

基于图像噪声检测的平滑方法研究

娄联堂, 吴高林*

(中南民族大学 数学与统计学学院, 武汉 430074)

摘要 针对含有椒盐噪声的图像, 首先利用了 TSMD 阈值方法将图像二值化, 有效地检测了图像的噪声, 然后估算出了噪声图像的 SNR, 比较了与原噪声图像 SNR 的差异程度, 得到了相应地质量评价方法, 最后通过选择性中值滤波的方法去除了图像上的噪声. 结果表明: 相比于全局中值滤波方法, 该方法能够有效地去除椒盐噪声, 保留更多的图像细节, 对图像的影响较小.

关键词 噪声检测; 图像平滑; TSMD 阈值方法; 质量评价; 选择性中值滤波

中图分类号 TP751.1 文献标识码 A 文章编号 1672-4321(2017)04-0137-06

Research on Smoothing Method Based on Image Noise Detection

Lou Liantang, Wu Gaolin

(College of Mathematics and Statistics, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

Abstract In this paper, firstly, the TSMD threshold method was used to binarize the image to effectively detect the noise of the image containing salt and pepper noise. Then the SNR of the noise image was estimated, and the difference with the original noise image was compared, the corresponding quality evaluation method was obtained. Finally, the noise on the image was removed by the selective median filter method. The results showed that, compared to the global median filter method, this method can effectively remove the salt and pepper noise, retain more details of the image and has less impact on the image.

Keywords noise detection; image smoothing; TSMD threshold method; quality evaluation; selective median filter

由于在图像的获取和传输过程会引入噪声, 这使图像的视觉效果受到影响, 图像平滑作为图像的预处理过程, 平滑质量的好坏直接影响到后续的处理和分析. 传统的图像平滑算法有均值滤波、中值滤波、高斯滤波以及基于带权重分数阶积分去噪^[1]的模型, 这些方法在平滑去噪的同时往往会破坏图像许多重要的边缘和纹理等特征, 因此, 如何在去除噪声的同时较好地保持边缘是首先需要考虑的问题. 由于噪声与图像中重要的边缘、细节等都是高频信号, 要对它们进行较好的辨别是很困难的, 这就导致在去除噪声的同时, 图像的结构特征也被损坏了, 图像质量严重下降. 为了解决这一难题, 需要探索更加有效的降噪方法, 使其能够保留更多的图像纹理细节, 从而获取更多有用的信息, 有利于对图像作进一

步的处理.

对图像进行平滑去噪处理之后, 还需要对图像的质量进行评价. Sheikh H. R. 等人^[2]提出了一种基于参考图像的质量评价模型, 它通过小波变换在频域内获得图像的统计模型, 利用 Kullback-Leibler 距离来度量失真图像和参考图像之间的距离, 该方法用来评价图像质量的特征比较少, 具有实现简单的优点. 而杨春玲等人^[3]则提出了基于梯度的结构相似度 (GSSIM) 模型和基于边缘的结构相似度 (ESSIM) 模型, GSSIM 模型能更好地符合人眼视觉系统 (HVS) 特性, 而 ESSIM 模型对于模糊图像有很好的评价效果.

本文首先利用 TSMD 阈值方法对椒盐噪声图像进行二值化处理, 以保留最多的图像细节, 然后估算

收稿日期 2017-07-14 * 通讯作者 吴高林, 男, 研究方向: 数学应用方法与图像处理, E-mail: wugaolin@qq.com

作者简介 娄联堂(1966-), 男, 教授, 博士, 研究方向: 数学应用方法与图像处理, E-mail: louliantang@163.com

基金项目 国家自然科学基金资助项目(60975011); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(CZW15051; YZZ13003); 中南民族大学研究生科研创新基金资助项目(2016sycxjj137)

出噪声图像的信噪比(SNR),对比原噪声图像的SNR,得出相应的图像质量评价标准,最后通过选择性中值滤波方法去除图像上的噪声。

1 基于 TSMD 阈值方法的噪声检测

对于一幅给定的灰度图像 $f(x, y)$, 假设 $f(x, y)$ 的最大值和最小值分别为 M, m , 曲线 l 是点集 $\{(x, y) | f(x, y) = c\}$ 的边界曲线, 则可以定义下面的线积分:

$$E(c) = \int_l \|\text{Grad}f\| ds, \quad (1)$$

这里 $E(c)$ 为图像 $f(x, y)$ 的边缘能量泛函, 此时可以通过计算 $E(c)$ 的最大值来保持图像的边缘信息, 即有:

$$E(c^*) = \max_{m \leq c \leq M} E(c). \quad (2)$$

上述方法称为显示最多细节阈值(threshold of showing the most details: TSMD)方法, 简称 TSMD 阈值方法^[4], 其中 c^* 就是所求的阈值。

由文献[4]可知, 相比于 OTSU 阈值方法^[5],

TSMD 阈值方法可以显示最多的图像细节, 有利于图像的后期处理。TSMD 阈值方法将噪声图像转化为二值图像的过程是: 从梯度的角度出发, 先计算出图像每一点像素的梯度, 然后计算出灰度图像的阈值, 最后通过该阈值将图像二值化。而图像的梯度反映的是图像灰度的变化率, 梯度的方向在图像灰度变化率最大的方向上, 它恰好可以反映出图像边缘上的灰度变化。因此, 通过 TSMD 阈值方法检测含有椒盐噪声的图像时, 由于噪声主要集中在高频分量, 其梯度变化较大, 所以能够有效地检测出噪声, 并确定噪声点的位置。

图1为TSMD阈值方法对椒盐噪声图像进行检测的实验。在实验中, 分别向不同图像添加一定强度的椒盐噪声, 通过TSMD阈值方法能够明显检测出大多数噪声点, 只有少部分噪声点未被检测出来, 一是因为有部分噪声点在图像边缘上, 通过TSMD阈值方法检测出的结果很难区分是噪声还是边缘; 二是因为一些噪声点的灰度值与周围像素点的灰度值相差很小, 通常将这部分噪声点忽略不计。

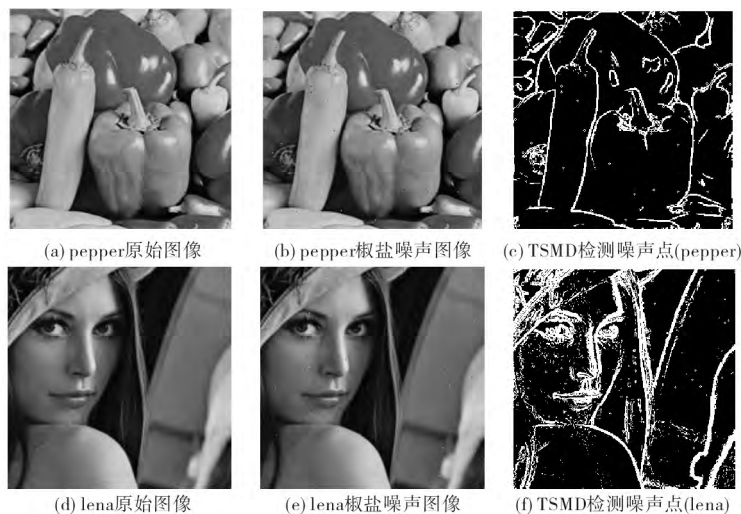


图1 TSMD 阈值方法对椒盐噪声的检测效果

Fig. 1 The detect effect of TSMD threshold method for salt and pepper noise

表1为图1中实验所检测出噪声点的数量统计表。由表中数据可知, TSMD 阈值方法对 pepper 图像的噪声检测率为 100%, 对 lena 图像中的噪声检测

率为 94.1%, 两图像的噪声检测率均高于 94%, 说明 TSMD 阈值方法对图像中椒盐噪声的检测尤为有效。

表1 TSMD 阈值方法检测出的噪声点数量

Tab. 1 The number of noise points detected by the TSMD threshold method

图像	总的噪声点数量/个	边缘处和与灰度值相差很小的噪声点数量/个	需要检测的噪声点数量/个	实际检测出的噪声点数量/个	检测率/%
pepper	33	2	31	31	100
lena	45	11	34	32	94.1

2 图像质量的评价方法

由上述讨论可知,TSMD 阈值方法可以有效地检测出椒盐噪声并确定其位置,因此本节主要通过 TSMD 阈值方法来估计噪声图像的 SNR,然后对比原始噪声图像的 SNR,若两者相差很小,则说明依赖于 TSMD 阈值方法计算出的 SNR 可以作为图像质量的评价方法。需要说明的是,本文图像质量的评价方法只是评价了噪声数量的多少,并没有评价图像的模糊程度。

基于 SNR 的图像质量评价方法主要可以分为 3 种情况:(1) 已知噪声图像和参考图像;(2) 已知噪声图像及其 SNR;(3) 已知噪声图像。下面将分别对这 3 种情况进行讨论。

对于第 1 种情况,首先在参考图像上添加一定数量的噪声点得到噪声图像,并通过噪声图像和参考图像计算出图像的 SNR,然后采用 TSMD 阈值方法分别对参考图像和噪声图像进行二值化处理,最后将两幅二值化图像作差,这样就可以得到通过

TSMD 阈值方法所检测出的噪声点的位置及其数量,从而估算出原噪声图像的 SNR,对比两个 SNR 的差值大小来确定 SNR 是否可以作为图像质量的评价标准。

对于第 2 种情况,通过 TSMD 阈值方法对已知 SNR 的噪声图像进行二值化处理,观测检测出的噪声点数量,并估算出噪声图像的 SNR,对比已知的图像 SNR 来确定是否可以作为评价标准。

由前两种情况可以说明,依赖于 TSMD 阈值方法计算出的 SNR 可以作为图像的质量评价指标,因此在第 3 种情况下,只需要估计出噪声图像的 SNR 就可以了。

图 2 是在第 1 种情况下的实验结果。分别向两幅原始图像中添加 20 个固定位置的黑白像素点来模拟椒盐噪声,然后通过 TSMD 阈值方法对噪声点进行检测,并观察检测出的噪声点数量,从而估算出噪声图像的 SNR,最后对比原噪声图像的 SNR。通过实验可知,TSMD 阈值方法能够检测出了图像中的大部分噪声点,并且可以估计出图像的 SNR。

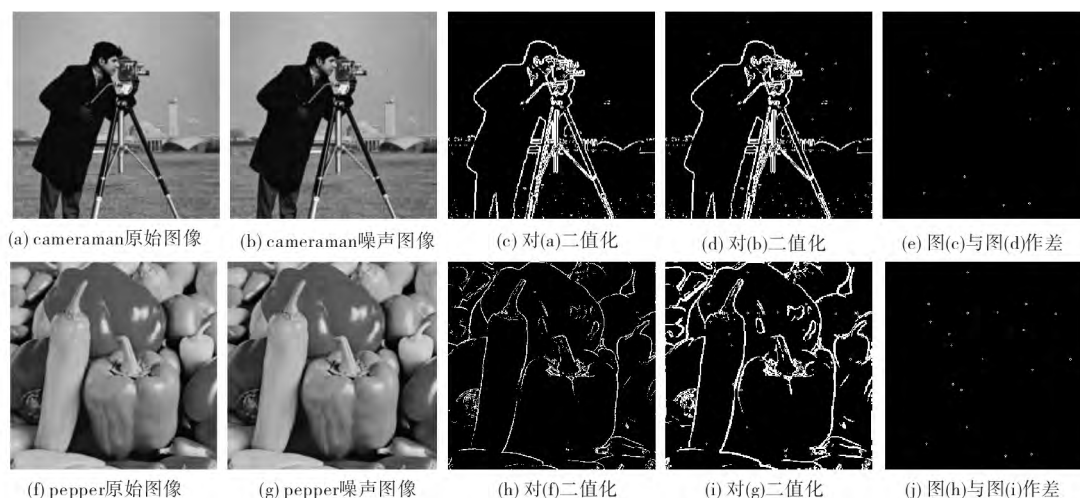


图 2 第 1 种情况下的图像质量评价

Fig. 2 Image quality evaluation in the first case

图 3 是在第 2 种情况下的实验结果。采用 TSMD 阈值方法对已知 SNR 的噪声图像进行检测,观察检测出的噪声点数量,然后估算出噪声图像的 SNR,并与已知的 SNR 作对比。

图 4 为在第 3 种情况下的实验结果。直接对椒盐噪声图像通过 TSMD 阈值方法进行二值化处理,通过检测出的噪声点数量来估算出噪声图像的 SNR。

表 2 为由上述三组实验(图 2、图 3、图 4)计算

出的噪声图像 SNR 以及估算的噪声图像 SNR 数据。在前两种情况下,采用 TSMD 阈值方法估算出的 SNR 与直接计算出的 SNR 相差很小,并且估算出的 SNR 略大于直接计算的 SNR,四幅图像的误差率均小于 8%。由于通过 TSMD 阈值方法只能检测出大多数的噪声点,有极少部分噪声点未被检测出来,主要原因是噪声点有可能在图像的边缘上或者与其周围像素点的灰度值相差很小,因此本文方法估算的 SNR 存在一定的误差,但这部分误差对图像整体

的质量评价影响较小,并且其误差率是在可接受的范围之内的,因此将 TSMD 阈值方法估算出的 SNR 作为图像质量的评价标准是可行的.对于第三种情

况,可以直接将估算出的图像 SNR 作为质量评价指标.

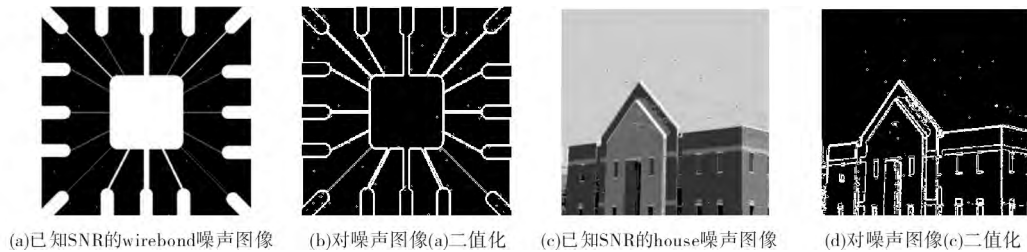


图3 第2种情况下的图像质量评价

Fig. 3 Image quality evaluation in the second case

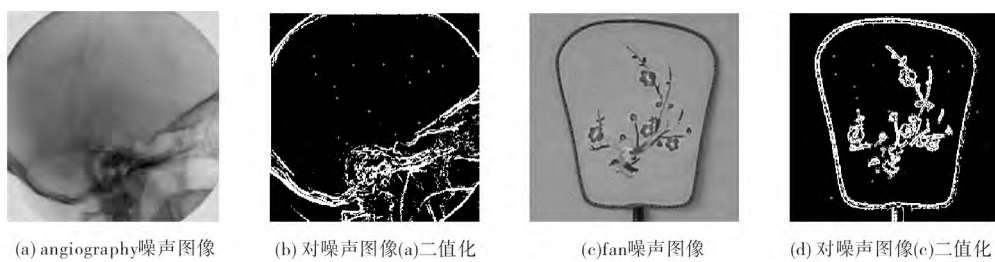


图4 第3种情况下的图像质量评价

Fig. 4 Image quality evaluation in the third case

表2 不同噪声图像 SNR 比较

Tab. 2 Comparison of the SNR for different noise image

图像	直接计算 / 已知 SNR	估算 SNR	误差率 / %	
第1种情况	cameraman	29.2721	30.4398	3.84
	pepper	26.5880	26.6851	0.36
第2种情况	wirebond	30.1806	32.5323	7.23
	house	27.4813	29.4005	6.53
第3种情况	angiography	-	28.4364	-
	fan	-	22.7046	-

3 选择性中值滤波图像去噪方法

对一幅椒盐噪声图像通过 TSMD 阈值方法二值化后,可以采用邻域法去除二值图像中的噪声点:即给定一个大小合适的邻域,然后将这个邻域遍历整幅二值图像,当此邻域内的前景像素数量小于当前邻域总像素数量的一定概率时,可以认为当前邻域内的前景像素是噪声点,然后再在灰度图像上将该邻域中的像素进行有选择性的中值滤波处理,从而达到去除椒盐噪声的目的.然而,对整幅灰度图像直接进行中值滤波处理,是一种全局的中值滤波处理方法,实验结果将会变得比较模糊,而采用选择性中值滤波处理方法,它只对噪声点作处理,其实验效果明显优于全局中值滤波.

为了更加准确的说明本文方法的去噪效果,常常采用 SNR 的方法来评估去噪结果的好坏. SNR 反映的是图像信号与噪声信号的功率之比,它是一种常用的去噪效果评价方法,其值越大,说明该图像的去噪效果越好.同时,也可以用结构相似度(SSIM)^[6]、均方误差(MSE)、质量指数(QI)^[7]等实验数据来度量去噪图像的细节保持情况.其中,SSIM 是为了说明两图像之间的相似程度,分别从亮度、对比度、结构度三个方面来度量图像的相似性,其值越接近于1,则说明该图像失真越小;MSE 表明了两幅图像的总差异,数值越大表明差异越明显;QI 是通过处理前后图像的方差、均值等数据来度量图像的质量,其值越接近于1,说明图像的质量越好.

基于选择性中值滤波图像去噪方法的步骤如下.

- 1) 将椒盐噪声图像采用 TSMD 阈值方法得到二值图像;
- 2) 选择大小合适的邻域;
- 3) 用此邻域遍历整个二值图像;
- 4) 判断当前邻域内的前景像素数量,若其小于邻域内总像素数量的一定概率时,就可以将当前邻域内的前景像素看作是噪声点,继续进行步骤 5),否则返回步骤 3);
- 5) 给当前邻域内的像素点赋值为 0,得到去噪的二值图像,观察二值图像中的噪声点大部分被去除的同时是否保留了较多的图像细节,是则进行步骤 6),否则返回步骤 2);
- 6) 在灰度图像对应的区域内采用选择性中值滤波方法,去除相应的噪声点,从而得到去噪的灰度图像.

4 实验结果与分析

像去噪实验. 其中,第 1 列为三组不同的椒盐噪声图像;第 2 列为采用 TSMD 阈值方法所得到的二值图像,从实验中可以看出大部分噪声都被检测出来了;第 3 列为去除邻域内的噪声点,实验结果显示大多数噪声点都被去除了;第 4 列为在噪声图像(即第 1 列)上采用本文方法对检测到的噪声区域进行去噪;第 5 列为直接在原始噪声图像上进行全局中值滤波的实验结果. 对比第 4 列和第 5 列的实验结果,很明显第 4 列的三组实验结果更加清晰,而第 5 列较为模糊,这是因为本文方法是一种选择性中值滤波方法,而直接采用中值滤波处理是一种全局去噪方法. 对比图 5(i)和图 5(j)可知,采用本文方法去噪效果要优于直接进行中值滤波处理的效果,不仅图像更加清晰,同时也保留了更多的图像细节,而在图 5(j)中,图像的细节显示非常模糊,甚至破坏了图像的结构. 因此,本文方法在保留更多图像细节的基础上,达到较好的去噪效果.

图 5 为基于选择性中值滤波方法的椒盐噪声图

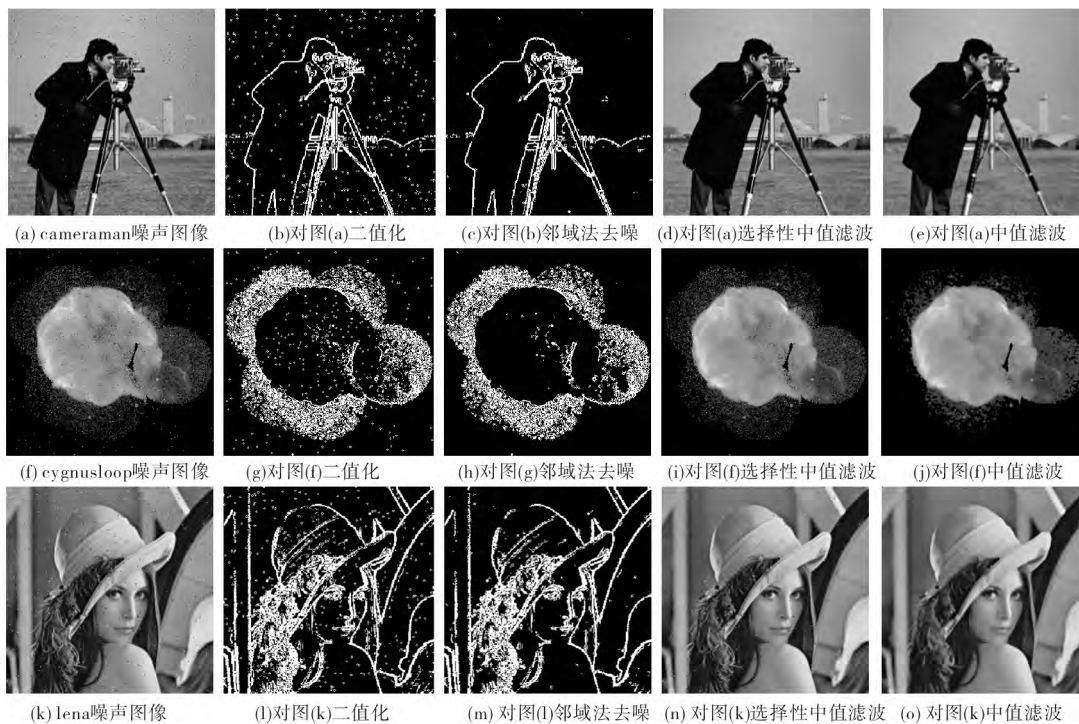


图 5 基于选择性中值滤波方法的图像去噪

Fig. 5 Image denoise based on selective median filter method

表 3 是不同方法对各图像处理后的 SNR 对比. 对于 3 幅不同的图像,本文方法所得的去噪图像 SNR 均大于中值滤波方法,说明本文方法的去噪效果优于中值滤波方法. 对于 cygnusloop 图像,本文方

法所得的 SNR 远远大于中值滤波方法,这是因为中值滤波方法破坏了图像的结构,而本文方法对图像结构的破坏很小.

表3 不同方法对各图像处理后的 SNR

Tab.3 The SNR of different methods for different images

方法	图像类别			
	cameraman	cygnusloop	lena	
SNR	本文方法	20.9012	17.9528	18.3384
	中值滤波	14.9400	9.1930	15.3894

表4为不同方法对各图像处理后的各组实验数据的对比,可以看出,对于椒盐噪声而言,本文方法的实验效果明显优于中值滤波处理的实验效果,说明本文方法在去除图像噪声时对图像的质量保持较好,而中值滤波方法对图像的质量破坏较大.对于三幅不同的图像,采用本文方法得到的SSIM、QI均高于中值滤波方法,而MSE均小于中值滤波方法,并且相差较大,这说明采用本文方法得到的去噪图像

与参考图像的差异程度较小,而中值滤波方法得到的去噪图像与参考图像差异较大.对于cygnusloop图像,比较本文方法与中值滤波方法得到的实验结果,各项数据均差别较大,这是因为本文方法对图像的细节保留较好,而中值滤波对图像的细节保留较差,甚至破坏了图像的结构,这与图5的实验结果是一致的.

表4 不同方法对各图像处理后的细节保持情况

Tab.4 The details remain of different methods for different images

图像	方法	SSIM	MSE	QI
cameraman	本文方法	0.9787	2.2108	0.9614
	中值滤波	0.8715	14.6420	0.6379
cygnusloop	本文方法	0.9393	2.4104	0.5787
	中值滤波	0.6082	17.9479	0.2175
lena	本文方法	0.9594	1.8110	0.9504
	中值滤波	0.8647	15.9955	0.7642

通过上述一些实验及数据可知,TSMD阈值方法对椒盐噪声的检测尤为有效,通过TSMD阈值方法可以计算出图像的SNR,并且将其作为图像质量的评价标准也是可行的,采用TSMD阈值方法先将图像二值化,然后通过选择性中值滤波的方法对其进行去噪处理,既能够达到较好的去噪效果,也能够保持很好的图像质量,克服了全局中值滤波方法的不足.

本文方法也存在一定的不足,它只对椒盐噪声有较好的去噪效果,不能很好地区分出其他类型的噪声点;本文方法只能检测出大部分的噪声点,还有少部分噪声点未被检测出来,这会对图像的质量评价及去噪效果产生一定的影响.在后面的研究中将着力解决以上问题.

参 考 文 献

- [1] 娄联堂,方自成,韦茜好,等.带权重分数阶积分图像去噪方法[J].中南民族大学学报(自然科学版),2016,35(3):146-150.
- [2] Sheikh H R, Wang Z, Cormack L, et al. Blind quality

assessment for JPEG2000 compressed images [J]. IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2002, 2(2): 1735-1739.

- [3] 杨春玲,旷开智,陈冠豪,等.基于梯度的结构相似度的图像质量评价方法[J].华南理工大学学报(自然科学版),2006,34(9):22-25.
- [4] Lou L T, Dan W, Chen J Q. A threshold selection method based on edge preserving [C]//SPIE. Ninth International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition (MIPPR). Enshi: Automatic Target Recognition and Navigation, 2015: 181-185.
- [5] Nobuyuki O. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [6] Wang Z, Sheikh H R, Bovik A C. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [7] Wang Z, Bovik A C. A universal image quality index [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2003, 9(3): 81-84.