

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2016.04.006

# 一种图像增强空域客观评价方法

汪祖辉, 孙刘杰, 邵 雪

(上海理工大学 出版印刷与艺术设计学院, 上海 200093)

**摘 要:** 针对图像增强效果常用主观评价而没法定量客观评价, 提出一种空域结合 BRISQUE 和 JND 的图像增强客观评价方法。该方法空域内将测试图像分别进行 BRISQUE 失真评分和 JND 视觉评分, 然后将所得分数以 0.5 的权重进行加权处理, 所得总分即为增强后图像的客观评价得分。为验证所提方法的有效性, 进行了系列实验: 首先, 认证图像失真相同背景亮度增大 BRISQUE 值不变, 而视觉 JND 值随之改变; 其次, 认证相同背景亮度不同失真图像的 JND 值不变, 而 BRISQUE 值不同; 最后对增强后的图像应用所提算法进行评分, 得到 Score 最高分为 0.790 5, 与主观评价结果一致, 而 PSNR、SSIM 的评分最高为  $\infty$  和 1, 但都是和原图像本身比较, 不能表明图像增强效果。从而证明所提算法能够定量地对图像增强进行客观评价。

**关键词:** BRISQUE; 人眼感知亮度阈值; 人眼视觉; 图像增强; 客观评价

**中图分类号:** TP391

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2016)04-0030-05

## An Objective Evaluation Method of Image Enhancement

WANG Zuhui, SUN-LIU Jie, SHAO Xue

(College of Communication and Art Design, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Image enhancement results were often assessed by subjective evaluation and the assessment could not be quantitative and objective. A new method of objective evaluation for image enhancement based on BRISQUE and JND was presented. The BRISQUE distortion score and JND visual score were performed in the spatial domain, and the score obtained by the weighted total score of 0.5 would be the objective evaluation score of the post image. In order to verify the effectiveness of the proposed method, a series of experiments were carried out. Firstly, to certify image distortion with same background brightness by increasing BRISQUE value, the visual JND value was changed accordingly; Secondly, to certify with the same background brightness of the same JND value of different distortion images, the BRISQUE values were different. Finally, the evaluation of enhanced image based on the proposed algorithm achieved the highest score of 0.790 5, and the result was consistent with subjective evaluation results. While PSNR, SSIM score was the highest of infinity and 1, both were compared with the original image, which could not show the effect of image enhancement. It showed that the proposed algorithm could objectively evaluate the image enhancement.

**Key words:** BRISQUE; JND; human visual; image enhancement; objective evaluation

## 0 引言

近年来, 数字图像在人们的生产生活中扮演着越来越重要的角色, 但是图像在采集过程中会受到

设备限制、环境噪声、人为操作等影响, 导致图像不利于人眼观察或者机器识别, 因此, 图像增强工作至关重要<sup>[1]</sup>。已有图像增强算法较多<sup>[2-5]</sup>, 但增强

收稿日期: 2016-03-11

基金项目: 上海市教委科研创新基金资助重点项目 (13ZZ111)

作者简介: 汪祖辉 (1991-), 男, 安徽黄山人, 上海理工大学硕士生, 主要研究方向为图像处理和数字水印,

E-mail: 648697988@qq.com

效果多为视觉主观评价<sup>[6-7]</sup>, 而主观评价受被测试者主观感受的影响, 其精确性、准确性、通用性、复杂性都需要改进; 少部分文献使用结构相似性 (structural similarity index, SSIM)、峰值信噪比 (peak signal to noise ratio, PSNR) 等全参考图像质量评价指标进行评价, 但图像增强客观评价是在未知最佳参考图像的条件下进行的, 所以评价效果明显不好; 还有文献提出使用信息熵、局部方差对增强后的图像进行评价<sup>[8-9]</sup>, 但由于这些指标只能反映图像单个指标的效果, 不能完全体现图像质量, 所以不具有实用性和通用性。没有通用客观评价指标, 算法的推广性和鲁棒性会比较差。因此, 设计一个可靠的图像增强客观评价算法具有很强的必要性和实用性。

客观评价图像增强后的效果, 一方面要评价图像在采集、处理、传输过程中产生的失真, 失真越少, 图像质量越好; 另一方面, 人眼是图像最终的接收方, 图像与人眼视觉系统越相符合, 图像质量越好<sup>[10]</sup>。所以本文引入 BRISQUE (blind referenceless image spatial quality evaluator) 无参考图像质量评价, 在空域上为增强后图像的失真进行评分<sup>[11-13]</sup>, 引入人眼感知亮度阈值 (just notice difference, JND)<sup>[14-16]</sup> 在空域上为增强后图像的亮度与人眼视觉系统的关系评分, 且以两者评分之和作为图像增强后的客观评价得分, 并通过实验验证所提方法的有效性, 以期图像增强客观评价提供一定的理论参考。

## 1 BRISQUE 无参考质量评价

BRISQUE 是一种基于空域图像统计特征的通用型无参考图像质量评价算法。该算法基于如下理论前提: 自然图像存在一定的规律, 人眼的视觉特性随着该规律而进化。Anish Mittal 等<sup>[17]</sup>研究发现, 空间域上自然图像的归一化亮度系数存在统计特性的特征, 且符合单位高斯分布。该特征受图像失真影响, 且不同失真对分布产生不同的影响。基于以上研究结果, Anish Mittal 提出了基于空域图像统计特征的 BRISQUE 无参考图像质量评价算法, 具体的算法流程如图 1 所示。

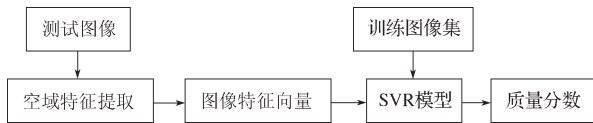


图1 BRISQUE 算法流程图

Fig. 1 BRISQUE algorithm frame chart

分析图 1 所示流程图, 可将该算法整体分作 2 个步骤: 首先, 提取测试图像空域的亮度归一化系数形成特征向量; 然后, 将测试图像的特征向量, 输

入训练图像集提取亮度归一化系数得到的 SVR 模型中, 得到质量评分。对于给定的一幅大小为  $M \times N$  的灰度图像, 每一个像素点  $I(i, j)$  的亮度归一化系数  $\hat{I}(i, j)$  满足如下各式:

$$\hat{I}(i, j) = \frac{I(i, j) - \mu(i, j)}{\sigma(i, j) + c}, \quad (1)$$

$$\mu(i, j) = \sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L \omega_{k,l} I_{k,l}(i, j), \quad (2)$$

$$\sigma(i, j) = \sqrt{\sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L \omega_{k,l} (I_{k,l}(i, j) - \mu(i, j))^2}. \quad (3)$$

以上各式中:  $i \in 1, 2, \dots, M; j \in 1, 2, \dots, N$ ;

$c$  为常数, 且  $c=1$ ;  $K=L=3$ ;

$\mu(i, j)$  和  $\sigma(i, j)$  分别为均值和标准差;

$\omega = \{\omega_{k,l} | k = -K, -K+1, \dots, K, l = -L, -L+1, \dots, L\}$

为对一个二维高斯方程采样归一化。

BRISQUE 算法把亮度归一化系数作为质量相关特征进行质量评价, 利用图像空域特征, 相比其他无参考质量评价省去了各种复杂变换, 因而该算法在相近的精确度前提下具有算法简便、省时的优点, 但对图像亮度进行去相关就等于无视亮度对测试图像质量的影响。前面提到图像质量的好坏既与图像失真有关, 也和人眼视觉相关, 所以 BRISQUE 算法不能直接用作图像增强客观评价指标。

## 2 亮度非线性

人眼对信息的感知是靠对比度进行的, 也就是说人眼对物体的绝对亮度不敏感, 而对亮度值的变化十分敏感。且人眼对亮度的这种感知是非线性的, 人眼恰能分辨的物体亮度被称为 JND。对应空域图像, JND 表示图像像素点  $I(i, j)$  与对应的局部背景亮度恰能被人眼分辨的最小阈值 (通常阈值  $\geq 4$ )。实验测定的不同背景亮度条件的 JND 如图 2 所示, 该曲线的近似表达式见式 (4)。

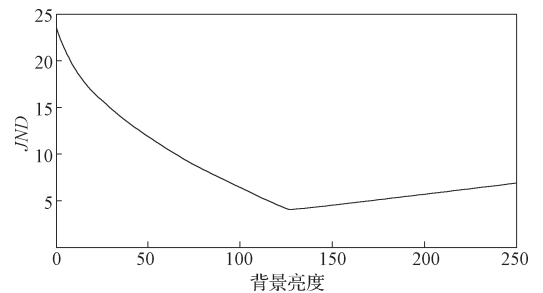


图2 不同亮度背景条件下的视觉阈值曲线

Fig. 2 Visibility thresholds versus background luminance

由图 2 可知, 当背景亮度较小时, JND 值较大, 即图像增强质量较差; 整体分析, 背景亮度越大,

JND 值越小, 图像增强质量越好, 背景亮度越小, JND 值越大, 图像增强质量越差。

$$JND(i, j) = \begin{cases} 21[1 - \sqrt{L(i, j)/127}] + 4, & L(i, j) \leq 127; \\ 3/128(L(i, j) - 128) + 4, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$L(i, j) = \frac{1}{32} \sum_{x=1}^5 \sum_{y=1}^5 f(i-3+x, j-3+y) \circ B(x, y) \quad (5)$$

式中:  $L(i, j)$  为背景亮度;

$B(x, y)$  为加权的低通滤波器, 具体如图 3 所示。

1	1	1	1	1
1	2	2	2	1
1	2	0	2	1
1	2	2	2	1
1	1	1	1	1

图 3 用于计算背景平均亮度的卷积核

Fig. 3 The operator for calculating the average background luminance

### 3 结合 BRISQUE 和 JND 的空域图像增量客观评价方法

BRISQUE 算法对图像亮度去相关, 提取亮度归一化系数向量与自然图像相应特征向量对比, 以实现图像失真评分; JND 将人眼对图像亮度的非线性感知特性进行量化评分。两者相互补充, 而且两者正是图像质量从采集到进入人眼视觉系统的整个过程, 所以理论上两者结合评分能够客观地评价图像质量。整个评分的具体步骤如下:

Step 1 对待增强图像进行图像增强, 得到增强后的图像  $R$ 。

Step 2 将增强后的图像  $R$  进行 BRISQUE 评分, 得到质量分数  $Quality$ , 该得分代表各种失真类型失真程度的加权, 也就意味该分数越高图像质量越差。本文选择将  $Quality$  得分先归一化得到  $Quality^N$ , 然后取  $S_1 = 1 - Quality^N$ 。

Step 3 计算照度图像每个像素的 JND 得分, 将所有像素点 JND 得分取平均值并进行归一化得到  $JND_{mean}$ 。由于 JND 得分越高表明图像质量越差, 本文取  $S_2 = 1 - JND_{mean}$ 。

Step 4 增强后图像  $R$  的客观评价分数  $Score = 0.5 \times S_1 + 0.5 \times S_2$ , 完成客观评价过程。

## 4 实验验证

### 4.1 BRISQUE 对相同失真不同背景亮度图像评分

选取一幅实验图像, 逐渐提高其背景亮度, 得到

图 4 所示 a~d 4 幅不同亮度梯度图像及其直方图。

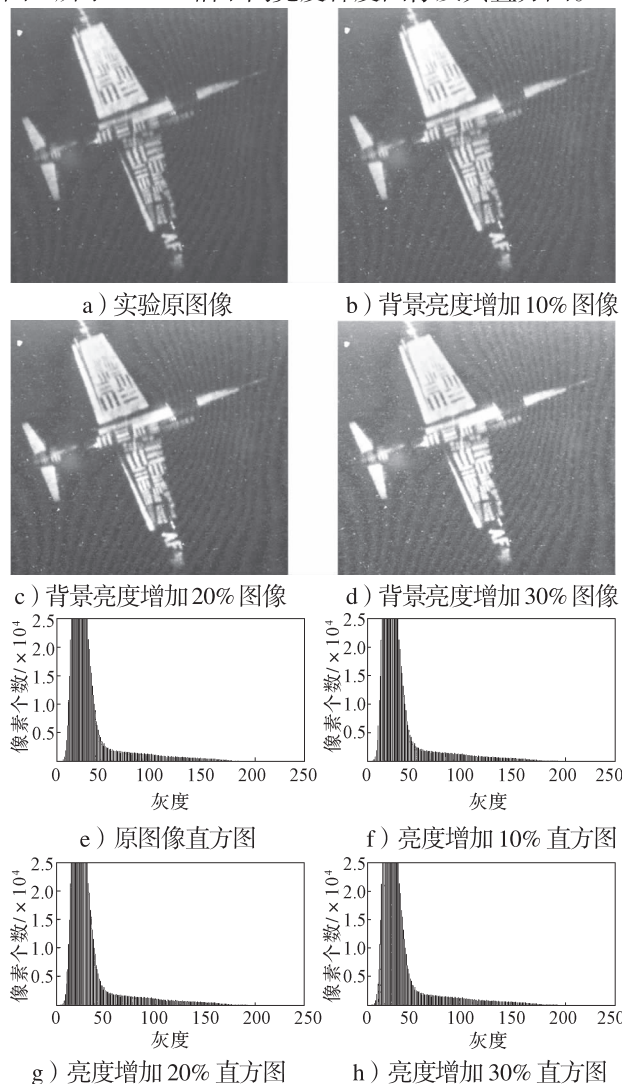


图 4 不同亮度梯度图像及其直方图

Fig. 4 Different luminance gradient image and its histogram

由图 4 可以看出, 单纯改变图像背景亮度不会改变图像的像素值, 因此其直方图分布没有改变。对图像进行 BRISQUE 评分的结果为 28.016 7 (该分值越高, 图像质量越差), 但是视觉感受是: 随着亮度的增加图像质量增强。这也就验证了 BRISQUE 无参考质量评价对相同失真不同背景亮度的图像评分是一致的。

### 4.2 JND 对相同背景亮度不同失真图像评分

同样, 选取图 5 所示 a~d 的 4 幅实验图像, 其特点是各图像的背景亮度相同, 但是每幅图像的失真不一样。从图 5 中 e~h 所示图像直方图分布可以看出, 由于失真的影响, 图像的像素值发生了较大的改变, JND 分析数据结果如表 1 所示。JND 分值越高, 图像质量越差。由表 1 中的实验数据可知, 图像 a~d 的 JND 评分分别为 7.486 5, 7.490 0, 7.515 0 和 7.489 2,



误差在可接受范围之内,从而验证了JND对相同背景亮度不同失真图像评分一致。

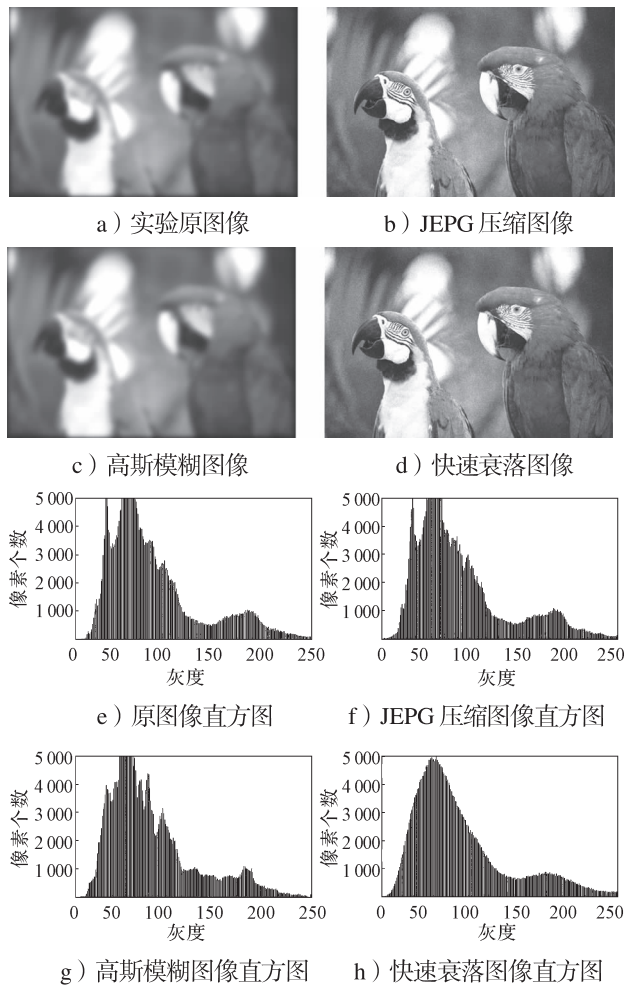


图5 相同背景亮度不同失真图像及其直方图

Fig. 5 Same background luminance and different distortion image and its histogram

表1 相同背景亮度不同失真图像的BRISQUE和JND值  
Table 1 The value of BRISQUE and JND in same background luminance and different distortion image

参数	图 像			
	a	b	c	d
BRISQUE	8.180 0	53.469 4	63.477 6	52.283 1
JND	7.486 5	7.490 0	7.515 0	7.489 2

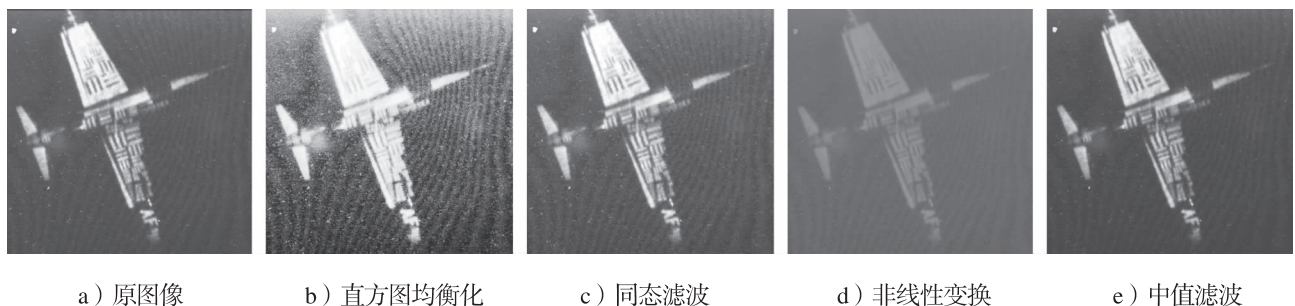


图6 不同图像增强算法效果

Fig. 6 Effect of different image enhancement algorithm

#### 4.3 不同图像增强算法本文客观评价结果与主观视觉结果

取图6中的a图像作为实验测试原图像,分别采用常见的直方图均衡化、同态滤波、非线性变换和中值滤波4种图像增强算法对其进行处理,增强处理后所得图像如图6中b~d图所示。对各增强处理图像的主观评价如下:b图所示直方图均衡化处理只是简单地提高了原图像的整体亮度,但增强后图像的层次感和细节感较差,图像质量不好;c图所示同态滤波处理图像效果最好,层次、细节、纹理感觉都较好,机翼上的细节也能较为清晰地展现;d图所示的非线性变换方法处理的飞机图像较为平滑,背景亮度也有一定提高,但增强过程中导致大量像素丢失,从而图像层次感较差,细节丢失严重;e图所示中值滤波只是简单滤波,增强后图像和原图像差别不大。

使用本文提出的方法以及加入PSNR、SSIM两种常用的全参考评价方法和主观评价做比较,所得实验数据如表2所示。

表2 不同算法评价得分比较

Table 2 Comparison of different algorithms

参数	图 像				
	a	b	c	d	e
BRISQUE	28.639 6	54.010 2	20.041 6	25.449 0	40.641 9
JND	11.882 1	5.760 1	8.028 9	7.745 2	11.942 2
$S_1$	0.713 6	0.459 9	0.799 6	0.745 5	0.593 6
$S_2$	0.613 8	0.880 0	0.781 4	0.793 7	0.611 2
Score	0.663 7	0.670 0	0.790 5	0.769 6	0.602 4
PSNR	$\infty$	7.125 6	21.742 9	16.457 4	33.674 6
SSIM	1	0.230 9	0.894 6	0.654 2	0.995 5

分析表2中的数据可知,本文结合BRISQUE和JND的图像增强空域客观评价算法对各增强后图像的评分,Score最高的是c图的,为0.790 5,这与视觉主观评价的结果相一致。且可以发现b图的直方图均衡化单纯提高背景亮度,并没有提高Score的数值,侧面表明了本文所提算法的合理性。而客观评价中的PSNR和SSIM数值没有直接反映图像的增强效果,这和先前理论分析结果相一致。

## 5 结语

本文提出一种图像增强空域客观评价算法,该算法把增强后的图像分别进行BRISQUE失真评分和JND视觉评分,然后将得到的各分数以0.5的权重进行加权处理,以所得加权总分作为增强后图像的客观评价得分。系列实验结果表明,所提方法能够定量地对图像增强进行客观评价,且评价效果与主观评价相一致。

### 参考文献:

- [1] 盛道清. 图像增强算法的研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2007: 1-2.  
SHENG Daoqing. The Research of Image Enhancement Algorithm[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2007: 1-2.
- [2] 靳鑫, 蒋刚毅, 陈芬, 等. 基于结构相似度的自适应图像质量评价[J]. 光电子·激光, 2014, 25(2): 378-385.  
JIN Xin, JIANG Gangyi, CHEN Fen, et al. Adaptive Image Quality Assessment Method Based on Structural Similarity[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2014, 25(2): 378-385.
- [3] 范晓鹏, 蔡铁峰, 朱枫, 等. 基于人眼亮度阈值特性的图像增强算法[J]. 光电子·激光, 2014, 25(8): 1606-1612.  
FAN Xiaopeng, GAI Tiefeng, ZHU Feng, et al. Human Vision System Brightness Threshold Based Image Enhancement Method[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2014, 25(8): 1606-1612.
- [4] 李庆忠, 刘清. 基于小波变换的低照度图像自适应增强算法[J]. 中国激光, 2015, 42(2): 280-286.  
LI Qingzhong, LIU Qing. Adaptive Enhancement Algorithm for Low Illumination Images Based on Wavelet Transform[J]. Chinese Journal of Lasers, 2015, 42(2): 280-286.
- [5] 姜柏军, 钟明霞. 改进的直方图均衡化算法在图像增强中的应用[J]. 激光与红外, 2014, 44(6): 702-706.  
JIANG Bojun, ZHONG Mingxia. Improved Histogram Equalization Algorithm in the Image Enhancement[J]. Laser & Infrared, 2014, 44(6): 702-706.
- [6] 吴一全, 史骏鹏. 基于多尺度Retinex的非下采样Contourlet域图像增强[J]. 光学学报, 2015, 35(3): 87-96.  
WU Yiquan, SHI Junpeng. Image Enhancement in Non-Subsampled Contourlet Transform Domain Based on Multi-Scale Retinex[J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(3): 87-96.
- [7] 胡窦明, 赵海生, 李云川, 等. 一种基于同态滤波的红外图像增强新方法[J]. 红外技术, 2012, 34(4): 224-228.  
HU Douming, ZHAO Haisheng, LI Yunchuan, et al. A New Approach to Infrared Image Enhancement Based on Homomorphic Filter[J]. Infrared Technology, 2012, 34(4): 224-228.
- [8] 付晓薇, 丁明跃, 周成平, 等. 基于量子概率统计的医学图像增强算法研究[J]. 电子学报, 2010, 38(7): 1590-1596.  
FU Xiaowei, DING Mingyue, ZHOU Chengping, et al. Research on Image Enhancement Algorithms of Medical Images Based on Quantum Probability Statistics[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(7): 1590-1596.
- [9] 梁灵飞, 平子良. 基于窗口经验模式分解的医学图像增强[J]. 光电子·激光, 2010, 21(9): 1421-1425.  
LIANG Lingfei, PING Ziliang. Medical Image Enhancement Based on Window Empirical Mode Decomposition Algorithm[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2010, 21(9): 1421-1425.
- [10] MOORTHY A K, BOVIK A C. A Two-Step Framework for Constructing Blind Image Quality Indices[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(5): 513-516.
- [11] 梁狄林. 无参考图像质量评价算法研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 23-27.  
LIANG Dilin. The Research on No Reference Image Quality Assessment Algorithm[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013: 23-27.
- [12] 王杰. 通用型无参考的图像质量评价算法的研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2015: 10-31.  
WANG Jie. Research on General No-Reference Image Quality Assessment[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2015: 10-31.
- [13] RAHMAN Z U, JOHNSON D J, WOODDELL G A. Retinex Processing for Automatic Image Enhancement[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 100-110.
- [14] ZHENG Mingkui, SU Kaixiong, WANG Weixing, et al. Improved Sub-Band JND Model with Textural Decomposition and Its Application in Perceptual Image Coding[J]. Journal on Communications, 2014, 35(6): 185-199.
- [15] JAYANT N. Signal Compression: Technology Targets and Research Directions[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1992, 10(5): 796-818.
- [16] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image Quality Assessment: From Error Measurement to Structural Similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 13(4): 600-612.
- [17] MITTAL A, MOORTHY A K, BOVIK A C. No-Reference Image Quality Assessment in the Spatial Domain[J]. IEEE Transactions on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society, 2012, 21(12): 4695-4708.

(责任编辑: 廖友媛)