

文章编号:1007-2780(2019)01-0074-07

基于开关二级检测的图像椒盐噪声滤波算法

郑亮^{1*}, 方恩印¹, 朱明²

(1.上海出版印刷高等专科学校, 上海 200093;

2.河南工程学院 材料与化学工程学院, 郑州 450001)

摘要: 鉴于开关中值滤波在椒盐噪声检测和去除方面的应用合理性, 本文分别设计实现了基于信号局部差异性和基于信号方向差异性的椒盐噪声检测算法。这两种算法均属于二级噪声检测方法, 且第一级检测手段都是基于灰度范围准则。两种算法的不同点主要体现在第二级检测算法上, 前者基于局部差别准则, 后者基于方向差别准则。在方法评价部分, 首先通过分析和实验确定两种算法的最优参数设置; 然后通过对不同噪声密度的测试图像去噪来评价两种算法的去噪效果。结果表明: 基于方向差异性的算法比基于局部差异性的算法具有更好的性能, 且两种算法的去噪效果都与噪声密度成反比。需要注意的是, 这两种算法都容易将图像中的细微边缘或细节像素误判为噪声点, 即在噪声的检测过程中, 只能避免对图像中主要边缘和轮廓像素的误判, 还无法对图像中的细微边缘和细节进行精确判定, 这也是开关二级噪声滤波算法今后的主要改进方向。另外, 算法效率测试结果表明两种算法具有相似的计算时间, 从而验证了两者的算法结构相似性。

关键词: 图像去噪; 椒盐噪声; 开关二级检测; 图像边缘; 图像细节

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193401.0074

Salt and pepper noise filtering algorithms based on switch two-stage detection

ZHENG Liang^{1*}, FANG En-yin¹, ZHU Ming²

(1. Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China;

2. College of Materials and Chemical Engineering, Henan University of Engineering, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Switch median filters are very suitable for detection and removal of the salt and pepper noise. An algorithm based on signal local difference and an algorithm based on signal directional difference for detecting salt and pepper noise were designed in this article. Both of them belong to two-stage noise detection algorithms, and the first-stage detection for both is based on gray-scale range criterion.

收稿日期: 2018-07-30; **修订日期:** 2018-10-23.

基金项目: 柔版印刷绿色制版与标准化实验室招标课题(No.ZBKT201705); 柔版印刷绿色制版与标准化实验室招标课题(No.ZBKT201804)

Supported by Project of Green plate making and Standardization of Laboratory for Flexographic Printing (No.ZBKT201705); Project of Green plate making and Standardization of Laboratory for Flexographic Printing(No.ZBKT201804)

* 通信联系人, E-mail: zg_zg@163.com

The difference between the two algorithms embodies in the second-stage detection. The former is based on local difference criterion, and the later is based on directional difference criterion. In the section of algorithm evaluation, first, the optimal parameter settings for the two algorithms were determined through analysis and experiments. Then, the denoising effects of the two algorithms were evaluated by denoising the test images with different noise density. The evaluation results show that the algorithm based on directional difference has better performance than the algorithm based on local difference. For both of the two algorithms, the denoising effects are inversely proportional to noise density. But more importantly, the two algorithms may be prone to misjudge the image-edge pixels or detail pixels as noise points. This will be the main improvement direction of the switch median filtering algorithm in the future. Finally, the two algorithms have the similar computational efficiency. It verifies the structural similarity between them.

Key words: image denoising; salt and pepper noise; switch two-stage detection; image edge; image detail

1 引言

椒盐噪声又称脉冲噪声,在图像中的表现形式就是随机分布的黑(椒噪声)白(盐噪声)色像素点。椒盐噪声的产生一般是由图像传感器,传输信道或解码系统的故障和缺陷造成的^[1]。由于椒盐噪声点与图像边缘的正常像素点往往具有同样的突变特征,因此为了保护边缘细节,最先使用非线性的中值滤波算法来去除椒盐噪声^[2],后来又在此基础上提出了极值中值算法^[3],加权中值滤波算法^[4-5]和自适应中值滤波算法^[6-7]。这些方法在滤除噪声点的同时也会修改到正常像素点,从而造成图像的模糊。针对这些问题,近年来又提出了开关中值滤波的思想^[8-11],这类方法首先需要判断当前像素是噪声点还是正常信号点,然后仅对噪声点进行处理,这样可以最大程度地防止边缘模糊^[12-15],这种思路目前已经被广泛采用。

本文首先从信号局部差异性的思路入手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检测算法,又从信号方向差异性的思路入手设计了一种基于灰度范围准则和方向差别准则的椒盐噪声检测算法。这两种算法均属于二级噪声检测方法,第一级的检测手段都借助了灰度范围准则,这是一种简单的极值判断方法,两种算法的不同点体现在第二级检测方法。在方法评价部分,首先通过分析和试验得出了两种算法的最佳参数设置,然后借助 PSNR 值测试了两种算法对不同噪声密度的测试图像的去噪效果,比较和分

析了两种算法的效果和特点,最后,通过测试两种算法的计算效率,分析了它们的算法结构。

2 基于信号局部差异性的椒盐噪声检测

2.1 灰度范围准则

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,从而破坏了图像的正常边缘区域。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,需要再对其进行第二级的检测。本文设计的第一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 $[L_{\max} - T_g, L_{\max}]$ 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。

2.2 局部差别准则

为了降低误检率,保护图像边缘,对可疑噪声点的第二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_d 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 $N(x, y)$, 本文选择 5×5 的邻域窗口尺寸。该邻域内像素点 (s, t) 处的像素值为 $f(s, t)$, $\#[\cdot]$ 代表满足条件的像素点个数,于是可以将上述两个准则用式(1)统一表示。

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

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 1 5×5 尺寸的中值滤波窗口

Fig.1 A median filtering window for 5×5 size

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,本文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。因此出于这两个因素折中的考虑,本文使用 5×5 尺寸的窗滤波口,如图 1 所示。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,不让他们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,则取中间两个像素点的均值赋给中心像素。

3 基于信号方向差异性的椒盐噪声检测

在基于信号方向差异性的椒盐噪声二级检测中,其第一级检测也是基于灰度范围准则,这与 2.1 节的方法相同,但其第二级检测基于的是方向差别准则。

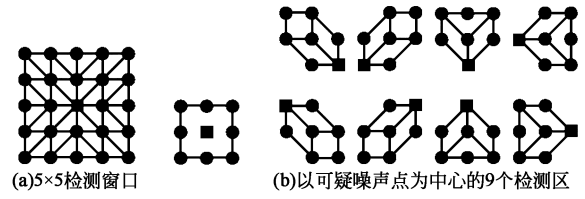


图 2 5×5 滤波窗口和 9 个噪声检测区域

Fig.2 A filtering window for 5×5 size and the nine detecting areas

首先,在 5×5 的噪声检测窗口(图 2(a))中设置 9 个检测区域,包括 1 个以可疑噪声点为中心的 3×3 检测区(共 8 个像素点)及 8 个以可疑噪声点为顶点的检测区(每个区共 6 个像素点),如图 2(b)所示。然后,计算这 9 个检测区中除可疑噪声点外其它像素点的灰度中值,如式(2)所示。其中, $\text{median}[\cdot]$ 表示对检测区中的像素灰度值进行中值计算; f_k 表示第 k 个检测区中除可疑噪声点外的其它像素点的灰度值集合, $k = 1 \sim 9$; A_k 表示第 k 个检测区的灰度中值。如果检测区中除可疑噪声点外参与中值计算的像素点数为偶数,那么该检测区的中值取排序后中间两个像素点的灰度均值。

$$A_k = \text{median}[f_k] \quad (2)$$

最后一步是噪声点的确定,分别计算可疑噪声点的灰度值“suspicious_gray”与 A_k 的差值绝对值,并将所有检测区对应的差值绝对值“ d_k ”分别与预先设置好的阈值 T 进行比较,计算差值绝对值大于阈值的个数“num”,若其大于等于指定数量“ T_{num} ”,则确定该可疑噪声点为噪声点“noise_signal”,否则为正常信号点“normal_signal”。这个过程可以借助 MATLAB 伪代码表示,如式(3)所示。

```

dk = suspicious_gray - Ak;
num = size(find(dk > T));
if(num >= Tnum)
    noise_signal = suspicious_gray;
else
    normal_signal = suspicious_gray.
    (3)

```

4 评价和分析

4.1 基于信号局部差异性的去噪测试

为验证算法的噪声检测和去除效果,本文使用 Matlab7.11 对该算法进行仿真实验。本文选

择如图3所示的4幅测试图像,并为每幅测试图像分别加入0.01, 0.03, 0.05, 0.07的椒盐噪声密度,例如,添加噪声密度为0.01的Matlab命令是“imnoise(image, 'salt & pepper', 0.01)”。在基于信号局部差异性的噪声检测和去除过程中,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。

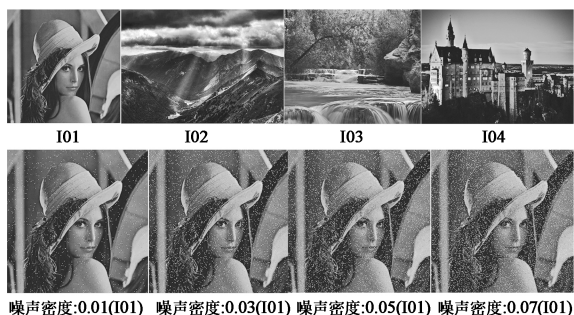


图3 实验所用测试图像及其噪声图像的缩略图

Fig.3 Thumbnails of test images used in evaluating experiments

通过分析可知:在 T_n 值一定的情况下, T_v 值的设置不宜过大,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,它们与本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。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“I03”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。



图4 边缘部位像素的椒盐噪声检测案例(“I03”)

Fig.4 Case for detecting salt & pepper noise at image-edges (“I03”)

因此基于大量试验结果,文本建议将阈值参数 T_n 和 T_v 分别设置在 $[0.5, 0.7]$ 和 $[20, 30]$ 的范围内。

从图5可以看出:(1)当阈值参数固定为 $T_g = 25$, $T_v = 20$, $T_n = 0.5$ 时,随着噪声密度的提升,无论对于哪幅测试图像,去噪前后的图像PSNR值逐渐降低,表明噪声的去除效果逐渐降低。而随着噪声密度的提升,算法的处理时间逐渐增长(为节省篇幅,未列出具体的程序运算时间),这说明噪声点数量的增多也增长了噪声的检测和去除时间;(2)从4幅测试图像所对应的PSNR值分布来看,测试图像“I01”的去噪效果最好,对应各噪声密度的PSNR值都能达到40以上,去噪前后的图像在视觉上几乎不可分辨。测试图像“I04”的去噪效果最差。通过视觉观察和图像频谱分析可知,测试图像“I03”和“I04”的细微边缘明显多于“I01”和“I02”。借助图6的分析可以看出,基于信号局部差异性的椒盐噪声检测极易将图像中微小边缘和细节误判为噪声点,如图6中的两个局部区域。以区域1中像素值为6

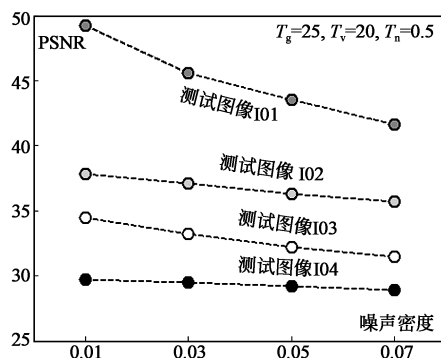


图5 基于信号局部差异性的椒盐噪声去除效果($T_g = 25$, $T_v = 20$, $T_n = 0.5$)

Fig.5 Noise-removing effects based on local signal difference ($T_g = 25$, $T_v = 20$, $T_n = 0.5$)

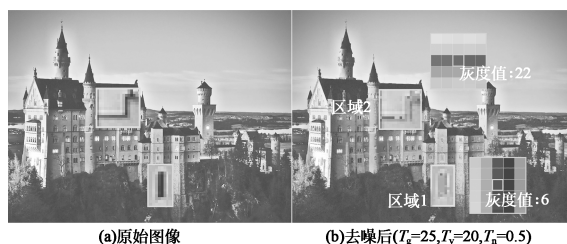


图6 边缘和细节部位像素的椒盐噪声检测案例(“I04”)

Fig.6 Case for detecting salt & pepper noise at image-edge and detail (“I04”)

的微小细节像素为中心像素,在检测窗口中,中心像素值与邻近像素值相差 20 以上的像素占比超过了 50%,因此这个正常的细节像素点被误判为噪声点;同理,区域 2 中像素值为 22 的微小边缘像素也被误判为噪声点。这就是测试图像“I03”和“I04”去噪效果最差的原因。

4.2 基于信号方向差异性的去噪测试

在基于信号方向差异性的椒盐噪声二级检测中,其第一级检测也是基于灰度范围准则,这与 2.1 节的方法相同,这里也将灰度范围阈值 T_g 设定为 25。第二种算法中最关键的是阈值参数“ T ”和“ T_{num} ”的设定。通过分析可知,阈值参数“ T ”的作用类似于 2.1 节中的参数“ T_v ”,起到控制中心像素与邻域像素差异度的作用,本文取阈值 $T=20$,而参数“ T_{num} ”的作用类似于 2.1 节中的参数“ T_n ”,可以控制局部差异度大的像素在滤波窗口中的占比。通过大量试验发现:当噪声密度一定时,随着“ T_{num} ”值的增大,图像去噪前后的 PSNR 值也逐渐增大,当其值增大到 6 时,再继续增大“ T_{num} ”,PSNR 值也变化不大,甚至还有可能降低,因此本文取阈值 $T_{num}=6$ 。图 7 显示了不同的“ T_{num} ”值对测试图像 I01 的去噪效果。

图 8 显示了基于信号方向差异性的椒盐噪声去除效果,算法中的阈值参数设置如下: $T_g=25$, $T=20$, $T_{num}=6$ 。图 8 中的 PSNR 值分布与图 4

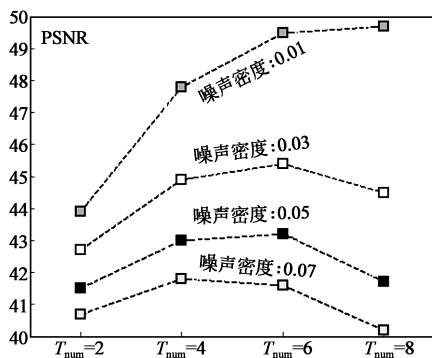


图 7 不同的“ T_{num} ”值对测试图像 I01 的去噪效果
Fig.7 Noise-removing effects of test image “I01” for different “ T_{num} ” values ($T_g=25$, $T=20$, $T_{num}=2, 4, 6, 8$)

相似,即随着噪声密度的提升,无论对于哪幅测试图像,去噪前后的图像 PSNR 值逐渐降低,这表明噪声的去除效果逐渐变差。测试图像“I01”的去噪效果最好,“I04”的去噪效果最差。通过仔细观察可以发现:图 8 中的 PSNR 数据在总体上要略高于图 4,尤其是对于细微边缘较多的测试图像“I03”和“I04”来说,更是如此。这说明在椒盐噪声的检测和去除方面,基于方向差异性的算法要略强于基于局部差异性的算法。注意:在测试图像“I03”和“I04”的噪声去除中,仍然会出现边缘和细节信号点的误判问题。

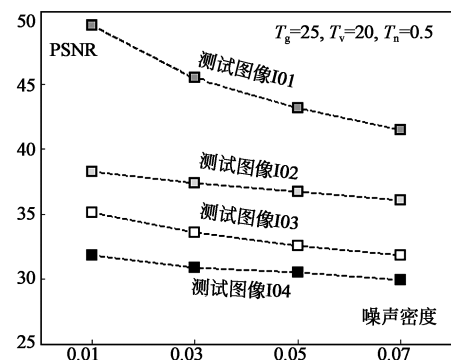


图 8 基于信号方向差异性的椒盐噪声去除效果
($T_g=25$, $T_v=20$, $T_{num}=6$)

Fig.8 Noise-removing effects based on directional difference ($T_g=25$, $T_v=20$, $T_{num}=6$)

表 1 显示了两种算法对测试图像“I01”和“I03”的处理时间,文中算法效率的测试环境为 MATLAB 平台 (DELL OptiPlex, Inter(R) Core (TM) i7-4770M CPU@3.40GHZ)。可以看出:方向差异性算法的运算效率与局部差异性算法相当。通过分析可知:两种算法从原理上看都是将中心可疑像素与周围邻域的差异性作为噪声检测的准则,可以将方向差异性算法看作是局部差异性算法的特例。另外,两种算法在结构上都分为噪声检测和噪声去除两个步骤。因此这两种算法在结构上非常相似,也具有相似的运算效率。

表 1 不同滤波算法对两幅测试图像的处理时间

Tab.1 Computing times of different algorithms for the two test images

(s)

测试图像	I01				I03			
噪声密度	0.01	0.03	0.05	0.07	0.01	0.03	0.05	0.07

续表

测试图像	I01				I03			
局部差异性算法	18	13	33	28	56	62	67	121
方向差异性算法	10	14	20	29	53	59	77	109

5 结 论

开关中值滤波器非常适合用于椒盐噪声的检测和去除。本文设计了一种基于信号局部差异性和一种基于信号方向差异性的椒盐噪声检测算法。它们都属于两级噪声检测算法,两者的第一级检测都是基于灰度范围准则。它们的主要区别体现在第二级检测中,前者基于局部差异性准则,而后者基于方向差异性准则。在算法性能评价部分,首先通过分析和实验确定两种算法的最优参数设置;然后,通过对不同噪声密度的测试图像去

噪来评价两种算法的去噪效果。评价结果表明:基于方向差异性的算法比基于局部差异性的算法具有更好的性能,且两种算法的去噪效果都与噪声密度成反比。需要注意的是,这两种算法都容易将图像中的细微边缘或细节像素误判为噪声点,这是目前开关二级滤波算法存在的主要问题,即在噪声的检测过程中,只能避免对图像中主要边缘和轮廓像素的误判,还无法对图像中的细微边缘和细节进行精确判定,这也是开关二级噪声滤波算法今后的主要改进方向。另外,通过算法效率的测试,可以看出两种算法具有相似的计算时间,从而验证了两者之间的算法结构相似性。

参 考 文 献:

- [1] 章毓晋. 图像工程 [M]. 北京:清华大学出版社, 2012.
ZHANG Y J. *Image Engineering* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2012. (in Chinese)
- [2] 宋宇, 李满天, 孙立宁. 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 Y, LI M T, SUN L N. Image salt & pepper noise self-adaptive suppression algorithm based on similarity function [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2007, 33(5):474-479. (in Chinese)
- [3] 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 H M, LI Y J, ZHANG K. An image filtering algorithm based on extremum detection [J]. *Laser & Infrared*, 2007, 37(10): 1117-1119. (in Chinese)
- [4] BROWNRIGG D. The weighted median filter [J]. *Communications of the Acm*, 1984, 27(8):807-818.
- [5] YANG R, LIN Y, GABBOUJ M, et al. Optimal weighted median filtering under structural constraints [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1995, 43(3):591-604.
- [6] HWANG H, HADDAD R A. Adaptive median filters: new algorithms and results [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1995, 4(4):499-502.
- [7] 倪巨敏, 叶懋东, 陈孝春. 一种改进的自适应中值滤波算法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(5):672-678.
NI C M, YE M D, CHEN X C. An improved adaptive median filter algorithm [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, 11(5):672-678. (in Chinese)
- [8] 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 K, GUO C Y, MAO D. An adaptive switch median filtering algorithm for salt and pepper noise [J]. *Computer Applications and Software*, 2011, 28(10): 253-256. (in Chinese)
- [9] 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 J, ZHENG S H, YU L, 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. (in Chinese)

nese)

- [10] 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 D H, YANG F M, ZHAO G L, *et al.* Salt and pepper noise filtering algorithm based on two stage noise detection [J]. *Laser & Infrared*, 2012, 42(1):100-104. (in Chinese)
- [11] 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 J, ZHENG S H. Salt and pepper noise detection algorithm based on directional median [J]. *Journal of Computer Applications*, 2012, 32(10):2790-2792. (in Chinese)
- [12] 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 Z H, SUN L J, SHAO X, *et al.* An image denoising algorithm combined with wavelet transform and wiener filtering [J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(13): 173-178. (in Chinese)
- [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 C, CHI J N, ZHANG Z H, *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 N, ZHU M, CHEN G X. A spatial gamut mapping algorithm based on bilateral filter [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2016, 44(8):1924-1931.
- [15] 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): 220506-1-10.

作者简介:



郑 亮(1975—),男,辽宁阜新人,硕士,高级工程师,2007 年于武汉大学获得硕士学位,研究方向为数字印刷、3D 打印。E-mail: zg_zg@163.com