradation factors

1.2 基于灰度范围准则和局部差别准则的椒盐噪声检测和滤除

椒盐噪声是一种脉冲噪声, 被椒盐噪声污染的像素值往往位于像素极值点 0 或 255 附近, 但如果将所有像素极值点都当作噪声点进行滤除, 那么图像中一些未被噪声污染的正常极值区域, 例如图像边缘中的像素点就会被误认为是噪声点, 使噪声误检率显著提高, 从而破坏了图像的边缘区域, 因此, 仅仅通过像素极值来判断其是否为椒盐噪声点是不可靠的, 被判断为极值点的像素只能作为可疑噪声点, 需要再对其进行第 2 级的检测。文中设计的第 1 级检测便是基于灰度范围准则。假设图像的灰度范围是 $[L_{\min}, L_{\max}]$, 如果像素的灰度值在 $[L_{\min}, T_g]$ 或 $[L_{\min}-T_g, L_{\max}]$ 范围中, 则此像素点可能受到椒盐噪声的污染, 并将此像素点作为可疑噪声点, 其中 T_g 是阈值。该值设置的

越大, 极值像素点就越有可能被判断为可疑噪声点。为了降低误检率, 保护图像边缘, 对可疑噪声点的第 2 级检测基于局部差别准则。由于受椒盐噪声污染的像素点往往是较为孤立的, 它与邻域内大多数像素的差值都很大, 因此设置阈值 T_v 用以判断可疑噪声点与其邻域内像素间的灰度差值是否足够大, 设置阈值 T_n 用以判断与可疑噪声点灰度差值足够大的邻域像素个数是否足够多。若可疑噪声点满足式 (1), 则认为该像素点被椒盐噪声污染。

将可疑噪声点 (x, y) 处像素的邻域表示为 $N(x, y)$, 文中选择 5×5 的邻域窗口尺寸。该邻域内像素点 (s, t) 处的像素值为 $f(s, t)$, $\#[]$ 为满足条件的像素点个数, 于是可以将上述 2 个准则用式 (1) 统一表示。

$$\frac{\#[f(x, y) - f(s, t) > T_v]}{\#[N(x, y)]} > T_n \quad (1)$$

在检测出某像素点为椒盐噪声点后,为了更好地保留图像细节,文中采用中值滤波对噪声点进行滤除。在设置滤波窗口时,由于尺寸大的窗口计算量大,而尺寸小的窗口可以更好地保护细节,因此出于这 2 个因素折中的考虑,文中使用 5×5 尺寸的窗滤波口,见图 2,为了排除窗口内周围噪声点对滤波结果的干扰,在中值滤波前,首先要将窗口内已经判定为椒盐噪声的像素点去除,不令其参与该窗口内的像素值排序。然后将窗口内 19 个正常的像素点进行排序,取中值赋给窗口中心的噪声点像素,若排序像素点个数是偶数,则取中间 2 个像素点的均值赋给中心像素。

噪声点 噪声点		1	2	3
4	5	6	7	噪声点
8	9	中心像素	10	11
12	13	14	噪声点	15
16	噪声点	17	18	19

图 2 5×5 尺寸的中值滤波窗口
Fig.2 A median filtering window for 5×5 size

1.3 高斯噪声和模糊的去除

椒盐噪声去除完毕后,紧接着需要进行高斯噪声和图像模糊的去除。针对这 2 种退化因素,常规的图像复原方法有维纳滤波器和有约束最小二乘滤波器。由于双边滤波器和引导滤波器都是边缘保持的图像平滑滤波器,根据原理,它们可以在平滑高斯噪声的同时保留住图像中的细微边缘。鉴于该特性,文中也将这 2 种滤波器应用到了图像复原中,又在此基础上设计和应用了图像细节增强的二次引导滤波器,并且比较和分析了不同方法的图像复原效果。

1.3.1 双边滤波器和引导滤波器

双边滤波是组合的定义域高斯滤波和值域高斯滤波。图像中某一像素的双滤波值可以计算为:与该像素空间位置邻近和颜色值相近的所有像素的亮度加权平均值。由于它对图像像素的处理既考虑了像素之间的空间邻近度,也考虑了像素值的相似度,因此在平滑去噪时可以很好地保护图像的边缘。图像中某一像素 I_{input} 的双滤波输出 I_{output} 可用式 (2) 来计算,其中 $width$ 为双边滤波的窗口尺寸参数, σ_1 是空间域高斯核函数的宽度参数, σ_2 为值域高斯核函数的宽度参数。在双边滤波的窗口内,与中心像素颜色值的差小于 σ_2 的像素才有资格参与滤波计

算,而差值较大的像素则被忽略,因此参数 σ_2 是合理区分高斯噪声信号,并保持有用的图像边缘信息的关键参数^[12-14]。

$$I_{output} = \text{bilateral filter}(I_{input}, width, \sigma_1, \sigma_2) \quad (2)$$

引导滤波也是一种边缘保持平滑滤波器,与双边滤波相比,引导滤波器在平滑明暗分界的图像边缘时可以更好地消除光晕问题。图像中某一像素 I_{input} 的引导滤波输出 I_{output} 可用式 (3) 来表示,其中, I_{guide} 代表引导图像,通常它可以和输入图像 I_{input} 相同, r 代表引导滤波的窗口半径。通过分析引导滤波的边缘保持平滑原理可知,滤波参数 ϵ 的作用类似于双滤波中的值域滤波参数 σ_2 ,其值的大小决定了图像中的高方差边缘区域,因此,如果 ϵ 值设得过小,可能无法有效去除高斯噪声,而如果 ϵ 值设得过大,则在去除高斯噪声的同时,图像边缘也越有可能被模糊^[15]。

$$I_{output} = \text{guidedfilter}(I_{input}, I_{guide}, r, \epsilon) \quad (3)$$

1.3.2 图像细节增强的二次引导滤波器

为防止图像细节随噪声去除而丢失的问题,文中又设计了二次引导滤波器在一次引导滤波的基础上对图像细节进一步增强。二次引导滤波的计算过程见式 (4)。首先对原始图像进行一次引导滤波得到基础层图像 I_{base} ;将原始图像与基础层图像的差(表示图像细节)乘以放大系数 n 以加强细节,然后将增强后的细节再与基础层相加^[16],得到了一个既保护图像边缘又增强细节的图像 $I_{enhanced}$;最后再对该图像进行二次引导滤波,得到最终输出图像 I_{output} 。

$$\begin{aligned} I_{base} &= \text{guidedfilter}(I_{input}, I_{input}, r, \epsilon); \\ I_{enhanced} &= I_{base} + (I_{input} - I_{base}) * n; \\ I_{output} &= \text{guidedfilter}(I_{enhanced}, I_{enhanced}, r, \epsilon); \end{aligned} \quad (4)$$

2 方法性能评价

2.1 椒盐噪声去除效果的评价和分析

印刷图像多是通过扫描或数码照相 2 种方式采集,因此其椒盐噪声的密度往往不是很高。文中选取了 5 幅具有典型阶调特征(涉及不同分辨率且具有明显的边缘)的图像作为测试图像,并为每幅图像添加了随机的椒盐噪声,测试图像及其噪声图的缩略图见图 3。表 1 第 2 行列出了这些噪声图像与其原始图像之间的峰值信噪比值(PNSR)。

在椒盐噪声的去除过程中,根据椒盐噪声的极值特点,可将灰度范围阈值 T_g 设定为 25。针对每幅测试图像,使用不同局部差别阈值 T_s 和 T_n 得到的去噪后图像与原始图像之间的 PSNR 值见表 1。由大量图像试验结果可知,将阈值 T_n 设定在 $[0.5, 0.7]$ 的范围内比较合适。通过分析表 1 中的数据可以发现:在 T_n

值一定的情况下，随着 T_v 值增大，对于所有测试图像来说，其噪声去除后的 PSNR 值总体上呈现下降的趋势。这是因为在平缓的亮调区域存在亮度值也很高的盐噪声，在平缓的暗调区域也存在着亮度值很低的

椒噪声，它们与该区域内的正常信号点虽然有视觉差别，但相互之间的亮度值相差并不是特别大，此时如果将 T_v 值设置得过大，那么将无法检测出这些噪声点。

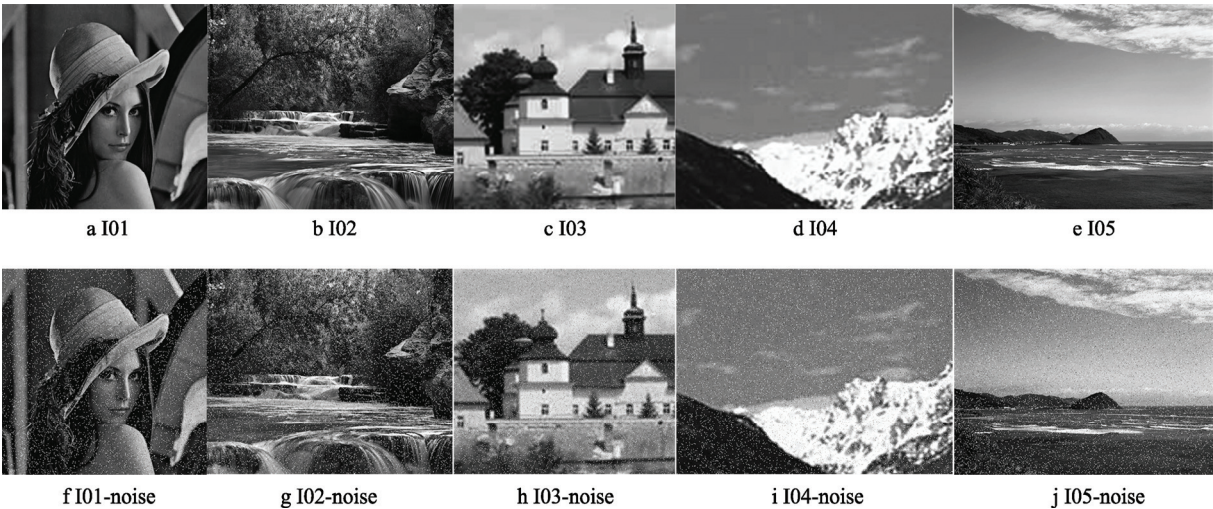


图 3 实验所用测试图像的缩略图

Fig.3 The thumbnails of test images used in experiments

表 1 使用不同阈值得到的椒盐噪声去除后图像与原始图像之间的 PSNR 值

Tab.1 PSNR values between salt & pepper noise-removed images and original images with different threshold parameters

噪声 图像	PSNR 值	$T_n=0.5$					$T_n=0.6$					$T_n=0.7$				
		$T_v=10$	$T_v=20$	$T_v=30$	$T_v=40$	$T_v=50$	$T_v=10$	$T_v=20$	$T_v=30$	$T_v=40$	$T_v=50$	$T_v=10$	$T_v=20$	$T_v=30$	$T_v=40$	$T_v=50$
I01	30.3665	41.6989	42.361	41.5246	39.3753	37.5236	42.6262	42.4501	41.1383	38.9434	37.0566	43.3793	42.247	40.6674	38.3763	36.5449
I02	30.2828	31.8918	32.2657	32.4301	32.2924	31.7995	32.0211	32.4314	32.6384	32.231	31.5643	32.2526	32.7641	32.7667	32.1153	31.1794
I03	29.8927	47.2101	46.6911	45.1484	42.5949	39.8155	47.2101	46.5937	44.7864	42.1062	39.2366	47.2194	46.486	44.6461	41.8137	38.8606
I04	29.9326	42.0694	44.7963	42.22	41.3012	40.4999	42.8649	45.1836	42.2044	40.967	39.9705	44.1744	45.0473	41.7959	40.6626	39.5797
I05	29.8011	36.7293	37.2768	37.6205	37.1958	35.7304	36.8712	37.5495	37.7027	37.0883	35.568	37.0864	37.7751	37.8421	36.8726	35.3739

对于大部分测试图像来说，当 T_n 值一定时，如果 T_v 值设置得较小，PSNR 值反而略微降低。通过分析可知，这主要是由图像边缘部位的失真造成的。由于图像细微边缘两侧的灰度值相差较大，若 T_v 设置较小，那么检测窗口内与中心像素灰度值相差大于阈值 T_v 的像素数就会增多，就有可能将边缘附近的正常信号点误判为噪声点，使得噪声误检率增大。在图 4 所示的测试图像“I02”的椒盐噪声检测案例中，对于边缘部位某一灰度值为 227 的像素来说，当 T_n 设置为 0.5， T_v 为 10 时，该像素会被误判为噪声点，滤波后的像素值变为 210；但当 T_n 不变， T_v 增大到 40 时，该像素没有被误检。通过视觉观察和图像频谱分析可知，“I03”和“I04”的细微边缘明显多于“I02”和“I05”。这就是为何在相同阈值参数的条件下，前者去噪后的 PSNR 值总是高于后者，而且当 T_v 设置在 [20, 30] 的范围内时，“I01”，“I03”和“I04”去噪后的 PSNR 值高达 40 以上，达到了视觉上几乎不可分辨的程度，因此基于试验结果，文中建议将阈值参数 T_n 和 T_v 分别

设置在 [0.5, 0.7] 和 [20, 30] 的范围内。

3.2 针对高斯噪声和模糊的复原效果评价与分析

针对高斯噪声和模糊这 2 种退化因素，文中分别使用维纳滤波器，有约束最小二乘滤波器，图像边缘保持的双边滤波器和引导滤波器，以及图像细节增强的二次引导滤波器对椒盐噪声去除后的测试图像进行复原，并且比较了这 5 种方法的复原效果。测试图像的选择与 3.1 节相同，为增强评价实验的说服力，将每幅测试图像的退化程度都划分为 4 个等级，这 4 种退化等级及其所对应的退化图像与原始图像之间的 PSNR 值见表 2。从表 2 中可以看出，对于所有测试图像来说，随着退化程度的提高，图像失真也随之增大，PSNR 值随之减小。

双边滤波和引导滤波在算法原理上非常相似，从实验结果上看，两者的图像复原效果也非常接近。为节省篇幅，论文选择其一，仅列出了 4 种滤波器对各级别退化图像复原后的 PSNR 值，见图 5。从图 5 中可以看出，在 4 种滤波器中，维纳滤波需要在已知噪

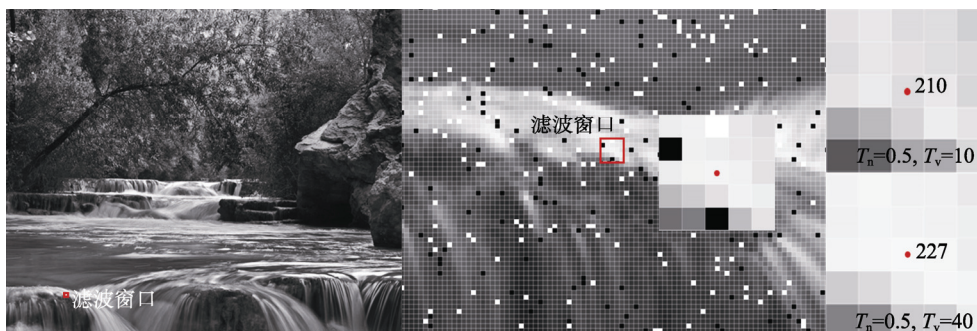


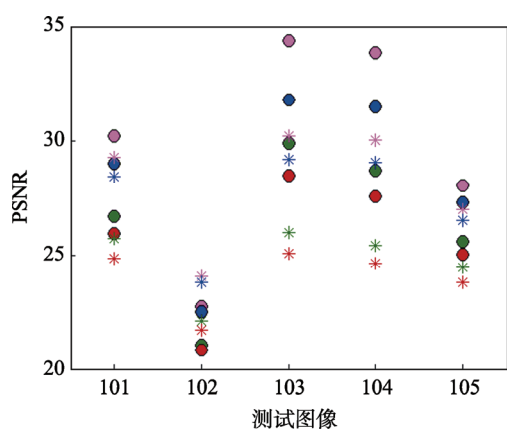
图 4 边缘部位像素的椒盐噪声检测案例 (“I02”)

Fig.4 Case for detecting salt & pepper noise of pixels at image-edges (“I02”)

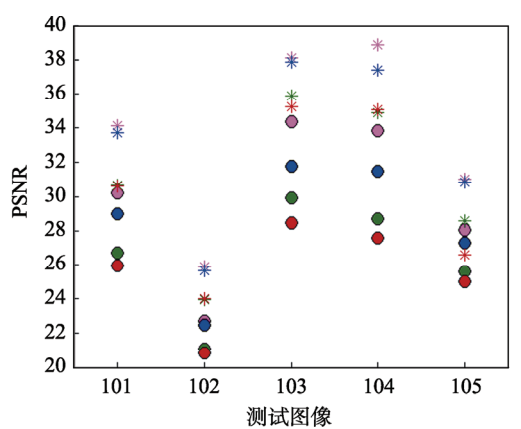
表 2 4 种退化级别以及每个级别所对应的 PSNR 值

Tab.2 Four degradation levels and the PSNR values corresponding to each level

噪声 图像	高斯模 糊, 5×5 模板尺寸	高斯噪声均 值 0, 方差 0.0003	高斯模 糊, 5×5 模板尺寸	高斯噪声均 值 0, 方差 0.0006	高斯模 糊, 9×9 模板尺寸	高斯噪声均 值 0, 方差 0.0006	高斯模 糊, 9×9 模板尺寸	高斯噪声均 值 0, 方差 0.0010
I01		22.7377		22.506		21.0704		20.8554
I02		34.3788		31.7857		29.887		28.4768
I03		33.8496		31.485		28.6965		27.5751
I04		28.0395		27.2824		25.5946		25.0143
I05		30.1768		28.9925		26.691		25.9435



a 维纳滤波器 滤波口5×5, K为0.05



b 有约束最小二乘滤波器 滤波口7×7, Gama为0.5

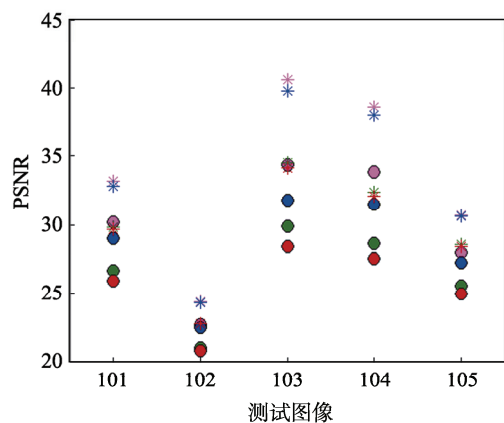
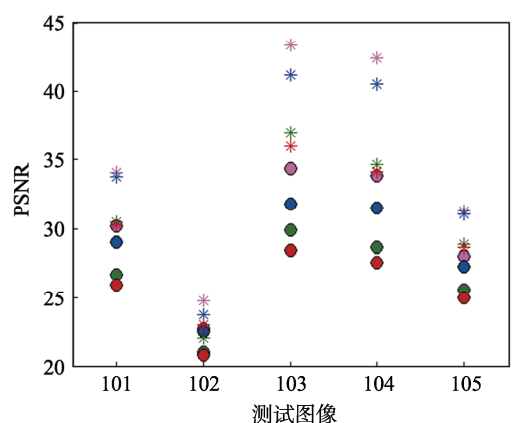
c 引导滤波器r为1, eps为0.075²d 二次引导滤波器r为4, eps为1², r为1, eps为0.15²

图 5 不同滤波器对各级别退化图像复原后的 PSNR 值

Fig.5 PSNR values of the degraded images at each level restored by different filters

声功率谱的情况下才能实现图像的复原,而且它的复原效果最差,对于所有测试图像来说,复原后图像的 PSNR 值甚至低于相应级别退化图像的 PSNR 值;有约束最小二乘滤波器和引导滤波器的效果较好,其复原后图像的 PSNR 值都高于相应级别退化图像的 PSNR 值。二次引导滤波器表现最好,尤其对于测试图像“I03”,“I04”来说,其复原后的 PSNR 值最高可以达到 40 以上,这主要因为在合理设置滤波参数的情况下,二次引导滤波器在第 1 次滤波时不仅有效去除了部分高斯噪声同时还保留了重要的边缘信息,第 2 次滤波又进一步改善了因去噪而丢失的细节。另外,在 5 幅测试图像中,“I01”,“I03”和“I04”的复原效果较为明显,而“I02”和“I05”的复原效果总是最差,这与 3.1 节椒盐噪声的去除

结果类似,这说明无论使用何种图像复原方法,对于细微边缘较多的图像来说,效果都不太明显。5 种滤波器对测试图像“I01”的第 4 级退化图像的复原结果见图 6。

印刷图像大多数情况下是由数码相机采集获得。在相机曝光时,光学系统的失焦和快门速度较低时的拍摄抖动都会导致图像模糊,而在拍摄或硬拷贝扫描过程中,又容易产生低密度的噪声失真。对失真的彩色图像进行复原时,可分别对彩色图像各颜色通道进行复原,最后将复原后的各通道图像组合得到复原后的彩色图像。为了验证文中提出的椒盐噪声二级检测方法和二次引导滤波器的效果,该方法对 2 幅带有不同噪声和拍摄抖动模糊的彩色退化图像的复原结果见图 7。方框区域为图像局部放大后的效果,可以看



图 6 不同滤波器对测试图像“I01”的第 4 级退化图像的复原结果

Fig.6 Results of the level 4 degraded image of test image “I01” restored by different filters



图 7 2 幅带有不同噪声和抖动模糊的彩色退化图像的复原结果

Fig.7 Restored results of two colorful degraded images with different noises and shake blurring

出: 2 幅退化图像中的噪声都得到了有效去除(由于椒盐噪声的密度较低,以至于在图片中无法较好地显示出来),抖动模糊也得到了较好复原。

4 结语

文中提出了一种针对椒盐噪声,高斯噪声和模糊退化等多重退化因素的图像复原方法。方法分为 2 个主要模块,第 1 个模块用于检测和去除椒盐噪声,第 2 个模块可同时去除高斯噪声和模糊。针对印刷图像椒盐噪声密度不高的特点,第 1 个模块设计了一种基于灰度范围准则和局部差别准则的椒盐噪声二级检测和滤除方法,并通过评价实验得出了合适的阈值参数设置。经测试,该方法对大部分图像都能取得较好的复原效果,尤其对细微边缘不多的图像复原效果最佳。在第 2 个模块里,论文将双边滤波器和引导滤波器应用于图像复原中,又在此基础上设计和应用了图像细节增强的二次引导滤波器。通过对 5 种图像复原方法的效果及其对图像适用性的评价分析,验证了二次引导滤波器的优越性,为今后图像复原技术的应用提供了指导。

参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
ZHANG Yu-jin. Image Engineering[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2012.
- [2] BROWNRIGG D. The Weighted Median Filter[J]. Communications of the Acm, 1984, 27(8): 807—818.
- [3] HWANG H, HADDAD R A. Adaptive Median Filters: New Algorithms and Results[J]. IEEE Transactions on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society, 1995, 4(4): 499—502.
- [4] 王红梅, 李言俊, 张科. 基于极值检测的图像滤波算法[J]. 激光与红外, 2007, 37(10): 1117—1119.
WANG Hong-mei, LI Yan-jun, ZHANG Ke. An Image Filtering Algorithm Based on Extremum Detection[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(10): 1117—1119.
- [5] 乔坤, 郭朝勇, 毛东. 一种去除椒盐噪声的自适应开关中值滤波算法[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(10): 253—256.
QIAO Kun, GUO Chao-yong, MAO Dong. An Adaptive Switch Median Filtering Algorithm for Salt and Pepper Noise[J]. Computer Applications and Software, 2011, 28(10): 253—256.
- [6] 陈健, 郑绍华, 余轮, 等. 基于方向的多阈值自适应中值滤波改进算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(2): 156—161.
CHEN Jian, ZHENG Shao-hua, YU lun, et al. Improved Algorithm for Adaptive Median Filter with Multi-threshold Based on Directional Information[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2013, 27(2): 156—161.
- [7] 常丹华, 杨峰明, 赵国立, 等. 基于二级检测的椒盐噪声滤除算法[J]. 激光与红外, 2012, 42(1): 100—104.
CHANG Dan-hua, YANG Feng-ming, ZHAO Guo-li, et al. Salt and Pepper Noise Filtering Algorithm Based on Two Stage Noise Detection[J]. Laser & Infrared, 2012, 42(1): 100—104.
- [8] 陈健, 郑绍华. 基于方向中值的图像椒盐噪声检测算法[J]. 计算机应用, 2012, 32(10): 2790—2792.
CHEN Jian, ZHENG Shao-hua. Salt and Pepper Noise Detection Algorithm Based on Directional Median[J]. Journal of Computer Applications, 2012, 32(10): 2790—2792.
- [9] 汪祖辉, 孙刘杰, 邵雪, 等. 一种结合小波变换和维纳滤波的图像去噪算法[J]. 包装工程, 2016, 37(13): 173—178.
WANG Zu-hui, SUN Liu-jie, SHAO Xue, et al. An Image Denoising Algorithm Combined with Wavelet Transform and Wiener Filtering[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(13): 173—178.
- [10] 郝明, 方亮. 有约束最小平方复原在图像复原中的应用[J]. 实验科学与技术, 2010, 8(5): 21—23.
HAO Ming, FANG Liang. Application of Constrained Least Squares Filtering on Image Restoration Technology[J]. Experiment Science and Technology, 2010, 8(5): 21—23.
- [11] 张伟科. 小波变换在薄膜表面图像信号降噪中的应用[J]. 表面技术, 2016, 45(5): 229—234.
ZHANG Wei-ke. Application of Wavelet Transform in the Signal Noise Reduction of Film Surface Images[J]. Surface Technology, 2016, 45(5): 229—234.
- [12] TOMASI C, MANDUCHI R. Bilateral Filtering for Gray and Color Images[C]// ICCV '98 Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Vision, IEEE, 1998: 839—847.
- [13] 张闯, 迟健男, 张朝晖, 等. 基于边缘检测与双边滤波的彩色图像去噪[J]. 电子学报, 2010, 38(8): 1776—1783.
ZHANG Chuang, CHI Jian-nan, ZHANG Zhao-hui, et al. Removing Noise of Color Images Based on Edge Detection and Bilateral Filter[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(8): 1776—1783.
- [14] 王娜, 朱明, 陈广学. 一种基于双滤波的空间图像色域映射算法[J]. 电子学报, 2016, 44(8): 1924—1931.
WANG Na, ZHU Ming, CHEN Guang-xue. A Spatial Gamut Mapping Algorithm Based on Bilateral Filter[J]. Acta Electronica Sinica, 2016, 44(8): 1924—1931.
- [15] HE K, SUN J, TANG X. Guided Image Filtering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(6): 1397—1409.
- [16] ZHU M, WANG N, HARDEBERG J Y. Spatial Gamut Mapping based on Guided Filter to Preserve Spatial Luminance Variations[J]. Journal of Imaging Science & Technology, 2017, 61(2): 1—10.