

## 基于低阶 Gaussian-Hermite 矩的图像质量评价\*

唐腾健, 朱 玥

(重庆工业职业技术学院 招生就业处, 重庆 401120)

**摘要:**提出一种基于低阶 Gaussian-Hermite 矩的图像全参考质量评价方法。正交矩在图像处理和模式识别方面有很重要的作用,低阶矩可以从图像的分块中提取重要特征,这些特征通过计算两幅图像间相对矩误差得到,这种差异的大小更能体现出失真图像块相对原始图像块的失真大小,所以能更好的描述图像的质量。利用 Gaussian-Hermite 矩在一些公开的数据库中对提出的方法进行验证,实验结果和对比表明所提出的方法具有很好的效果。

**关键词:**Gaussian-Hermite 矩;图像全参考质量评价方法;相对矩误差;绝对矩误差

**中图分类号:**TN 911.73

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2016)03-0126-06

近年来,随着计算机网络技术的迅猛发展,以及高性能、低价格多媒体设备的日益普及,使得网络和媒体中数字图像广泛存在于人们日常生活中。在计算机、网络以及图像处理、传输技术快速发展的大背景下,图像在传输和处理的过程中都会出现失真,评价图像处理之后的图像损坏程度对于所用的方法有着很好的判断标准,所以研究图像的质量评价有很重大的意义。图像质量评价方法按照评价方式可以分为主观评价方法和客观评价方法。虽然主观评价方法为最为可靠,而且评价结果最接近人类主观视觉感受,但是由于主观评价容易受到实验条件、观测者知识水平以及个人偏好等原因的影响,评价结果往往不稳定,不适用于实时系统。客观评价方法因为可以实时并且稳定地对图像进行评价,不受外界环境影响。但由于人的眼睛是图像的最终受体,研究符合人类视觉系统(HVS)特性的客观质量评价方法是图像质量评价的核心问题。图像客观与主观评价的一致越来越受到研究者的关注,并且可以评判一种客观评价方法性能优劣。

根据对原始图像的依赖程度,客观质量评价一般分为3种类型,即全参考、部分参考和无参考<sup>[1-4]</sup>。全参考方法就是利用原始图像全部信息,通过设计算法衡量原始图像与失真图像之间的差别,并综合这些差别得到失真图像的评价结果。大多数图像客观评价方法为全参考方法,通过输入参考图像和测试图像的全部信息,输出得到测试图像相对于参考图像的质量评价分数。最简单的全参考方法可以通过失真图像与参考图像对应局部像素之间的误差来进行计算与分析,得到整幅图像的质量评价分数。例如,最原始和常用的质量评价算法就是峰值信噪比(PSNR)方法和均方差(MSE)方法。由于PSNR和MSE方法计算量特别小、操作简单,所以广泛应用在图像处理的各个领域。但是这种计算方法与图像的视觉感知之间没有必然联系,因此,人们结合自身的主观感受提出各种图像质量评价方法。Wang等人提出了一种基于结构相似度(SSIM)的图像质量评价方法<sup>[5]</sup>。SSIM算法认为人眼对自然场景的结构信息最为敏感,该方法通过添加小分子和分母常量对亮度分量和对比度分量进行修改对图像进行质量评价。Sheikh等人首先基于信息论提出了信息保真度准则(IFC)方法<sup>[6]</sup>,信息保真度算法首先提出了图像质量与视觉感受相结合的算法框架。随后Sheikh等人又提出一种基于自然图像统计特性的视觉信息保真度(VIF)方法<sup>[7]</sup>,该方法认为失真图像的质量由失真图像相对于参考图像损失信息量大小进行定量计算。VIF模型是基于小波子带的边缘高斯混合密度来实现的,所以图像质量由失真图像和参考图像的子带系数的互信息量来决定的。还有一种是基于人类视觉算法与其它算法相结合方法,这种方法主要将人眼的视觉特性与视觉相似度结合起来,根据人眼视觉敏感度把图像分为敏感区域和非敏感区域,从而得到符合人眼视觉特性的质量评价方法。由于部分参考评价方法和无参考评价方法研究技术还不是很成熟,所以对全参考质

\* 收稿日期:2016-03-09 修回日期:2016-03-29 网络出版时间:2016-04-29 18:34

作者简介:唐腾健,男,实验师,研究方向为计算机网络技术、物联网应用技术及多媒体技术等,E-mail:63230199@qq.com

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20160429.1834.008.html>

量评价方法进行研究,提出了一种全参考型的质量评价方法。

文献[8]中提出一种基于离散正交矩的图像全参考质量评价方法,这种方法取得了十分好的评价效果。为了便于计算,该方法把图像分割成互不重叠的图像子块,然后利用离散正交矩变换分别计算这些图像子块低阶矩变换矩阵,最后利用类似于 SSIM 方法的公式计算原始图像和测试图像子块的低阶矩变换矩阵相关系数,把这些相关系数求平均作为测试图像的质量分数。但是离散正交矩的多项式核函数有正有负,所计算得到的图像子块矩变换矩阵可以为负值,但是相关系数计算公式在有负值的情况下往往不够准确。所以在相关系数计算公式不变的情况下提出了利用图像子块相对矩误差代替原始的图像子块的矩值计算图像子块的质量分数。在实验中发现文献[8]中所使用的离散正交矩在提取图像特征能力方面不如连续正交矩。所以提出了一种基于连续正交矩的全参考图像质量评级方法,实验证明该方法能够得到比文献[8]的方法更好的效果。

## 1 Gaussian-Hermite 矩

文献[8]的方法中使用的离散正交矩为 Tchebichef 矩<sup>[9]</sup>和 Krawtchouk 矩<sup>[10]</sup>。尽管离散正交矩在计算方面有很大的优势,但是并不是代表离散正交矩能够完全替代连续正交矩,事实上,连续正交矩在某些方面的效果始终好于离散正交矩。Gaussian-Hermite 矩是作为一种连续正交矩,相比于 Tchebichef 矩和 Krawtchouk 矩在图像重建方面有更好的效果<sup>[11]</sup>,能够更好保持图像的特性,所以本文利用 Gaussian-Hermite 矩对图像进行质量评价。

Gaussian-Hermite 矩理论上的定义区间为连续区间 $(-\infty, +\infty)$ ,为了计算大小为  $K \times K$  数字图像  $I(i, j)$  的矩变换矩阵,把 Gaussian-Hermite 矩的核函数  $H_p(x/\sigma)$  转换成离散核函数  $\tilde{H}_p(i, K; \sigma)$ ,转换公式如下:

$$\tilde{H}_p(i, K; \sigma) = [2^p p! \sqrt{\pi\sigma}]^{-1/2} \exp(-x^2/2\sigma^2) H_p(x/\sigma) \quad (1)$$

(1)式即为 Gaussian-Hermite 矩核函数的离散形式,通过这个公式可以得到图像的矩变换矩阵:

$$\eta_{pq} = \frac{4}{(K-1)^2} \sum_{i=0}^{K-1} I(i, j) \tilde{H}_p(i, K; \sigma) \tilde{H}_q(j, K; \sigma) \quad (2)$$

其中  $p+q$  为阶数并且  $p, q=0, 1, 2, \dots, K-1$ , 因为正交矩的正交性,图像可以利用(2)式反变换进行重构:

$$I(i, j) = \sum_{p=0}^n \sum_{q=0}^n \eta_{pq} \tilde{H}_p(i, K; \sigma) \tilde{H}_q(j, K; \sigma) \quad (3)$$

因为正交矩的正交性和不变性常常被用来进行特征提取。文献[11]详细对比了连续正交矩 Gaussian-Hermite 矩与离散正交矩 Tchebichef 矩<sup>[9]</sup>和 Krawtchouk 矩<sup>[10]</sup>在图像特征提取和重构上的性能,实验证明连续正交矩在提取图像特征和图像重构上性能优于离散正交矩,所以下面选择连续正交矩提取图像特征进而对图像进行质量评价。

## 2 基于 Gaussian-Hermite 矩的图像质量评价

因为图像的主要信息包含在低频信号中,通常情况下图像的高频信号对图像的质量影响不大,图像在经过正交矩变换后低阶矩为图像的低频信号,所以利用低阶 Gaussian-Hermite 矩对图像进行质量评价。

首先把参考图像和测试图像分成互不重叠的  $8 \times 8$  的图像块,然后计算图像块的 4 阶( $p+q=4$ )矩变换矩阵分别为:

$$\mathbf{M}_k^R = \begin{pmatrix} m_{00}^R & m_{01}^R & m_{02}^R \\ m_{10}^R & m_{11}^R & m_{12}^R \\ m_{20}^R & m_{21}^R & m_{22}^R \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$\mathbf{M}_k^T = \begin{pmatrix} m_{00}^T & m_{01}^T & m_{02}^T \\ m_{10}^T & m_{11}^T & m_{12}^T \\ m_{20}^T & m_{21}^T & m_{22}^T \end{pmatrix}, \quad (5)$$

其中  $\mathbf{M}_k^R$  和  $\mathbf{M}_k^T$  分别代表参考图像和测试图像第  $k$  个图像块的矩变换矩阵。因为  $\mathbf{M}_k^R$  和  $\mathbf{M}_k^T$  中的值可以是负值,

所以不能直接利用  $\mathbf{M}_k^R$  和  $\mathbf{M}_k^T$  进行相关性运算, 应该对  $\mathbf{M}_k^R$  和  $\mathbf{M}_k^T$  进行如下调整:

$$\mathbf{A}_k = (a_{ij})_{3 \times 3} = \text{abs}(\mathbf{M}_k^R), \quad (6)$$

$$\mathbf{B}_k = (b_{ij})_{3 \times 3} = \text{abs}(\mathbf{M}_k^R - \mathbf{M}_k^T), \quad (7)$$

其中  $\mathbf{B}_k$  就是绝对矩误差, 根据  $\mathbf{A}_k$  和  $\mathbf{B}_k$ , 由(8)式可以得到绝对矩误差  $\mathbf{T}_k$ :

$$\mathbf{T}_k = (t_{ij})_{3 \times 3} = \left( \frac{b_{ij} + 1}{a_{ij}} \right)_{3 \times 3}, \quad (8)$$

其中  $t_{ij} \in [1, \infty)$ ,  $i, j = 0, 1, 2$ , 然后由(8)式得到一个指数形式的矩相关方程

$$f(t) = \left( \frac{2}{t + \frac{1}{t}} \right)^n, \quad i, j = 0, 1, 2, \quad (9)$$

其中  $n$  是指数因子,  $n \in \mathbf{Z}, n \geq 1$ , 所以矩相关矩阵为:

$$\mathbf{I}_k = (f(t_{ij}))_{3 \times 3} = \begin{pmatrix} I_{00}^k & I_{01}^k & I_{02}^k \\ I_{10}^k & I_{11}^k & I_{12}^k \\ I_{20}^k & I_{21}^k & I_{22}^k \end{pmatrix}. \quad (10)$$

然后对所有图像块的矩相关矩阵求平均

$$\mathbf{I} = \frac{1}{K} \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^K I_{00}^k & \sum_{k=1}^K I_{01}^k & \sum_{k=1}^K I_{02}^k \\ \sum_{k=1}^K I_{10}^k & \sum_{k=1}^K I_{11}^k & \sum_{k=1}^K I_{12}^k \\ \sum_{k=1}^K I_{20}^k & \sum_{k=1}^K I_{21}^k & \sum_{k=1}^K I_{22}^k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{00} & I_{01} & I_{02} \\ I_{10} & I_{11} & I_{12} \\ I_{20} & I_{21} & I_{22} \end{pmatrix}, \quad (11)$$

其中  $K$  表示图像中互不重叠的  $8 \times 8$  图像块的数量, 最终图像的质量分数  $Q$  由  $\mathbf{I}$  中的所有元素求平均得到

$$Q = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 I_{ij}. \quad (12)$$

由(12)式可知, 图像的质量分数  $Q$  的范围为  $(0, 1]$ , 当相对图像块的相对矩误差为 0 时, 图像块质量分数为 1, 当图像块的相对矩误差为无穷大时, 图像块的质量分数接近 0。

### 3 实验结果与分析

为了验证所提出算法的评价效果, 在以下 3 个不同的图像质量评价数据库中进行了实验, 包括 LIVE 图像质量数据库<sup>[12]</sup>、MICT 图像质量数据库<sup>[13]</sup>和 IVC 图像质量数据库<sup>[14]</sup>。这 3 个图像质量数据库共含有图像 1 373 幅, 其中 LIVE 有 982 幅, MICT 有 196 幅, IVC 有 195 幅。此外, 将本文算法与其它几种全参考质量评价算法的实验结果进行了比较, 这些算法包括 PSNR、SSIM<sup>[5]</sup>、IFC<sup>[6]</sup>、VIF<sup>[7]</sup>和 Wee 的方法<sup>[8]</sup>。为了直观地观察本算法得到的客观质量分数与 DMOS/MOS 值的关系, 利用如下非线性拟合方程对图像质量数据库中的图像的主客观评价结果进行非线性回归<sup>[1]</sup>:

$$f(x) = \frac{\tau_1 - \tau_2}{1 + e^{(x - \tau_3)/\tau_4}} + \tau_2 \quad (13)$$

其中  $x$  表示块效应分数, 拟合时适当选取  $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$  和  $\tau_4$  的值使得  $f(x)$  与主观质量分数的误差最小。图 1 为 6 种方法的质量分数与主观评价分数在 LIVE 图像质量数据库上的拟合曲线。从图中可以看出, 本方法获得的图像评价结果的值聚集在拟合曲线附近, 评价效果好于文献[8]中 Wee 提出的方法。从图 1 可以看出 VIF 方法效果最好, 本文方法效果优于 PSNR、SSIM 和 IFC。

在(13)式拟合的基础上, 本文方法用皮尔森相关系数(Correlation coefficient, CC)和均方根误差(Root mean square error, RMSE)衡量主客观评价结果的预测准确性; 用斯皮尔曼相关系数(Spearman rank order correlation coefficient, SROCC)衡量算法的预测单调性。图 2 为不同的指数因子  $n$  下本文算法在 LIVE、MICT 和 IVC 这 3 个图像数据库的实验结果, 从图中可以看出, 当  $n$  为 5 时, 本文算法对 3 个图像数据库的评价结果较高, 并且算法的复杂度也相对较低。故本文的选择的指数因子  $n$  为 5。

表 1 给出了 6 种方法在 LIVE 图像数据库中的实验结果,其中 Wee 和 Ours 分别代表 Wee 的方法和本文方法。由表 1 中可以看出 VIF 的效果最好,除此之外,本文算法的 CC 和 SROCC 均为最好,同时 RMSE 均为最低。说明本文方法评价的预测准确性最高和预测单调性最好。

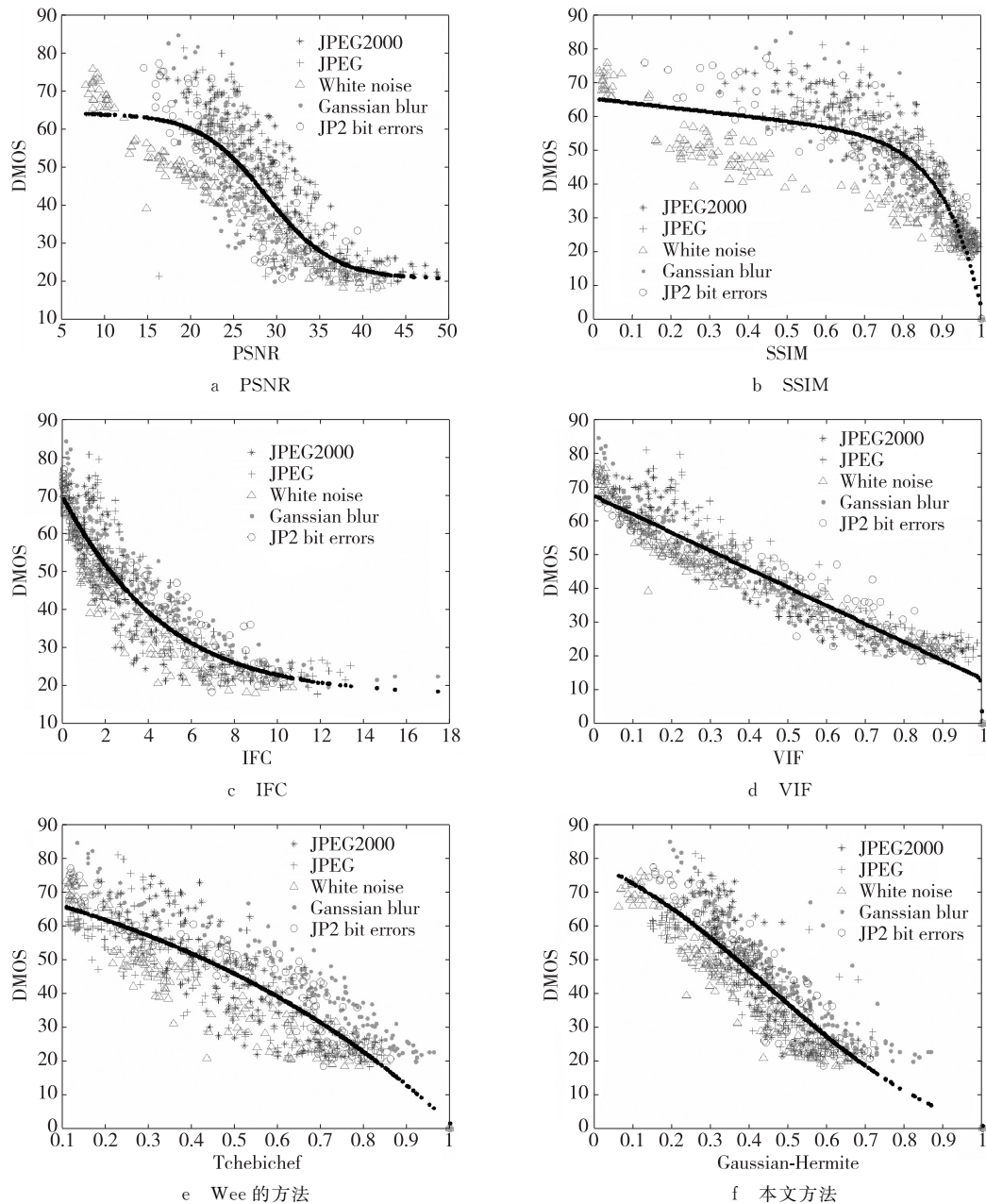


图 1 LIVE 数据库中 6 种方法的拟合曲线

Fig. 1 Fitting curves of six kinds of method in LIVE database

表 2 中列出了 Wee 的方法和本文方法在 MICT 和 IVC 图像质量数据库上的实验结果。从表 2 可以看出本文方法在这两个数据库上的评价结果上完全好于 Wee 的方法。

### 4 结束语

通过对 Gaussian-Hermite 矩的研究,提出了一种新的图像全参考质量评价方法。连续正交矩在提取图像特征方面优于离散正交矩,本文利用连续正交矩 Gaussian-Hermite 对图像分块进行矩变换,利用图像子块的矩变换矩阵的相对矩误差代替原始图像子块的矩值对图像块进行质量评价,实验结果证明本文方法在三个标准图像质量库中评价结果与主观评价结果保持很高的一致性。与已有方法的实验比较也证明了本文算法在性能上的优越性。

表 1 LIVE 图像数据库中的实验结果比较

Tab.1 Comparison of the results on LIVE databases

评价指标	方法	ALL	JP2000	JPEG	White noise	Gaussian blur	JP2 bit errors
CC	PSNR	0.878 6	0.885 6	0.836 6	0.981 7	0.781 4	0.889 5
	SSIM	0.937 8	0.937 8	0.937 8	0.937 8	0.937 8	0.937 8
	IFC	0.937 0	0.949 0	0.948 3	0.954 7	0.966 9	0.962 8
	VIF	0.965 0	0.971 1	0.978 2	0.981 8	0.977 9	0.979 9
	Wee	0.940 2	0.957 7	0.961 5	0.969 8	0.973 3	0.975 2
	本文方法	0.946 0	0.978 4	0.968 3	0.985 2	0.973 3	0.977 4
SROCC	PSNR	0.848 2	0.890 0	0.809 7	0.979 6	0.781 4	0.890 4
	SSIM	0.924 6	0.971 8	0.958 7	0.976 8	0.938 5	0.965 8
	IFC	0.927 1	0.932 2	0.912 7	0.934 3	0.965 6	0.964 4
	VIF	0.975 3	0.980 2	0.961 8	0.987 6	0.984 0	0.979 7
	Wee	0.926 1	0.945 7	0.940 0	0.954 5	0.974 8	0.969 4
	本文方法	0.930 9	0.973 4	0.948 4	0.975 3	0.975 0	0.968 0
RMSE	PSNR	11.189 9	11.101 8	14.759 1	4.239 5	11.773 2	10.516 2
	SSIM	8.020 2	5.959 3	6.069 0	4.003 9	7.567 9	5.495 3
	IFC	8.124 0	7.957 6	7.641 4	6.747 7	5.411 4	5.995 3
	VIF	6.062 8	5.823 9	5.037 1	4.163 5	4.543 2	4.408 5
	Wee	7.873 6	7.021 0	6.663 1	5.349 8	4.989 0	4.891 7
	本文方法	7.492 3	6.479 1	6.538 3	4.980 9	5.197 4	4.493 5

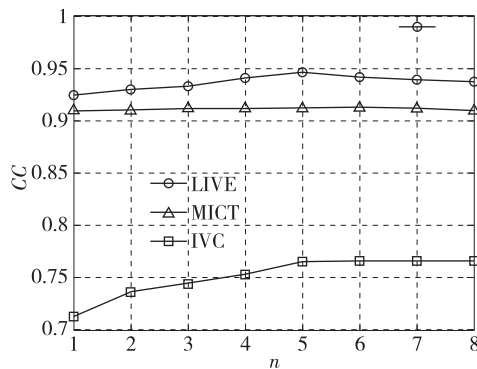


图 2 3 个数据库相关系数和指数因子的关系  
Fig.2 The relation of Correlation Coefficient and exponential factor in three database

表 2 MICT 和 IVC 图像数据库中的实验结果比较

Tab.2 Comparison of the results on MICT and IVC databases

评价指标	数据库	Wee 的方法	本文方法
CC	MICT	0.862 4	0.912 2
	IVC	0.732 1	0.765 1
SROCC	MICT	0.857 6	0.908 8
	IVC	0.711 6	0.751 2
RMSE	MICT	0.668 3	0.527 8
	IVC	0.834 6	0.783 4

参考文献:

[1] Chandlerd M. Seven challenges in image quality assessment: past, present, and future research[J]. ISRN Signal Processing, 2013, 2013: 1-53.

[2] 王志明. 无参考图像质量评价综述[J]. 自动化学报, 2015, 41(6): 1062-1079.  
Wang Z M. Review of no-reference image quality assessment[J]. Acta Automatica Sinical, 2015, 41(6): 1062-1079.

[3] 徐海勇, 郁梅, 骆挺, 等. 基于非负矩阵分解的彩色图像质量评价方法[J]. 电子与信息学报, 2016, 10(3): 432-440.  
Xu H Y, Yu M, Luo T, et al. A color image quality assessment method based on non-negative matrix factorization [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2016, 10(3): 432-440.

[4] 杨迪威, 余绍权. 利用相位一致性的图像质量评价方法[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(2): 16-20.  
Yang W D, Yu S Q. Image quality assessment based on phase congruency[J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(2): 16-20.

[5] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J].

- IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [6] Sheikh H R, Bovik A C, Veciana G D. An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12): 2117-2128.
- [7] Sheikh H R, Bovik A C. Image information and visual quality[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(2): 430-444.
- [8] Wee C Y, Paramesran R, Mukundan R, et al. Image quality assessment by discrete orthogonal moments [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(12): 4055-4068.
- [9] Mukundan R, Ong S H, Lee P A. Image analysis by Tehebichief moments[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(9): 1357-1364.
- [10] Yap P T, Paramesran R, Ong S H. Image analysis by Krawtchouk moments [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(11): 1367-1377.
- [11] Yang B, Dai M. Image analysis by Gaussian-Hermite moments[J]. Signal Processing, 2011, 91(10): 2290-2303.
- [12] Sheikh H R, Wang Z, Cormack L, et al. LIVE image quality assessment database release 2[EB/OL]. [2016-02-15]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [13] Horita Y, Shibata K, Kawayoke Y. MICT: Image quality evaluation database[EB/OL]. [2016-02-15]. <http://mict.eng.u-toyama.ac.jp/mictdb.html>.
- [14] Ninassi A, Le Callet P, Atrousseau F. Subjective quality assessment IRCCyN/IVC database [EB/OL]. [2016-02-15]. <http://www2.irccyn.ec-nantes.fr/ivcdb>.

## Image Quality Assessment Based on Low Order Gaussian-Hermite Moments

TANG Tengjian, ZHU Yue

(Recruitment and Employment Office, Chongqing Industry Polytechnic College, Chongqing 401120, China)

**Abstract:** This paper presents a new full reference image quality metric based on Gaussian-Hermite moments. Orthogonal moments are powerful tools in pattern recognition and image processing applications. Low order moments are employed to extract important features in a block manner, from the image. The sign of the moment is taken into account to generate the relative moment difference, which is obtained by comparing the absolute moment difference to the moment of the reference image. The relative moment difference would reflect more accurately distortion between distorted image block and original image block. So this will have more ability to describe the image quality. The performance of the proposed method is evaluated on several public databases using Gaussian-Hermite moments. Experimental results and comparisons demonstrate the efficiency of the method.

**Key words:** Gaussian-Hermite moments; full reference image quality metric; relative moment difference; absolute moment difference

(责任编辑 黄 颖)