

基于连通性检测的图像椒盐噪声滤波算法

马逸东, 周顺勇

引用本文:

马逸东, 周顺勇. 基于连通性检测的图像椒盐噪声滤波算法[J]. 液晶与显示, 2020, 35(2): 167–172.

MA Yi-dong, ZHOU Shun-yong. Salt and pepper noise filtering algorithm based on connectivity detection[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(2): 167–172.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203502.0167>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于开关二级检测的图像椒盐噪声滤波算法

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

液晶与显示. 2019, 34(1): 74–80 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193401.0074>

本征图像分解的稀疏表示彩色图像去噪算法

Color image denoising algorithm based on intrinsic image decomposition and sparse representation

液晶与显示. 2019, 34(11): 1104–1114 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193411.1104>

基于斜率差值的自适应图像椒盐噪声滤波算法

Adaptive slope difference algorithm for filtering salt and pepper noise in image

液晶与显示. 2015, 30(4): 695–700 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153004.0695>

基于局部路径特征信息神经网络的图像去噪

Image denoising based on local path feature information neural network

液晶与显示. 2020, 35(1): 70–79 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203501.0070>

改进离散格子玻尔兹曼方法的图像去噪

Image denoising based on modified discrete lattice Boltzmann method

液晶与显示. 2017, 32(4): 294–301 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173204.0294>

文章编号:1007-2780(2020)02-0167-06

基于连通性检测的图像椒盐噪声滤波算法

马逸东,周顺勇*

(四川轻化工大学 自动化与信息工程学院,四川 宜宾 644005)

摘要:为了在滤除图像椒盐噪声的同时保护图像边缘细节,提出了一种基于连通性检测的图像椒盐噪声滤波算法。由于椒盐噪声点的灰度值与正常像素点的灰度值相比往往存在较大差异,本算法先通过比较像素点灰度值与其邻域像素点灰度值,将差异较大的像素点列为疑似噪声点,然后通过检测疑似噪声点是否是图像连通区域的一部分来判断该点是否是噪声点,最后通过中值滤波器将噪声点滤除。该算法可以有效区分图像区域边缘与椒盐噪声。实验结果表明,该算法可以有效去除密度范围从 0~0.9 的椒盐噪声,在 0.9 的噪声密度下,算法的峰值信噪比仍可达到 30 dB。满足有效去除不同密度范围的椒盐噪声的同时保护图像细节的要求。

关键词:椒盐噪声;图像去噪;噪声检测;图像细节;图像滤波

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20203502.0167

Salt and pepper noise filtering algorithm based on connectivity detection

MA Yi-dong, ZHOU Shun-yong*

(School of Automation and Information Engineering Sichuan University
of Science & Engineering, Yibin 644005, China)

Abstract: In order to protect the image edge details while filtering out the image salt and pepper noise, an image salt and pepper noise filtering algorithm based on connectivity detection is proposed. Since the gray value of the salt and pepper noise point tends to be different from the gray value of the normal pixel point, the algorithm compares the pixel point gray value with the gray value of the neighborhood pixel point to make the pixel point with larger difference. It is listed as a suspected noise point, and then it is judged whether the point is a noise point by detecting whether the suspected noise point is a part of the image connected area. The noise point is finally filtered out by the median filter. The algorithm can effectively distinguish the edge of the image area from the salt and pepper noise. The experimental results show that the algorithm can effectively remove the salt and pepper noise with the density ranging from 0 to 0.9. The peak signal-to-noise ratio of the algorithm can still reach 30 dB with the noise density of 0.9. It satisfies the requirement to effectively remove the salt and pepper noise of different density ranges while protecting the image details.

收稿日期:2019-07-29; **修订日期:**2019-10-09.

基金项目:四川省教育厅科研项目(No.17ZB0302)

Supported by Foundation of Sichuan Provincial Department of Education(No.17ZB0302)

* 通信联系人, E-mail: zsy@suse.edu.cn

Key words: salt and pepper noise; image denoising; noise detection; image detail; image filtering

1 引言

椒盐噪声作为一种常见的图像噪声,表现为图像上随机出现的或黑或白的噪声点。常称其中的白点为盐噪声,黑点为胡椒噪声。由于胡椒噪声与盐噪声往往在一张图像上同时出现,通常称其为椒盐噪声^[1]。

由于椒盐噪声点的灰度值往往接近像素灰度值可取值的最小值 0 或最大值 255,与周围未被污染的图像像素点灰度值有较大差异,人们往往选用中值滤波算法^[2]来处理椒盐噪声。该算法能有效地处理椒盐噪声,但它不加区分地对所有像素点进行处理也导致了图像细节变得更模糊的问题。针对这一问题,在此算法的基础上,学者们相继提出极值中值算法^[3]、加权中值滤波算法^[4-5]、自适应中值滤波算法^[6-7]等算法。其中的自适应中值滤波算法^[8]为 Hwang 和 Haddad 提出,原理为通过大小可变的窗口消除噪声。Lin 和 Yu 则在自适应中值滤波算法基础上提出了一种基于支持向量机的自适应双通中值滤波器^[9]。这些算法在一些情况下能在处理噪声的同时有效地保护图像的边缘细节,但在另一些情况下效果并不特别理想。

近年来开关中值滤波^[10-11]的思想被提出。该类思想的核心便是:在对图像进行处理之前,首先判断哪些像素点是正常信号点,哪些信号点是噪声点,然后仅对噪声点进行处理。该思路因为避免了对正常信号点的处理,可以最大程度地防止边缘模糊。Jayaraj 和 Ebenezer 提出了一种新的开关中值滤波算法^[12],它基于一维拉普拉斯算子得到的四个卷积的平均绝对值实现对噪声严重影响的图像进行恢复。钟灵等提出了一种超快速矢量中值滤波方法^[13]。该方法在滤波窗口中,用距离均值点最近的向量代替矢量中值滤波方法的输出,降低传统矢量中值滤波方法的计算量。这些开关中值滤波算法主要利用噪声点与周围像素点的灰度值差异信息进行噪声检测,但这种方法仍然会混淆噪声点与一部分图像边缘,导致最终的图像处理效果不够理想。针对该问题,本文提出一种新的滤波算法。该算法首先对信号点进行

连通性判断,然后对用中值滤波算法处理识别为噪声的点。

2 基于连通性判据的滤波算法原理

2.1 邻域灰度值中值判断准则

受椒盐噪声污染的像素点有灰度值在像素灰度最大取值 255 或最小取值 0 附近的特性。但简单地将图像中所有灰度值在 255 或 0 附近的像素点都作为噪声点处理则会破坏图像的正常边缘,影响处理最终得到的效果。为了减少计算量,本文先将不符合椒盐噪声特性的像素点从疑似噪声点中排除,判断公式如下:

$$g_{1i,j} = \begin{cases} 1, & f_{i,j} \in [0, \delta] \text{ or } f_{i,j} \in [255 - \delta, 255] \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, \quad (1)$$

其中: g_{1ij} 为经过一级检测的 0,1 矩阵, f_{ij} 为表示原始图像的像素灰度值,为预先设定的阈值(此处取值为 10)。

考虑到正常像素点与其周围的像素点灰度值相近,而椒盐噪声点与其邻接的正常像素点之间存在较大差异,将像素点灰度值与其邻域灰度值中位数相减并取其绝对值,当该像素点为噪声点时,可以得到一个较大的值。所以本文将用该方法所求得的差值的绝对值作为第二级检测的判断依据,当该数值大于 50 时,将像素点视为疑似噪声点。判断公式如下:

$$g_{2i,j} = \begin{cases} 1 & |f_{i,j} - m_{i,j}| > 50 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}, \quad (2)$$

其中: g_{2ij} 为经过二级检测的 0,1 矩阵, f_{ij} 为表示原始图像的像素灰度值, m_{ij} 为像素点邻域灰度值中位数。

2.2 连通性判断准则

传统的中值滤波算法原理是用像素点邻域灰度值的中值替代当前像素点,而本文则利用邻域灰度值中值辅助判断一个点是否是噪声点。该方法的缺点是只能区分出部分种类的边缘像素点与噪声点,在面对一些较尖锐或细长的边缘区域中的像素点的情况,因为这些像素点多面邻接其他区域的像素点,邻域灰度值中位数会与其灰度值有较大差值,该判断准则会失效。

针对这一问题,本文在第二级检测的基础上考察像素点与周围区域的连通性。图像中尖锐边缘与椒盐噪声的一个最主要区别便是尖锐边缘中的像素点与图像中的一个大块区域相连通,而椒盐噪声则表现为图像上的一个孤立的像素点或小黑(白)斑(当噪声密度较高时,噪声点恰好聚集在一起形成)。

然后本文将利用种子填充法考察疑似噪声点是否是图像连通区域的一部分。核心思路是将疑似噪声点作为种子,然后将与其相邻且像素值相近的像素点合并到一个像素点集合中,当集合中元素数量大于设定阈值时,判断该像素点为非噪声点。如果没有像素满足条件加入种子点所在区域或只有有限的几个点加入的情况,本文视所考察的像素点为噪声点。

最终用像素点邻域灰度值的中值替代识别为噪声的像素点。

3 算法的具体步骤及其改进

3.1 算法的具体步骤

按如下步骤遍历图像中所有像素:

Step 1: 历遍图像所有像素点,判断像素点灰度值是否在 $[0, \delta]$ 或 $[255 - \delta, 255]$ 范围中 ($\delta=10$)。如果在,将该像素点添加到列表 list 1 中。

Step 2: 历遍列表 list 1 中所有像素点,计算每个像素点的灰度值与其八邻域灰度值中位数的差值的绝对值。当绝对值大于 50 时,将该像素点添加到列表 list 2 中。

Step 3: 用种子填充法考察疑似噪声点,即按以下处理方法依次处理 list 2(疑似噪声点)中的像素点。

在每次运行算法前,设一变量 i 初始值为 1,算法运行时种子点所在区域每增加一个像素点, i 的值加 1,同时将增加的像素点传入 list 3(相似点),当 i 值大于 j ($j=5$) 时停止种子填充算法,记录所有像素点算法终止时的 i 值,同时将 list 3 中的点从 list 2 中删除(避免重复判断,节省程序运算时间)。当 i 值小于等于 j 时,将 list 3 中所有像素点传入列表 list 4(噪声点)。

Step 4: 历遍列表 list 4 中所有像素点,用其邻域灰度值中位数替代当前像素点灰度值。当噪

声密度低于 0.5 时,使用 8 邻域;高于 0.5 时,扩大为 24 邻域。

按该方法可以有效地去除孤立噪声点和像素数量小于 5 的黑(白)斑。Step 3 中的变量 i 作用是控制生长区域的大小。毕竟所考察的像素点是正常像素点的情况下,本文不必找出其连通的整个区域。

3.2 算法的改进

为了验证本文算法的有效性,本文选择图像处理邻域的经典图像 lena(大小为 512×512),给图像分别加入 0.1, 0.2, 0.3 的椒盐噪声运行程序,然后观察结果。

处理结果如图 1 所示,其中的(a)、(b)分别是对加入 0.2、0.3 的椒盐噪声(图中 r 表示加入图像的椒盐噪声密度)的图像处理结果。可以观察到图 1(a)中有少量噪声并未得到有效处理。

经过实验,可以判断这些噪声点未得到有效处理的原因有两种:(1)在检测环节受其他噪声的影响未能被有效识别;(2)去噪过程用于替代当前像素点的灰度中值也是一个噪声点,导致无法实现去噪效果。针对这两种情况,本文只要在处理得到的图像的基础上再运行几遍算法即可去除这些噪声。

观察图 1(b)可以发现,除了图 1(a)中出现的那种孤立噪声点的情况,还出现了一些更明显的黑(白)斑。这是因为本文限制了 Step 3 中的 i 值小于 5,使得数目大于 5 的噪声点聚集起来的情况得不到有效处理。但考虑这种像素数量大于 5 的黑(白)斑相对周围区域孤立的特点并未发生改变。本文可以通过修改 j 值(i 可取到的最大值)的方式来消除这些噪声性。

为了避免一直要手动调整 j 值(i 可取到的最大值),本文可以通过循环使 j 值自增,依次消

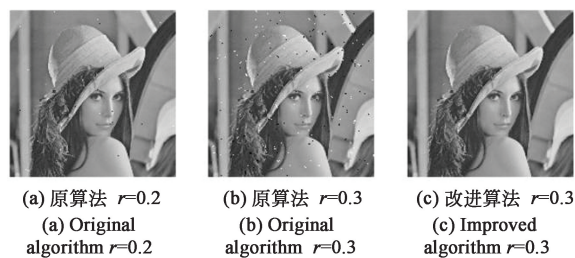


图 1 算法处理加噪图像效果图

Fig.1 Result of processing the noisy image with an algorithm

除从小到大的噪声区域。在 Step 4 之后,增加 Step 5: $j = j + 5$ 。

对图像循环执行 Step 1~Step 5,直到满足条件:执行 Step 4 时发现 list 3 为空列表(即执行 Step 3 时发现图像中没有噪声点),此时停止循环,输出处理好的图像。

按上述方法改写算法。用改过的算法重新处理加过噪声的图像。观察被处理图像,可以发现经过改进的算法有效地解决了本文之前遇到的问题。这里只展现之前效果最差的图 1(b)用改写算法重新处理的效果,处理结果见图 1(c)。

4 仿真结果及分析

本文算法为在 OpenCV 图像处理函数库基础上,使用 python 3.7 编写而成。现为了验证算法效果,选择 512×512 大小的 lena 作为测试图像,在操作系统为 Windows10, CPU 为 Intel(R) Core(TM) I7-8750H CPU@2.20 GHz,内存为 8 GB 的计算机上进行仿真实验。

为了直观评价算法效果,现分别用标准中值滤波(Standard median filter, SFM)算法、极值中值滤波(Extreme median filter, EM)算法^[14]、自

适应中值滤波(Improved adaptive median filter, IAM)算法^[15]、基于直方图的加权均值滤波算法(Histogram weighted filter, HWF)^[16]和本文的连通检测中值滤波算法(Connectivity detection median filter, CDM)分别处理加入 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 椒盐噪声的图像,可以发现本文算法处理结果的视觉效果优于其他算法。

图 2 中分别展示了对比算法中表现最好的改进自适应中值滤波算法、基于直方图的加权均值滤波(HWF)算法与本文算法处理加入了 0.1, 0.5, 0.9 密度的椒盐噪声图像的效果。

图 2 中(a)、(b)、(c)为改进自适应中值滤波(IAM)算法,(d)、(e)、(f)为基于直方图的加权均值滤波(HWF)算法,(h)、(i)、(j)为本文提出的算法分别处理加入了 0.1, 0.5, 0.9 密度的椒盐噪声(r 表示加入图像的椒盐噪声密度)的图片的效果。

可以发现本文算法在不同噪声密度条件下表现均好于其他算法。特别是在 0.9 的噪声密度的情况下,其他算法不是未能有效地去除噪声就是得到的图像严重模糊。相比而言,本文算法在去除噪声的同时很好地保存了图像的细节。

峰值信噪比(Peak signal-to-noise ratio, PSNR)是一种衡量图像质量的客观评价标准^[17-20]。一般求得的 PSNR 越大,表示滤波效果越好。其计算公式如下:

$$R_{\text{PSN}} = 10 \times \lg \frac{(L-1)^2}{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - \hat{f}(i,j)]^2}, \quad (3)$$

其中 $L=256$, 和 $\hat{f}(i,j)$ 分别是原图和滤波处理后的图像。

本文分别计算经不同算法处理后图像的 PSNR 值,并与经本文算法处理后得到的图像的 PSNR 值进行比较。

观察图 3,可以发现整个噪声率范围内本文的连通检测滤波算法效果都要优于其他算法。在 0.1~0.7 噪声密度情况下,本文算法的 PSNR 值分别为 42, 36, 33, 32 dB, 始终比用于其他 4 个算法中表现最好的 HWF 算法高 3 dB;而在 0.9 的噪声密度下, PSNR 值为 30 dB, 较 HWF 算法高 5.5 dB。

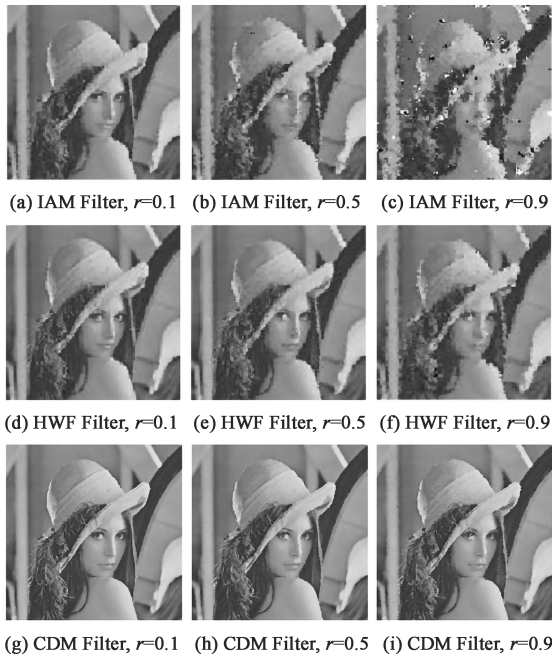


图 2 不同算法处理加噪图像效果图

Fig.2 Noise-removing effects based on different digital filter algorithm

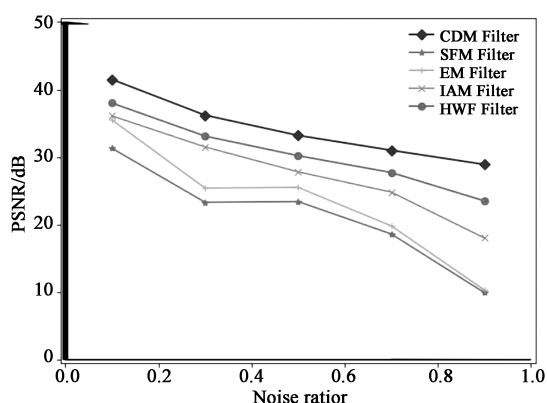


图3 不同噪声密度下各算法的PSNR值

Fig.3 PSNR values of each algorithm at different noise densities

表1 各算法运行时间

Tab.1 Running time of algorithms

滤波算法	不同噪声密度下的平均耗时/ms				
	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
SFM	0.44	0.37	0.36	0.59	0.46
EM	0.76	0.81	0.56	0.44	0.69
IAM	2.16	2.11	2.32	2.28	2.36
HWF	1.08	1.25	1.28	1.32	1.56
CDM	9.83	24.51	43.19	69.87	85.54

从表1可知,在0.1~0.9的噪声密度下,本文算法处理噪声所需时间都要长于其他的4种算法,且所需时间随着噪声密度的增加而增加。这是因为在高密度噪声的情况下,本文算法需要增加循环次数以消除噪声点聚集在一起形成的更大的黑(白)斑块。但即使是在0.9的噪声密度下,算法的运行时间也只是85.54 ms,仍在可接受的范围内。

5 结 论

本文分析了椒盐噪声的特性,针对椒盐噪声相对孤立的特点,提出了一种基于像素连通性判断的椒盐噪声检测算法。针对在低密度噪声情况下遇到的椒盐噪声点无法除尽问题和高噪声密度下椒盐噪声点聚集为椒盐噪声块问题,分别通过循环处理和修改种子填充算法的截止条件对算法进行优化、改进,最终获得了良好的滤波效果。该算法避免了不加区分地处理所有像素点,在去除噪声的同时有效地保护了图像的边缘细节。实验结果表明,本文提出的算法可以有效处理密度在0~0.9范围的椒盐噪声,且在0.9的噪声密度下算法可保证30 dB的峰值信噪比。满足有效去除不同密度范围内的椒盐噪声的同时保护图像细节的要求。

参 考 文 献:

- [1] SINGH V, DEV R, DHAR N K, *et al.* Adaptive type-2 fuzzy approach for filtering salt and pepper noise in grayscale images [J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2018, 26(5): 3170-3176.
- [2] MA C B, LV X W, AO J. Difference based median filter for removal of random value impulse noise in images [J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2019, 78(1): 1131-1148.
- [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] SHI Z H, LI Y W, ZHANG C Q, *et al.* Weighted median guided filtering method for single image rain removal [J]. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2018, 2018(1): 35.
- [5] YANG R K, YIN L, GABBOUJ M, *et al.* Optimal weighted median filtering under structural constraints [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1995, 43(3): 591-604.
- [6] 王拓,王洪雁,裴炳南.一种消除椒盐噪声的迭代自适应中值滤波算法[J].电光与控制,2019,26(2):23-27.
WANG T, WANG H Y, PEI B N. An iterative adaptive median filtering algorithm for salt and pepper noise removal [J]. *Electronics Optics & Control*, 2019, 26(2): 23-27. (in Chinese)
- [7] ZHANG S R, LI X N, ZHANG C Y. Modified adaptive median filtering [C]//*Proceedings of 2018 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City*. Xiamen, China: IEEE, 2018.
- [8] HWANG H, HADDAD R A. Adaptive median filters: new algorithms and results [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1995, 4(4): 499-502.

- [9] LIN T C, YU P T. Adaptive two-pass median filter based on support vector machines for image restoration [J]. *Neural Computation*, 2004, 16(2): 333-354.
- [10] ZHANG Z, HAN D Q, DEZERT J, *et al.* A new adaptive switching median filter for impulse noise reduction with pre-detection based on evidential reasoning [J]. *Signal Processing*, 2018, 147: 173-189.
- [11] 郑亮, 方恩印, 朱明. 基于开关二级检测的图像椒盐噪声滤波算法[J]. 液晶与显示, 2019, 34(1): 74-80.
ZHENG L, FANG E Y, ZHU M. Salt and pepper noise filtering algorithms based on switch two-stage detection [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(1): 74-80. (in Chinese)
- [12] JAYARAJ V, EBENEZER D. A new switching-based median filtering scheme and algorithm for removal of high-density salt and pepper noise in images [J]. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2010, 2010(1): 690218.
- [13] 钟灵, 章云. 对等组的快速开关型矢量中值滤波[J]. 计算机工程, 2010, 36(22): 20-21, 25.
ZHONG L, ZHANG Y. Ultra-fast switching vector median filtering of peer group [J]. *Computer Engineering*, 2010, 36(22): 20-21, 25. (in Chinese)
- [14] 苟中魁, 张少军, 李忠富, 等. 一种基于极值的自适应中值滤波算法[J]. 红外与激光工程, 2005, 34(1): 98-101.
GOU Z K, ZHANG S J, LI Z F, *et al.* New adaptive median filter algorithm based on extreme value [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, 34(1): 98-101. (in Chinese)
- [15] 黄文笔, 战荫伟, 陈家益, 等. 改进的自适应中值滤波算法[J]. 计算机系统应用, 2018, 27(10): 183-188.
HUANG W B, ZHAN Y W, CHEN J Y, *et al.* Improved adaptive median filtering algorithm [J]. *Computer Systems & Applications*, 2018, 27(10): 183-188. (in Chinese)
- [16] 唐彩虹, 蔡利栋. 一种基于直方图的加权均值滤波方法[J]. 微计算机信息, 2006, 22(13): 202-204.
TANG C H, CAI L D. A weighted mean filtering algorithm based on histogram [J]. *Microcomputer Information*, 2006, 22(13): 202-204. (in Chinese)
- [17] SHANG X W, LIANG J, WANG G Z, *et al.* Color-sensitivity-based combined PSNR for objective video quality assessment [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2019, 29(5): 1239-1250.
- [18] HORÉ A, ZIOU D. Is there a relationship between peak-signal-to-noise ratio and structural similarity index measure? [J]. *IET Image Processing*, 2013, 7(1): 12-24.
- [19] 闫歌, 许廷发, 马旭, 等. 动态测量的高光谱图像压缩感知[J]. 中国光学, 2018, 11(4): 550-559.
YAN G, XU T F, MA X, *et al.* Hyperspectral image compression sensing based on dynamic measurement [J]. *Chinese Optics*, 2018, 11(4): 550-559. (in Chinese)
- [20] 何阳, 黄玮, 王新华, 等. 稀疏阈值的超分辨率图像重建[J]. 中国光学, 2016, 9(5): 532-539.
HE Y, HUANG W, WANG X H, *et al.* Super-resolution image reconstruction based on sparse threshold [J]. *Chinese Optics*, 2016, 9(5): 532-539. (in Chinese)

作者简介:



马逸东(1995—),男,江苏海安人,硕士研究生,2017年于南京工业大学浦江学院获得学士学位,主要从事数字图像处理方面的研究。E-mail:1840521341@qq.com



周顺勇(1975—),男,四川隆昌人,硕士,副教授,2009年于电子科技大学获得硕士学位,主要从事信号与信息处理、通信电子技术方向的研究。E-mail:zsy@suse.edu.cn