

自然图像颜色空间统计规律性研究

褚 江 陈 强

(南京理工大学计算机科学与工程学院 南京 210094)

摘 要 自然图像统计模型(NSS)在无参考图像质量评价中得到了广泛应用,但目前绝大部分的图像质量评价方法都是针对灰度图像的,没有有效地利用彩色空间的信息。对 RGB、HSV、LAB、YCBCR、YIQ 5 种颜色空间的规律性进行分析,对归一化的系数使用高斯分布、对数正态分布、极值分布和 T 分布进行拟合,对拟合结果进行分析和比较,从中找出最适合各个色彩空间的模型。然后使用拟合成高斯模型的参数作为特征对 LIVE 库的失真图像进行分类。实验结果表明,某些色彩分量分类效果要优于灰度空间。

关键词 图像质量评价,自然图像统计,色彩空间,图像处理

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.11.061

Research on Natural Scene Statistics in Color Space

CHU Jiang CHEN Qiang

(School of Computer Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract Natural scene statistics has been widely used in blind image quality assessment, but most assessment methods are designed for gray images, and color space information is not properly used. We studied 5 color spaces (RGB, HSV, LAB, YCBCR, YIQ), and then used Gaussian distribution, logistic distribution, extreme distribution and T distribution to model the normalized coefficients, in order to find the best model for the color space. Then we used Gaussian model parameters as feature to classify the distorted images in LIVE database. We found out that the classify precision in some color space outperforms that in gray-scale statistics.

Keywords Image quality assessment, Natural scene statistics, Color space, Image processing

1 引言

数字图像在获取、处理、压缩、存储和传输过程中会经受各种类型的退化,这些退化会影响图像的视觉效果。一般来说,图像质量评价方法分为主观评价方法和客观评价方法。图像质量评价的目的就是评价图像质量的好坏,最好也最直接的方法就是主观评价方法,但是这种方法不能应用于实时系统中,因此,图像质量评价的主要目标就是设计出客观的图像质量评价方法,使之与人的视觉感知保持一致。

根据能够得到的参考图像(原始图像)信息的多少,客观图像质量评价方法通常可以分为 3 类,分别为全参考图像质量评价、半参考图像质量评价和无参考图像质量评价。全参考图像质量评价方法可以得到参考图像的所有信息,它通过比较失真图像和参考图像来评价图像质量,是目前为止客观图像评价方法中最可靠的方法。无参考图像质量评价方法不能得到参考图像的任何信息,只对失真图像进行评价,半参考图像质量评价方法介于两者之间,只能获得参考图像的部分信息用于评价图像质量。

在很多应用中,无法得到参考图像的任何信息,这就需要无参考图像质量评价方法。无参考评价方法已成为近几年的研究热点,因为它们更加实用。在无参考图像质量评价中,自然图像统计特征(NSS)得到了广泛应用。通常把使用高质量的捕获设备获得的视频或图像称为自然场景(Natural Scene),自然场景只是所有可能图像的一小部分,现实世界中大多数的退化过程都会扰乱这些统计特征,使得图像或视频信号变得“不自然”。许多学者已经研究出了一些对自然场景统计特征进行建模的方法,文献[1]提出称为 BIQI 的 2 阶段的图像质量评价方法,首先对小波系数的统计特征建模区分出图像失真的类型,然后再针对特定类型进行评价。文献[2]提出了一种称作 BLINDS 的无参考图像质量评价方法,该方法利用局部离散余弦变换(DCT)系数的统计特征来预测图像质量;该作者后来又在文献[2]的基础上引入了基于局部 DCT 变换系数统计的广义参数化模型来预测图像质量,得到 BLINDS-II^[3]。文献[4]在文献[1]框架的基础上加入了自然图像统计特征,提出了称为 DIVINE 的方法。文献[5]提出了一种在空间域进行统计建模的方法,称为 BRISQUE。文献

到稿日期:2013-06-25 返修日期:2013-08-16 本文受江苏省青蓝工程和中央高校基本科研业务费专项资金资助。

褚 江(1988—),男,硕士生,主要方向为图像质量评价,E-mail:chujiang131@163.com;陈 强(1979—),男,副教授,主要研究方向为图像处理、分析与识别。

[6]对小波系数的统计规律进行了分析。文献[7]使用 NSS 对 JPEG2000 失真的图像进行评价。文献[8]在 Contourlet 域进行统计建模。NSS 的方法的其他应用参见文献[9-11]。

上述 NSS 的方法都是对灰度图像的特征进行统计,没有有效地利用色彩空间的信息。鉴于此,本文在色彩空间上对自然图像的分布性规律进行研究。

2 空间域统计特征

文献[5]在空间域对图像特征建模,首先计算局部规范化的亮度系数:

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

其中, $I(i,j)$ 为对应的原始图像, $i \in 1, 2, \dots, M, j \in 1, 2, \dots, N$, u 为局部均值, σ 为局部方差, M, N 分别为图像的高度和宽度,称为 MSCN 系数。研究发现,对于自然图像 MSCN 系数服从高斯分布,可以使用如下广义高斯模型(GGD)来近似得到 2 个参数:

$$f(x; \alpha, \sigma^2) = \frac{\alpha}{2\beta\Gamma(1/\alpha)} \exp\left(-\left(\frac{|x|}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (2)$$

其中:

$$\beta = \sigma \sqrt{\frac{\Gamma(1/\alpha)}{\Gamma(3/\alpha)}} \quad (3)$$

$\Gamma(\cdot)$ 是伽马函数:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt, \alpha > 0 \quad (4)$$

其中, α 控制分布的形状, σ^2 控制分布的方差,当 α 为 1 时,其退化为拉普拉斯分布。

3 色彩空间的高斯模型

3.1 色彩空间简介

RGB(红绿蓝)是依据人眼识别的颜色定义出的空间,可表示大部分颜色。但科学研究一般不采用 RGB 颜色空间,因为它的细节难以进行数字化的调整,它将色调、亮度、饱和度 3 个量放在一起表示,很难分开。

HSV 颜色空间是为了更好地数字化处理颜色而提出来的。H 是色调, S 是饱和度, I 是强度。HSV 颜色模型所代表的颜色域是 CIE 色度图的一个子集,这个模型中饱和度为百分之百的颜色,其纯度一般小于百分之百。

LAB 颜色空间用于计算机色调调整和彩色校正,它独立于设备的彩色模型实现。LAB 颜色空间是由 CIE(国际照明委员会)制定的一种色彩模式。自然界中任何一点色都可以在 LAB 空间中表达出来,它的色彩空间比 RGB 空间还要大。另外,这种模式是以数字化方式来描述人的视觉感应,与设备无关。

YIQ 色彩空间属于 NTSC 系统。其中 Y 就是图像灰度值, I 和 Q 都指的是色调,即描述图像色彩与饱和度的属性。YIQ 颜色空间具有能将图像中的亮度分量分离提取出来的优点。

YCBCR 是 DVD、摄像机、数字电视等消费类视频产品中常用的色彩编码方案。YCBCR 中 Y 指亮度分量, CB 指蓝色色度分量,而 CR 指红色色度分量。人的肉眼对视频的 Y 分量更敏感,因此在通过对色度分量进行子采样来减少色度分量后,肉眼将察觉不到图像质量的变化。

灰度图像的 MSCN 系数能够较好地符合高斯分布。本文对 RGB、HSV、LAB、YCBCR、YIQ 5 种颜色空间进行分析,以 LIVE^[12] 库的 Womanhat 图片为例,可以看到色彩空间也存在着类似的分布,如图 1 所示。

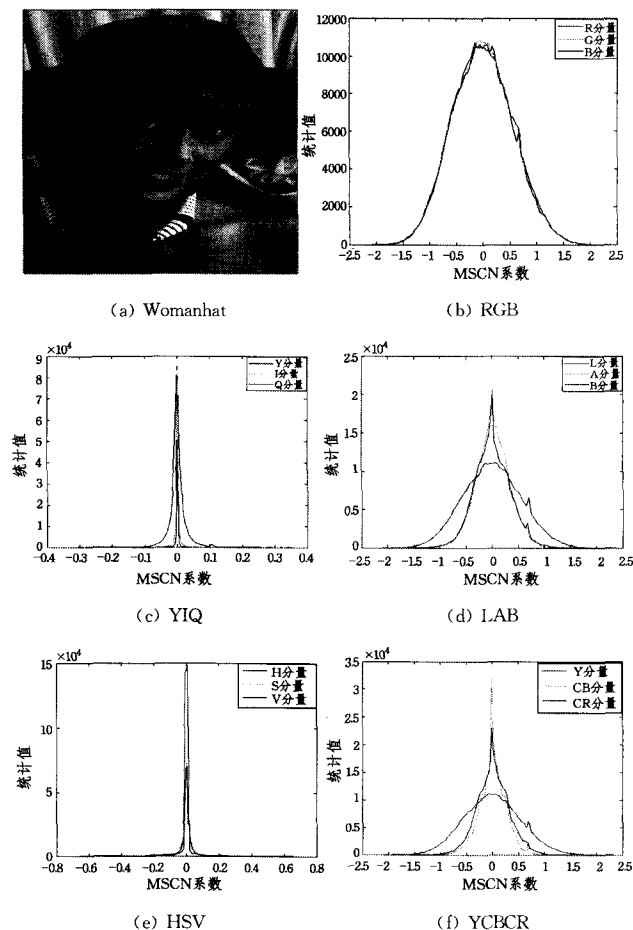


图 1 色彩空间 MSCN 系数的分布

3.2 自然图像的高斯分布

自然图像的统计特征存在着某种共性,为了发现这些共性,本文对自然图像拟合成的广义高斯分布的参数分布进行研究。图 2 为 LIVE 库的 29 幅标准图 GGD 分布参数的分布图,表 1 为 LIVE 库的 29 幅标准图 GGD 参数的标准差,表 2 为 TID2008^[13] 库的 24 幅标准图(共 25 幅,其中一幅不是自然图像,不适合进行分析)GGD 参数的标准差,数值越小,表明这些标准图拟合的高斯模型形状越为接近。从图 2 和表 1 中可以看出 HSV 空间和 YIQ 空间的参数分布较为密集,这表明大部分的标准图 GGD 参数值在这两个空间上相差很小,比灰度空间的差值要小得多。灰度空间的方差值最大,这表明,使用色彩空间的某些信息能够更好地表征自然图像的共性,甚至能够通过统计这些共性,分析出退化图像退化的程度,从而得到退化图像的质量。

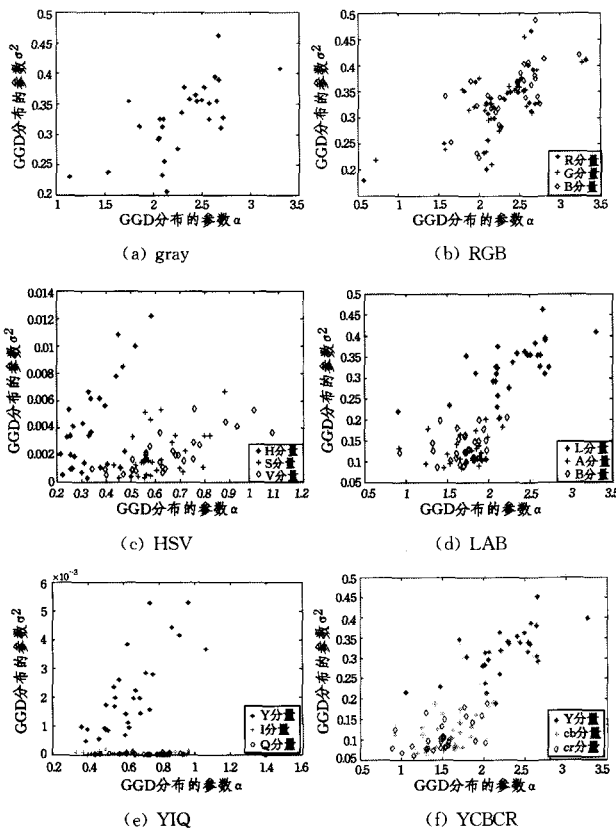


图2 LIVE库标准图的GGD系数分布

表1 LIVE 29幅标准图GGD参数的标准差

Gray	RGB-B	HSV-S	HSV-V	LAB-A
1.0375	1.0598	0.3163	0.3473	0.8415
LAB-B	YCBCR-CB	YCBCR-CR	YIQ-I	YIQ-Q
0.8046	0.7551	0.7297	0.3314	0.3996

表2 TID2008库24幅标准图GGD参数的标准差

Gray	RGB-B	HSV-S	HSV-V	LAB-A
1.0977	1.1176	0.3214	0.3391	0.8468
LAB-B	YCBCR-CB	YCBCR-CR	YIQ-I	YIQ-Q
0.8272	0.7314	0.7074	0.2765	0.3799

4 色彩空间的其他模型

为了找出除了高斯模型之外更适合色彩空间的模型,本文对 MSCN 系数的概率分布使用高斯分布(见式(5))、对数正态分布(见式(6))、极值分布(见式(7))和 T 分布(见式(8))进行拟合,计算拟合程度的均方误差值,并在 LIVE 库和 TID2008 数据库上进行测试,实验结果如表 3 和表 4 所列,由于数据范围不同,表中的数值只在行内有相对意义,各行之间没有可比较性。

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

$$f(x|\mu, \sigma) = \sigma^{-1} \exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \exp\left(-\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right) \quad (7)$$

$$f(x|\nu) = \frac{\Gamma(\frac{\nu+1}{2})}{\Gamma(\frac{\nu}{2})} \frac{1}{\sqrt{\nu\pi}} \frac{1}{(1+\frac{x^2}{\nu})^{\frac{\nu+1}{2}}} \quad (8)$$

表3 LIVE库29幅标准图拟合的均方误差的均值

LIVE 库	高斯分布	对数正态分布	极值分布	T 分布
Gray	0.0814	0.0926	0.1090	0.0811
HSV-H	4.2735	4.1667	4.4398	4.2615
HSV-S	3.4426	3.5343	3.5344	3.8950
HSV-V	3.2978	3.2628	3.6118	3.5840
LAB-L	0.0939	0.1052	0.1169	0.0936
LAB-A	0.1737	0.1852	0.2103	0.1748
LAB-B	0.1579	0.1678	0.1793	0.1595
YCBCR-Y	0.0884	0.0993	0.1168	0.0881
YCBCR-CB	0.1576	0.1628	0.2057	0.1575
YCBCR-CR	0.2414	0.2464	0.2788	0.2416
YIQ-Y	3.3098	3.3350	3.5705	4.0081
YIQ-I	17.0668	17.6210	17.0700	18.9676
YIQ-Q	21.2061	21.9399	21.6672	23.0172

表4 TID2008库24幅标准图拟合的均方误差的均值

TID2008 库	高斯分布	对数正态分布	极值分布	T 分布
Gray	0.0735	0.0863	0.0935	0.0736
HSV-H	7.2551	7.4098	6.7671	7.8950
HSV-S	3.1484	3.1164	3.5977	3.4994
HSV-V	3.1323	3.0170	3.6105	3.3647
LAB-L	0.0789	0.0913	0.0955	0.0790
LAB-A	0.1245	0.1382	0.1493	0.1274
LAB-B	0.1220	0.1331	0.1415	0.1250
YCBCR-Y	0.0741	0.0869	0.0960	0.0741
YCBCR-CB	0.1476	0.1516	0.2015	0.1482
YCBCR-CR	0.2069	0.2120	0.2343	0.2087
YIQ-Y	3.1077	3.0756	3.5464	3.7719
YIQ-I	17.6973	18.2755	18.9259	20.0048
YIQ-Q	21.6924	22.8652	24.8191	25.1627

从这两个表中可以看出,灰度图像使用高斯分布拟合的效果较好,使用 T 分布也能很好地拟合,但高斯分布拟合的效率要高得多。HSV 空间使用对数正态分布拟合最好,其次为高斯分布。YIQ 空间拟合的效果都较差,LAB、YIQ、YCB-CR 空间使用高斯分布拟合最好。

总体来说,使用高斯分布进行拟合效果最好,效率也最高;其次是对数正态分布,因为它的分布函数类似于高斯分布;T 分布除了在 YCBCR 空间效果好些外,总体效果最差,说明使用指数型的函数更为适合。

5 使用色彩空间模型参数进行分类

由于灰度空间的 GGD 参数值可用于对失真类型进行分类,本文在色彩空间上进行实验,在 LIVE 库的 5 种失真类型(jpg2k, jpeg, white noise, gaussian blur, fast fading)上分别计算 GGD 分布的参数值。训练集和测试集均为 LIVE 库的失真图,随机选取 25 幅标准图对应的失真图进行训练,4 幅标准图对应的失真图进行测试,以保证测试集和训练集不重合,并使用 LIBSVM^[14] 进行分类,如图 3 所示,表 5 为分类的精度。

图 3(a)为 LIVE 库的所有失真图的灰度图的 GGD 参数分布图,图 3(b)-(j)分别为几个色彩空间的 GGD 参数分布图。从图 3 和表 4 中可以看出,由于 RGB 的分量与灰度图像相同,因此分类结果也相同。白噪声图像的参数值与其他类型分得比较开,分类结果最好。由于 fast fading 失真类型为 jpg2k 压缩和比特丢失,失真类型比较复杂,因此其分类结果较差。对于 jpg2k 失真,LAB 空间的 B 空间与其他失真的重叠较少,分类效果最好,总的来说,LAB 的 B 空间分类结果总体较好,但对高斯模糊的分类较差,这是由于 LAB 空间是基

于色差的,但并不是所有的标准图色差都很明显,其结果也是可以理解的。从图中可以看出,YIQ 色彩空间除了白噪声之外,其他失真类型存在很多重叠,分类效果总体较差。

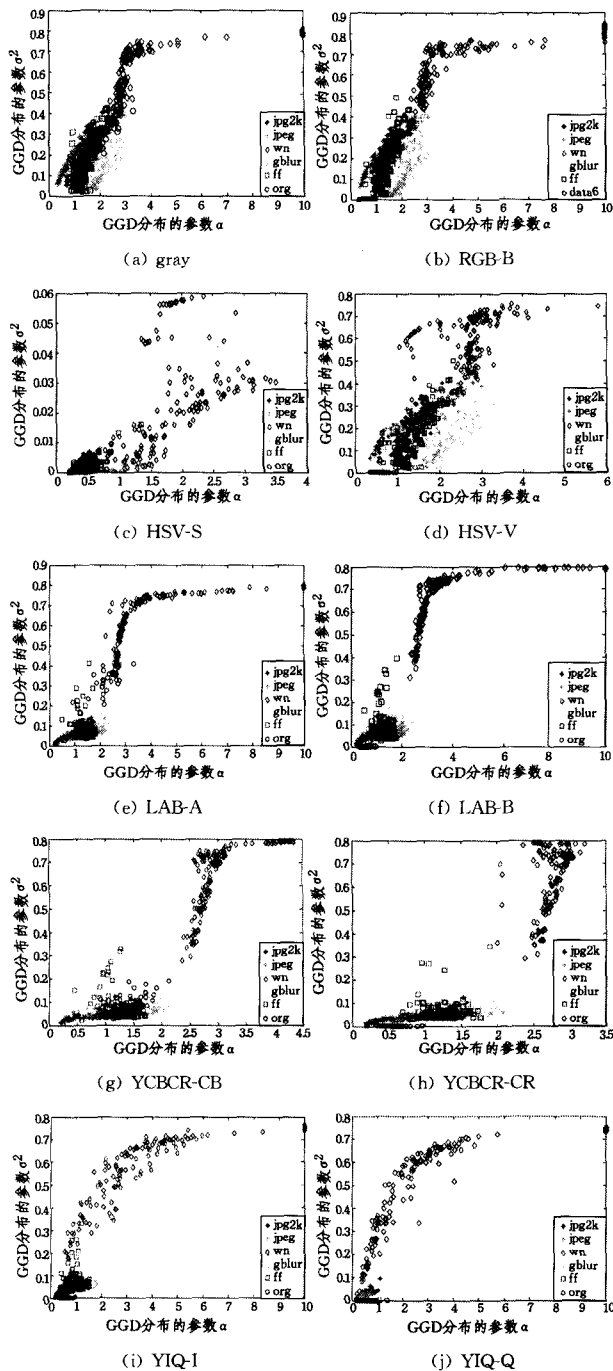


图3 色彩空间 GGD 模型参数的分布

表5 使用色彩空间对 LIVE 库失真类型分类的精度(%)

	jpeg2k	jpeg	wn	gblur	ff	total
gray	65.6	66.7	96	96	32	70.9
HSV-H	69.0	70	100	56	20	63.43
HSV-S	69.0	50	100	76	48	68.0
HSV-V	65.5	56.7	96	96	74.8	71.6
LAB-A	82.8	63.3	100	72	76	78.4
LAB-B	93.1	66.7	100	68	68	79.1
YCBCR-CB	65.5	63.3	100	96	44	73.1
YCBCR-CR	75.9	66.7	100	56	80	75.4
YIQ-I	75.9	53.3	100	72	0	60.4
YIQ-Q	44.8	60	96	0	28	46

由于 LAB 空间和 YCBCR 空间是基于色差的,图像的失真在色差上也会反映出来,因此这两个空间的分类结果也较好。这说明 LAB 空间和 YCBCR 空间能够捕获灰度空间捕获不到的信息,合理地应用这些信息能够改善灰度域的图像质量评价算法。

结束语 本文研究了色彩空间的统计规律,灰度空间的规律性分布在无参考图像质量评价中已得到广泛应用,但由于真实世界是多姿多彩的,若能充分利用色彩信息,必定能更好地评价图像的质量,因此色彩空间的规律研究性意义重大。本文对色彩空间的分布规律、分布模型进行了分析,希望能够给予图像质量评价的研究者一定的启示。如何有效地利用色彩信息发现色彩空间在变换域的分布规律是下一步的研究方向。

参考文献

- [1] Moorthy A K, Bovik A C. A two-step framework for constructing blind image quality indices[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010, 17(5): 513-516
- [2] Saad M A, Bovik A C. A DCT statistics-based blind image quality index[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010, 17(6): 583-586
- [3] Saad M A, Bovik A C, Charrier C. DCT statistics model-based blind image quality assessment[C]// Proceeding of the International Conference on Image Processing. 2011: 3093-3096
- [4] Moorthy A K, Bovik A C. Blind image quality assessment: from natural scene statistics to perceptual quality[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(12): 3350-3364
- [5] Mittal A, Moorthy A K, Bovik A C. No-Reference Image Quality Assessment in the Spatial Domain[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 12(21): 4695-4708
- [6] Anush K, Moorthy, Bovik A C. Statistics of natural image distortions[C]// Proceeding of the International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 2010: 962-965
- [7] Sheikh H R, Bovik A C, Cormack L. No-reference quality assessment using natural scenestistics: jpeg2000 [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(11): 1918-1927
- [8] 楼斌, 沈海斌, 赵武锋, 等. 基于自然图像统计的无参考图像质量评价[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2010, 44(2): 248-252
- [9] 金波, 李朝锋, 吴小俊. 结合 NSS 和小波变换的无参考图像质量评价[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(1): 33-39
- [10] 张飞艳, 谢伟, 林立宇, 等. 基于小波域自然影像统计特性的无参考遥感影像质量评价[J]. 电子与信息学报, 2011, 3(11): 2742-2747
- [11] Mittal A, Soundararajan R, Bovik A C. Making a Completely Blind Image Quality Analyzer[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2013, 20(3): 209-212
- [12] Sheikh H R, Wang Z, Cormack L. Live image quality a sssessment database, release2005 [EB/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>
- [13] Ponomarenko N, Lukin V, Zeleensky A, et al. TID2008—A database for evaluation of full reference visual quality assessment metrics[J]. Advances of Modern Radioelectronics, 2009, 10(4): 30-45
- [14] Chang C C, Lin C J. LIBSVM: A Library for Support Vector Machines[OL]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>