

文章编号 1004-924X(2015)11-3259-11

## 应用 log-Gabor 韦伯特特征的图像质量评价

卢彦飞<sup>1,2,3</sup>, 张 涛<sup>1\*</sup>, 章 程<sup>1,2,3</sup>

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院 苏州生物医学工程技术研究所, 江苏 苏州 215163)

**摘要:**考虑人眼对亮度的感知符合韦伯定律的特点,本文利用 log-Gabor 滤波器模拟人眼对图像的感知过程,提出了一种新的 log-Gabor 韦伯特特征,以便保留不同尺度的符合人眼感知的结构信息。基于此,还提出了一种应用 log-Gabor 韦伯特特征的图像质量评价方法。首先将待评价失真图像和参考图像从 RGB 空间转换到 YIQ 颜色空间,分离亮度分量和颜色分量。然后利用 log-Gabor 韦伯特特征和梯度特征计算亮度分量失真,并结合颜色分量的失真,得到失真图像与参考图像的局部相似度图。最后利用修正的 CSF 函数,对局部相似度图进行加权,得到图像质量评价指标。在 LIVE/CSIQ 和 IVC3 个图像库上的实验结果表明,本文方法与人眼主观感知有很好的 consistency,而且相对于其他方法,表现更加稳定。本文方法在 3 个图像库上的加权 Spearman 秩相关系数(SROCC)为 0.949 8, Kendall 秩相关系数(KROCC)为 0.802 6, Pearson 线性相关系数(PLCC)为 0.943 8, 相比对比方法有显著的提高。

**关键词:**图像质量评价;对数盖伯滤波器;韦伯特特征;颜色分量;对比度敏感度函数

**中图分类号:**TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152311.3259

## Image quality assessment using log-Gabor Weber feature

LU Yan-fei<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Tao<sup>1\*</sup>, ZHANG Cheng<sup>1,2,3</sup>

- (1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
  2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
  3. Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology, Chinese Academy of Sciences, Suzhou 215163, China)
- \* Corresponding author, E-mail: zhangt@ciomp.ac.cn

**Abstract:** As human eye perception for the brightness accords with the Weber's law, this paper uses the log Gabor filter to simulate the human eye perception for an image and proposes a new log Gabor Weber characteristics to keep the structural information interested by human for different scales. To assess the image quality more effectively, a new image quality assessment method was proposed by using log-Gabor Weber feature. The log-Gabor filter and Weber's law were used to obtain a new

**收稿日期:**2015-03-06; **修订日期:**2015-04-16.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(No. 61201117, No. 61301042); 国家重大科学仪器设备开发专项资助项目(No. 2011YQ040082); 国家科技支撑计划资助项目(No. 2012BA113B04); 江苏省自然科学基金资助项目(No. BK2012189)

feature named log-Gabor Weber feature (LGW). Firstly, the distorted image and reference image were transformed from the RGB color space into a YIQ color space to separate the luminance component and the chromatic component. Then, the LGW feature and gradient feature were used to calculate the distortion of luminance component. Furthermore, the distortion of chromatic component was integrated to get the local similarity map between distorted image and reference image. Finally, a modified CSF pooling strategy was applied to the overall local similarity map to obtain the final image quality index. The experimental results on three benchmark image databases, LIVE, CSIQ and IVC, indicate that the proposed method owns a good consistency with human subjective perception and it has a more stable performance as compared with other state-of-the-art methods. The weighted Spearman Rank Order Correlation Coefficient (SROCC), Kendallrank-order Correlation Coefficient (KROCC) and the Pearsonlinear Correlation Coefficient, PLCC) values on three databases by the proposed method are 0.949 8, 0.802 6 and 0.943 8, respectively, which notably outperform other methods.

**Key words:** image quality assessment; log-Gabor filter; Weber feature; chromatic component; contrast sensitivity function

## 1 引言

图像在获取、压缩、传输及显示等各个过程中都会引入各种失真,从而导致图像视觉效果下降,因此,图像质量评价方法已成为图像处理领域的研究热点,吸引了大量研究者的注意。

图像质量评价主要包括主观评价方法和客观评价方法。主观评价方法过程繁琐,实时性和移植性较差,且易受不同的观察者和客观环境等因素的影响,比较难应用到工程中。目前图像质量评价领域的研究重点是客观评价方法。根据对参考图像的依赖程度,客观评价方法可以分为全参考质量评价<sup>[1]</sup>、部分参考质量评价以及无参考质量评价。全参考评价方法通过比较降质图像和参考图像来评价图像质量,由于其利用了整幅参考图像的信息,是目前最可靠的客观评价方法;部分参考评价方法只利用参考图像的部分信息来评价图像质量,其可靠性比参考评价方法低,但效率高;在无法得到参考图像的情况下,只能利用无参考评价方法<sup>[2]</sup>对图像进行评价,该类方法一般针对某些特定类型的失真,比如图像压缩失真、图像模糊失真等。

传统的全参考评价方法有均方误差 (Mean Squared Error, MSE) 及峰值信噪比 (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) 等,它们是通过计算失真图像和参考图像对应像素差值的统计量来

度量图像质量的,其计算简单,物理意义清晰,应用较为广泛;但是由于忽略了人眼的视觉特性及图像像素之间的相关性,其评价结果与人眼主观感受不太相符。随着人们对人类视觉系统 (Human Visual System, HVS) 认识的深入,在图像质量评价方法中引入人眼视觉特性已是一种趋势。根据 HVS 建模方式的不同,该方法可以分为自底向上和自顶向下两类。自底向上的方法通过分析 HVS 处理图像信号时所利用的图像特性,比如亮度和对比度特性、视觉掩模效应等来对人眼视觉性质进行建模,其中代表性的方法有 NQM (Noise Quality Measure)<sup>[3]</sup> 和 VSNR (Visual Signal-to-noise Ratio)<sup>[4]</sup>。自顶向下的方法把人类视觉系统当作一个黑箱,只考虑信号的输入与输出的关系,通过模拟 HVS 的整体功能来建立模型,代表性的方法有 Zhou Wang 等提出的结构相似度<sup>[5]</sup> (Structural Similarity Index, SSIM), 及其改进 MS-SSIM<sup>[6]</sup> 和 IW-SSIM<sup>[7]</sup>。SSIM 方法假设 HVS 的主要功能是提取场景中的结构信息,利用失真前后亮度、对比度及结构信息的差异来评价图像质量。MS-SSIM 方法将 SSIM 扩展到多尺度,考虑了观察距离和分辨率等因素,而 IW-SSIM 方法则利用图像不同区域的信息量作为权重,对 MS-SSIM 进行加权处理。此外, H. R. Sheikh 等假设 HVS 是自然进化的结果,提出了基于自然场景统计的信息保真度指标<sup>[8]</sup> (Information Fidelity Criterion, IFC) 和视

觉信息保真度方法<sup>[9]</sup> (Visual Information Fidelity, VIF)。它们通过估计人眼从失真图像中得到的信息量相对于参考图像的保留程度,对图像质量进行评价。L. Zhang 等提出的 FSIM<sup>[10]</sup>方法是利用相位一致性等低级特征在失真前后的相似程度来估计图像质量。A. Liu 等<sup>[11]</sup>利用梯度信息能够捕捉图像结构和对比度变化的性质,提出了基于梯度相似度的评价方法 (Gradient Similarity based Metric, GSM)。L. Zhang<sup>[12]</sup>等认为视觉显著性和图像质量有关,提出了考虑视觉显著性的图像质量评价方法 (Visual Saliency-induced Index, VSI)。以上方法的评价结果虽然与人眼主观评价结果比较一致,但是在不同失真图像库的表现不够稳定。此外,大部分评价方法都只利用了图像的亮度分量信息,却忽略了颜色信息,而颜色信息在人眼感知图像的过程中也起着很重要的作用,对颜色信息的忽略会影响评价结果的准确性<sup>[13]</sup>。

人眼是图像的最终接收者,合理利用人眼的视觉特性,提取符合人眼视觉特性的特征是得到性能优良的图像质量评价方法的关键。相关研究指出,可以用 log-Gabor 滤波器模拟人眼对图像的感知过程<sup>[14]</sup>,同时,人眼对亮度的感知符合韦伯定律<sup>[15]</sup>,本文在韦伯定律的基础上,提出了差异激励特征,将其与 log-Gabor 滤波器结合,提出了一种新的特征,即 log-Gabor 韦伯特征 (log-Gabor Weber feature, LGW)。在此基础上,提出了一种新的图像质量评价方法。首先,将失真图像和参考图像分别从 RGB 空间转到 YIQ 颜色空间,分离出亮度分量 Y 和颜色分量 I、Q。针对亮度分量 Y,利用 LGW 特征和梯度特征在图像失真前后的相似性来衡量其失真程度。然后,计算颜色分量 I 和 Q 的失真,并结合亮度分量 Y 的失真程度,得到失真图像与参考图像的局部相似度图。最后,利用修正的对比度敏感度函数 (Contrast Sensitivity Function, CSF) 作为加权函数对局部相似度图进行加权,得到失真图像的质量评价指标。在 LIVE (Laboratory for Image and Video Engineering)、CSIQ 和 IVC 3 个图像数据库上对本文方法进行了实验,并与 8 种常用及最新的算法进行了比较。

## 2 log-Gabor 韦伯特征

### 2.1 log-Gabor 滤波器

人眼对图像的感知是一个从轮廓到细节的过程,这个过程可以用 Gabor 滤波器来进行模拟。由于 Gabor 滤波器存在带宽限制,Field 等<sup>[14]</sup>提出了 log-Gabor 滤波器,其不仅克服了 Gabor 滤波器的缺点,而且在对数频率尺度上与 HVS 功能更相似,更适合图像特征提取。在线性频率尺度上,log-Gabor 滤波器的传递函数形式为:

$$G(\omega) = \exp\left[-\frac{(\ln(\omega/\omega_0))^2}{2(\ln(\sigma_\omega/\omega_0))^2}\right], \quad (1)$$

式中: $\omega_0$ 是滤波器的中心频率,对于不同的中心频率, $\sigma_\omega/\omega_0$ 须保持恒定,其取值决定了滤波器的带宽。log-Gabor 滤波器的实部是偶对称滤波器,虚部是奇对称滤波器,故其具有良好的局部性和方向性。在采用 log-Gabor 滤波器进行特征提取时,需选取合适的尺度。利用  $n$  个尺度的 log-Gabor 滤波器对图像进行滤波,可以得到  $n$  幅滤波图像。在不同尺度的滤波结果中,由粗到细的纹理结构反映了人眼对图像的感知过程。

### 2.2 韦伯定律

人眼对亮度的感知符合韦伯定律<sup>[15]</sup>。韦伯定律指出,一个刺激量可感知的最小变化与原刺激量的比值是一个常数,可表示为:

$$\frac{\Delta I_{\min}}{I} = k, \quad (2)$$

其中: $k$ 称为韦伯比,在较大的一个范围内其可以看作常数,即当  $I$  改变时, $\Delta I_{\min}/I$  基本保持不变。韦伯定律在很多感知现象中都存在,其意味着刺激量的感知不依赖于其绝对强度,而依赖于相对强度。

本文利用差异激励特征<sup>[15]</sup>来描述人眼感知图像时的韦伯定律。对于一幅图像来说,差异激励特征是两项比值的函数:第一项是当前像素灰度值与邻域灰度值之间的差异累积量,第二项是当前像素的灰度值。将某一像素点记为  $x_c$ ,其  $p$  个邻域像素记为  $x_i (i=0, 1, \dots, p-1)$ ,在本文中取  $p=8$ ,即像素点的  $3 \times 3$  邻域。像素点  $x_c$  的邻域差异累积量为  $\Delta x$ ,则有:

$$\Delta x = \sum_{i=0}^{p-1} (x_i - x_c), \quad (3)$$

当前像素邻域差异累积量  $\Delta x$  与当前像素  $x_c$  的比值为:

$$\frac{\Delta x}{x_c} = \frac{\sum_{i=0}^{p-1} (x_i - x_c)}{x_c} = \sum_{i=0}^{p-1} \left[ \frac{x_i - x_c}{x_c} \right]. \quad (4)$$

当前像素  $x_c$  的差异激励特征  $\xi(x_c)$  为:

$$\xi(x_c) = \arctan \left[ \alpha \frac{\Delta x}{x_c} \right] = \arctan \left[ \alpha \sum_{i=0}^{p-1} \left( \frac{x_i - x_c}{x_c} \right) \right], \quad (5)$$

其中:  $\alpha$  用来调整邻域像素与中心像素的差异,反正切函数用来防止计算结果过大,同时也为了模拟人眼视觉的非线性特性。基于韦伯定律的差异激励特征保留了中心像素点及其邻域之间的差异,所提取的特征非常符合人眼视觉特性<sup>[15]</sup>。本文将差异激励特征引入到图像质量评价领域,结合 log-Gabor 滤波器,提出了一种新的 log-Gabor 韦伯特征。

### 2.3 log-Gabor 韦伯特征

对于一幅图像  $X$ , LGW 的计算过程如下:

(1) 对于彩色图像,先将其从 RGB 空间转到 YIQ 颜色空间,且提取出亮度分量;如果是灰度图像,则不进行任何操作。

(2) 选取  $n$  个频率尺度的 log-Gabor 滤波器对图像进行滤波,得到  $n$  幅不同尺度的滤波后图像。本文取  $n=4$ ,其中最小尺度波长为 3,尺度倍数为 1.7,  $\sigma_\omega/\omega_0=0.65$ 。4 幅滤波后图像分别记为  $F_1, F_2, F_3$  和  $F_4$ 。

(3) 将  $F_1, F_2, F_3$  和  $F_4$  的灰度值归一化到 0 至 255 之间,然后计算每幅图像的差异激励特征图,分别记为  $W_1, W_2, W_3$  和  $W_4$ 。

(4) 将  $W_1, W_2, W_3$  和  $W_4$  的灰度值归一化到 0 至 255 之间,则将此 4 幅图像称为图像  $X$  的 log-Gabor 韦伯特征。

如图 1 所示,(a) 为原图像,(b)、(c)、(d) 和 (e) 是利用 4 个不同尺度的 log-Gabor 滤波器对 (a) 进行滤波后的归一化结果,可以看到,不同的尺度包含的信息是不同的,尺度越高纹理结构越粗糙,最高尺度只包含了图像的轮廓信息。(f)、(g)、(h) 和 (i) 是 (b)、(c)、(d) 和 (e) 对应的归一化后的差异激励特征,即原图像的 log-Gabor 韦伯特征。可以看到,图像的 log-Gabor 韦伯特征保留了不同尺度下人眼感兴趣的结构,能够有效提取图像信息。

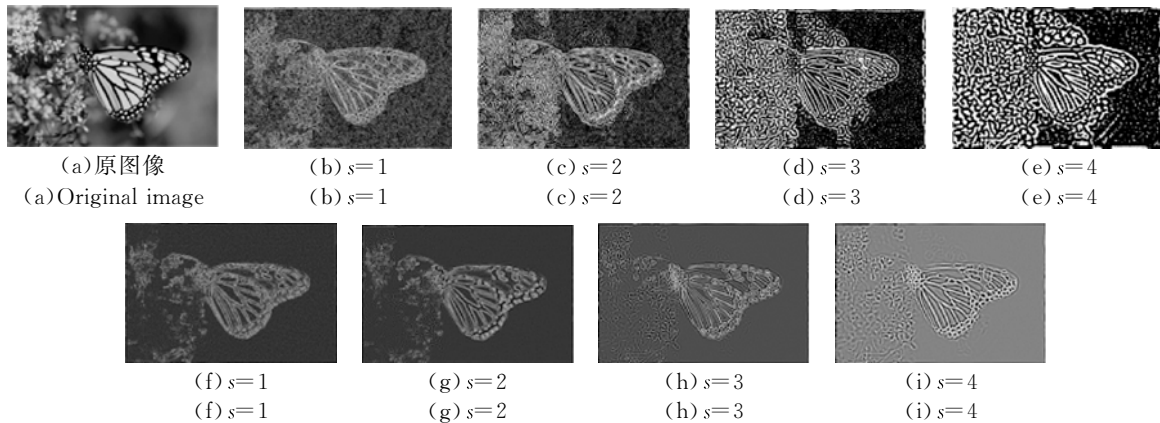


图 1 一幅图像的 log-Gabor 韦伯特征

Fig. 1 log-Gabor Weber feature maps of an image

## 3 应用 LGW 的图像质量评价

### 3.1 计算亮度分量相似度图

对于两幅彩色图像  $f(x)$  和  $g(x)$ , 其中  $f(x)$  为参考图像,  $g(x)$  为待评价的失真图像。先将两幅图像从 RGB 空间转换到 YIQ 颜色空间,分离

出亮度分量  $Y$  和颜色分量  $I, Q$ 。

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (6)$$

记  $f_Y(x)$  和  $g_Y(x)$  分别为图像  $f(x)$  和  $g(x)$  的亮度分量  $Y$ , 然后分别提取其 LGW。图像  $f_Y$  对应的 LGW 分别记为  $f_1, f_2, f_3$  及  $f_4$ , 图像  $g_Y$  对

应的特征分别记为  $g_1, g_2, g_3$  及  $g_4$ , 则对于 4 组相应的特征图  $\{f_i, g_i\}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ), 可以得到 4 幅相似度图:

$$S_{W_i}(x) = \frac{2f_i(x) \cdot g_i(x) + c_1}{f_i^2(x) + g_i^2(x) + c_1}, \quad (7)$$

其中  $c_1$  是为了避免分母接近零时造成的不稳定情况。

4 幅相似度图分别对应不同尺度下的相似度, 为了得到 LGW 的总相似度, 需要将 4 幅相似度图进行融合, 为了简化计算, 本文直接取平均进行融合, 即:

$$S_W(x) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{2f_i(x) \cdot g_i(x) + c_1}{f_i^2(x) + g_i^2(x) + c_1}. \quad (8)$$

LGW 的提取过程中没有考虑对比度信息, 而梯度特征对于对比度的变化比较敏感<sup>[11-12]</sup>, 可用于反映对比度情况, 故本文利用其对 LGW 进行补充。有多种算子可以用于计算梯度特征, 比如 Sobel 算子、Prewitt 算子和 Scharr 算子等。对于图像  $f(x)$ , 其水平和垂直方向的偏导数分别为  $f_x(x)$  和  $f_y(x)$ , 则其梯度可以表示为:

$$f_G(x) = \sqrt{f_x^2(x) + f_y^2(x)}. \quad (9)$$

记图像  $f(x)$  和  $g(x)$  的梯度分别为  $f_G(x)$  和  $g_G(x)$ , 则两幅图像的梯度相似度为:

$$S_G(x) = \frac{2f_G(x) \cdot g_G(x) + c_2}{f_G^2(x) + g_G^2(x) + c_2}, \quad (10)$$

其中  $c_2$  是为了避免分母接近零时造成的不稳定情况。

将 LGW 相似度图和梯度相似度图结合起来, 即可以得到亮度分量的局部相似度图  $S_L(x)$ , 其定义如下:

$$S_L(x) = [S_W(x)]^\beta \cdot [S_G(x)]^\gamma, \quad (11)$$

其中:  $\beta$  和  $\gamma$  用来调整两部分的相对重要程度, 为了简化计算, 本文取  $\beta = \gamma = 1$ 。

### 3.2 计算颜色分量相似度图

从 RGB 空间变换到 YIQ 颜色空间时, 颜色信息将保留在 I 和 Q 分量中。记  $f_I(x)$  和  $g_I(x)$  分别为图像  $f(x)$  和  $g(x)$  的 I 颜色通道的信息,  $f_Q(x)$  和  $g_Q(x)$  分别为图像  $f(x)$  和  $g(x)$  的 Q 颜色通道信息, 则将  $f(x)$  和  $g(x)$  颜色分量之间的相似度图定义为:

$$S_I(x) = \frac{2f_I(x) \cdot g_I(x) + c_3}{f_I^2(x) + g_I^2(x) + c_3}, \quad (12)$$

$$S_Q(x) = \frac{2f_Q(x) \cdot g_Q(x) + c_4}{f_Q^2(x) + g_Q^2(x) + c_4}, \quad (13)$$

其中:  $c_3$  和  $c_4$  是正常数, 用于避免分母接近零时造成的不稳定情况。颜色分量的局部相似度图  $S_C(x)$  的定义如下:

$$S_C(x) = S_I(x) \cdot S_Q(x). \quad (14)$$

### 3.3 计算图像质量评价指标

HVS 对于图像不同区域的重视程度不同, 而对比度敏感度函数 (Contrast Sensitivity Function, CSF) 可以反映 HVS 区别微小差异的能力。记  $f$  为空间频率,  $H(f)$  为 CSF, 本文对 Mannos 和 Sakrison<sup>[16]</sup> 给出的 CSF 进行修正如下:

$$H(f) = 2.6(0.0192 + 0.114\kappa f) \cdot \exp(-(0.114\kappa f)^{1.1}), \quad (15)$$

其中  $\kappa$  用来对函数进行调节。

由于空间频率和梯度相关, 本文利用梯度作为空间频率的近似。记  $f_G(x)$  为参考图像的梯度, 则 CSF 可以用  $H(f_G(x))$  得到, 其代表了人眼对图像不同位置的敏感程度:

$$H(f_G(x)) = 2.6(0.0192 + 0.114\kappa \cdot f_G(x)) \cdot \exp(-(0.114\kappa \cdot f_G(x))^{1.1}). \quad (16)$$

本文利用  $w(x) = H(f_G(x))$  作为权重图来计算整幅图像的质量评价指标。由于本文方法基于 LGW, 将其记为 LGWSIM (log-Gabor Weber feature SIMilarity), 则 LGWSIM 计算如下:

$$LGWSIM = \frac{\sum_{x \in \Omega} S_L(x) \cdot [S_C(x)]^\lambda \cdot w(x)}{\sum_{x \in \Omega} w(x)}, \quad (17)$$

其中:  $\lambda$  用来调整颜色信息分量的重要程度,  $\Omega$  表示图像像素空间。对于灰度图像, 由于其没有颜色分量信息, I 和 Q 分量均为 0, 此时  $S_I(x) = S_Q(x) = 1$ , 则  $S_C(x) = 1$ , 即仅利用亮度分量信息就可以对其进行质量评价。因此, 本文方法对于灰度图像同样适用。

## 4 实验结果及分析

### 4.1 LIVE 图像库的实验结果分析

为了对本文方法进行验证, 首先利用 LIVE 图像数据库<sup>[17]</sup> 进行实验, 该图像库包含 29 幅参考图像和 799 幅失真图像, 其中有 jpeg 压缩, jpeg 压缩, 白噪声 wn, 高斯模糊 gblur 和 Rayleigh 衰落信道模型传输误差失真 fastfading 共 5 种失真类型。图像库中给出了每幅图像的主观评价价值 DMOS, 由一定数量的观测者打分为

到,DMOS 值越小说明图像的主观评价越高。

经过多次实验得到  $\alpha=5.2, \kappa=0.005, \lambda=0.03$  时本文方法的性能较好,在参数固定的情况下,利用  $3 \times 3$  的 Prewitt 算子可以得到更好的评价结果。在其他图像库上进行实验时,参数保持不变。本文实验环境为 2.67GHz Intel Core2 Quad CPU、4G 内存,软件为 Matlab2011a。

根据 VQEG<sup>[18]</sup> (Video Quality Evaluation Group) 的建议,需要在客观评价和主观评价之间建立非线性映射,来反映存在的非线性关系,采用的映射函数<sup>[1]</sup>如下:

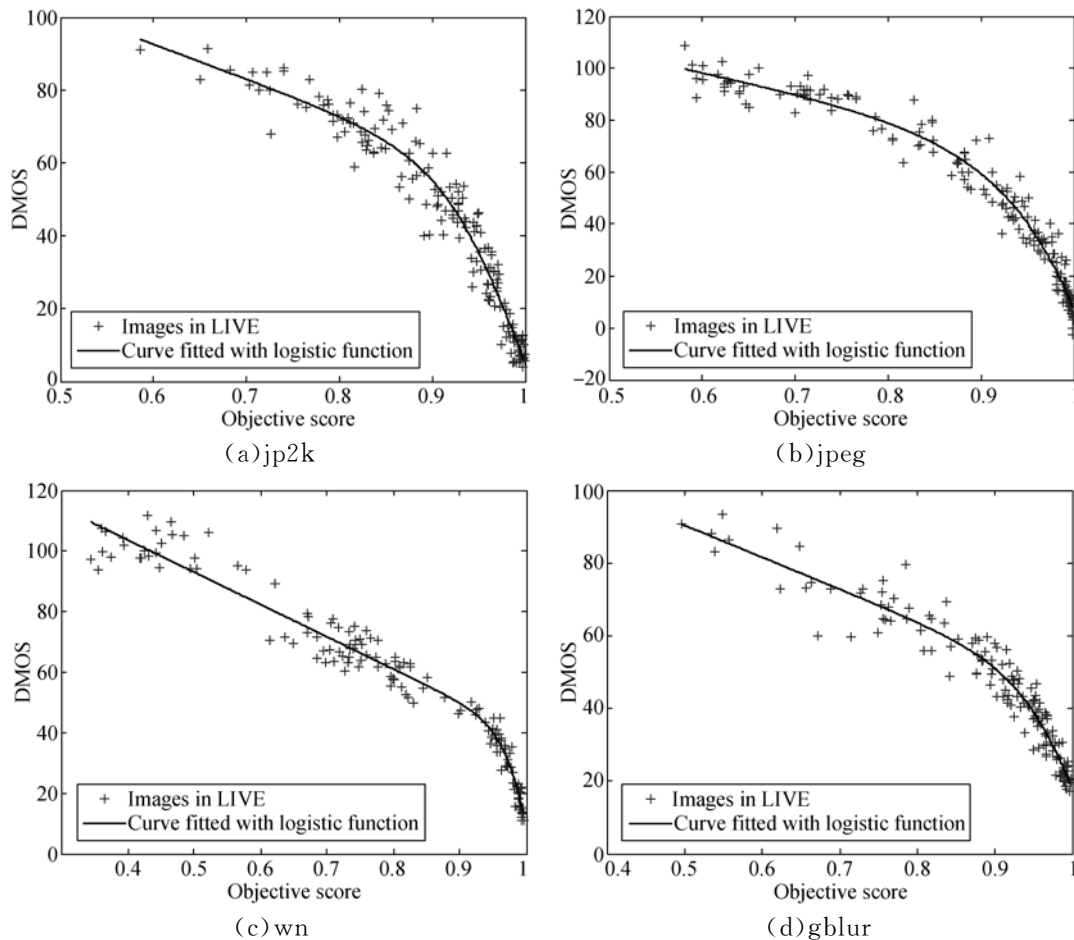
$$f(x) = \beta_1 \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{1 + e^{\beta_2(x - \beta_3)}} \right] + \beta_4 x + \beta_5, \quad (18)$$

其中:  $x$  表示客观评价,  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  和  $\beta_5$  为模型参数。

为了进一步说明问题,本文利用 4 个指标来评估图像质量评价方法的性能<sup>[19]</sup>。前两个指标分别

是 Spearman 秩相关系数 (Spearman Rank-Order Correlation Coefficient, SROCC) 和 Kendall 秩相关系数 (Kendall Rank-Order Correlation Coefficient, KROCC), 用来反映预测的单调性, 取值范围在 0 到 1 之间, 它们数值越大说明算法的单调性越好。另外两个指标需要在客观评价和主观评价之间建立非线性映射之后得到, 分别为 Pearson 线性相关系数 (Pearson Linear Correlation Coefficient, PLCC) 和均方根误差 (Root Mean-Squared-Error, RMSE), 用来反映预测的准确性和一致性, 其中 PLCC 在 0 到 1 之间, 其数值越大说明算法越准确, RMSE 的值越小说明算法的一致性越好。

图 2 为本文方法在 LIVE 图像库上 5 种单一失真实验与交叉失真实验的曲线拟合图, 可以看出, 散点图很紧凑地分布在拟合曲线附近, 这说明本文方法具有较好的预测性能。



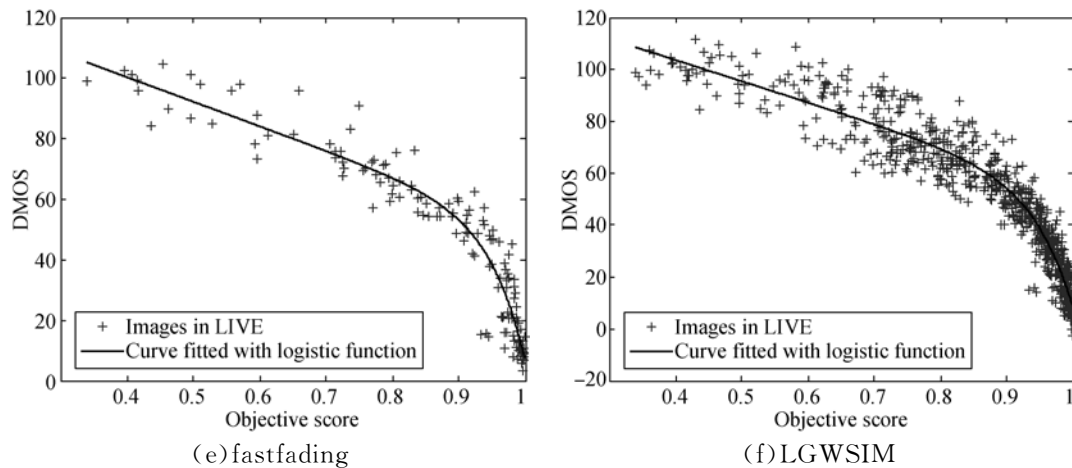


图 2 本文所提出的评价方法与主观 DMOS 的曲线拟合图

Fig. 2 Curve fitting maps of proposed method with DMOS

表 1 列出了本文方法在 LIVE 图像库上的性能指标。可以看出,无论是在单一失真还是在交叉失真实验中,本文方法都有很好的表现,说明本文利用的特征能够很好地反映图像失真。

表 1 本文方法在 LIVE 图像库上的性能指标

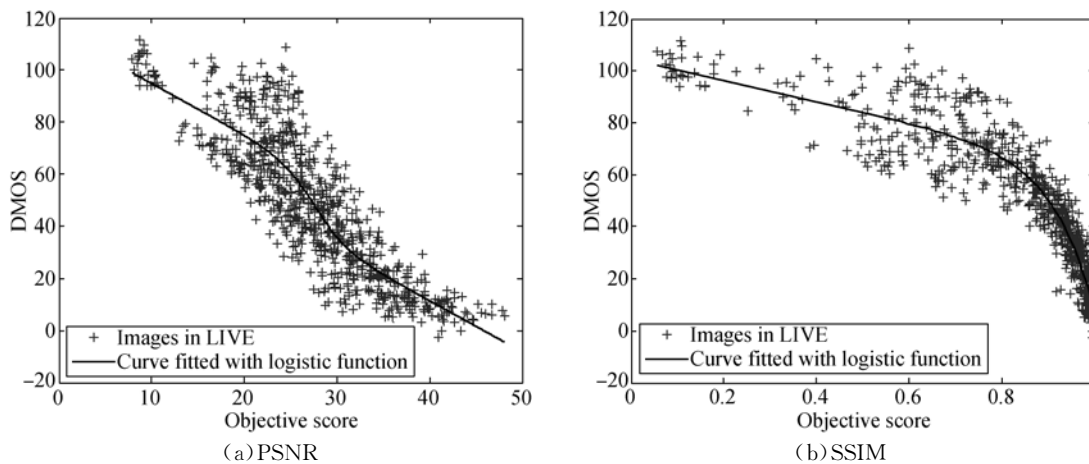
Tab. 1 Performance metrics of proposed method on LIVE database

	jp2k	jpeg	wn	gblur	fastfading	overall
SROCC	0.968 3	0.982 3	0.974 9	0.969 1	0.960 1	0.964 7
KROCC	0.841 5	0.886 4	0.865 3	0.844 8	0.832 6	0.833 6
PLCC	0.974 6	0.984 6	0.983 4	0.968 4	0.958 8	0.961 7
RMSE	5.654 0	5.569 3	5.071 2	4.604 2	8.092 9	7.486 3

图 3 为 8 种对比方法在 LIVE 图像库上的交

叉失真实验的曲线拟合图,其中 PSNR 是峰值信噪比,MS-SSIM<sup>[6]</sup>,IW-SSIM<sup>[7]</sup>是以 SSIM<sup>[5]</sup>为基础的改进,GSM<sup>[11]</sup>利用了梯度相似度,VIF<sup>[9]</sup>基于自然场景分析和信息论,FSIM<sup>[10]</sup>利用了相位一致性,VSI<sup>[12]</sup>利用了视觉显著性图。将图 3 中 8 种评价方法的曲线拟合图与图 2(f)中本文方法的曲线拟合图进行比较可以看出,本文方法的散点图分布很紧凑,说明本文方法有非常好的一致性。

表 2 列出了本文方法与其他 8 种评价方法在 LIVE 图像库上 4 个指标的对比结果。表中每种评价方法的 SROCC、KROCC 与 PLCC 最大的 3 个值及 RMSE 最小的 3 个值均用粗体标出。可以看到,本文方法的 SROCC 与 PLCC 均最大, RMSE 最小, KROCC 略小于 FSIM,总体来说,本文方法的表现超出了其他 8 种方法。



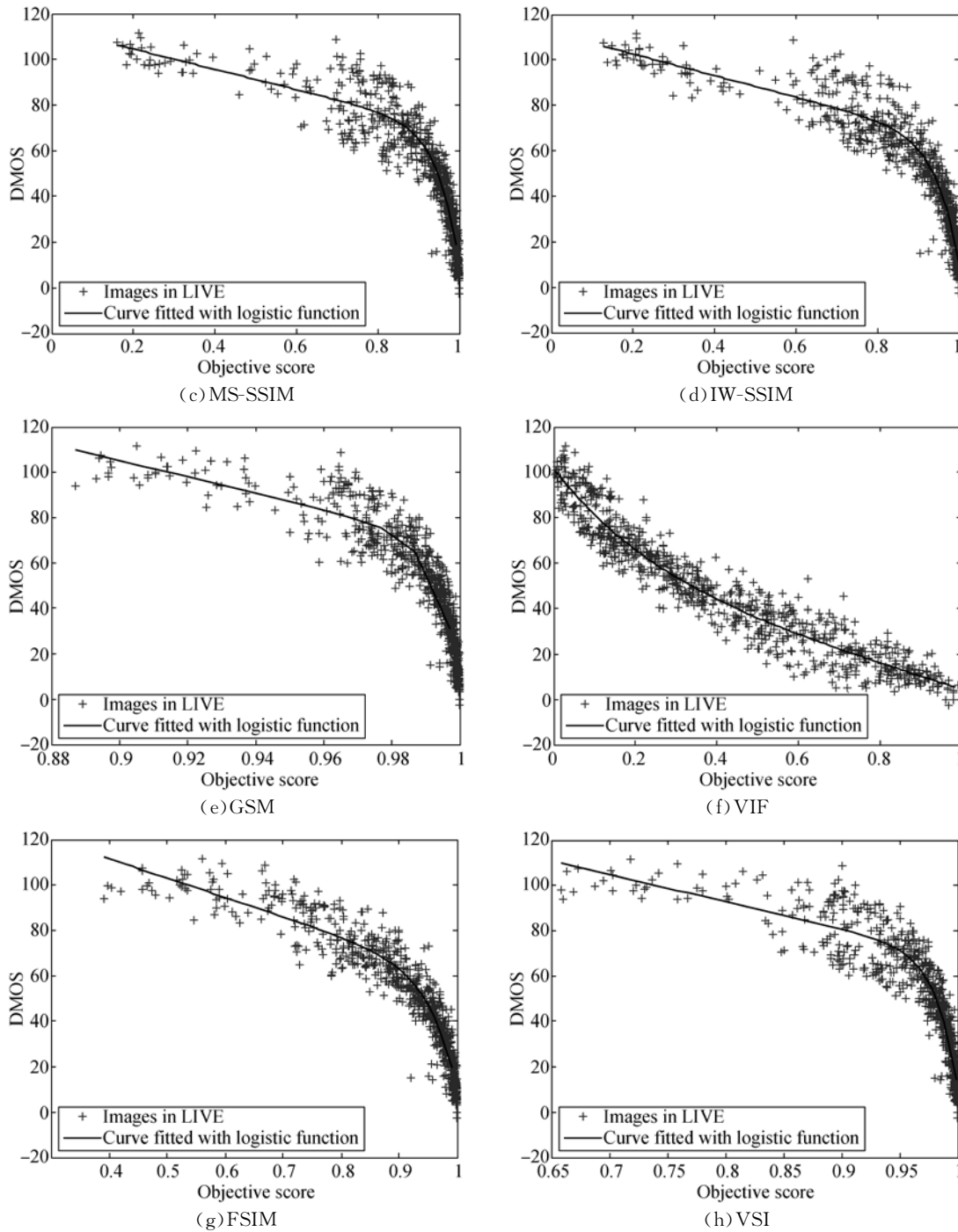


图 3 本文对比方法与主观 DMOS 的曲线拟合图

Fig. 3 Curve fitting maps of compared methods with DMOS

表 2 本文方法在 LIVE 图像库上与其他方法的性能指标比较

Tab. 2 Performance comparison of proposed method and other methods on LIVE

	PSNR	SSIM	MS-SSIM	IW-SSIM	GSM	VIF	FSIM	VSI	LGWSIM
SROCC	0.875 6	0.947 9	0.951 3	0.956 7	0.956 1	<b>0.963 1</b>	<b>0.963 4</b>	0.952 4	<b>0.964 7</b>
KROCC	0.686 5	0.796 3	0.804 5	0.817 5	0.815 0	<b>0.827 0</b>	<b>0.833 7</b>	0.805 8	<b>0.833 6</b>
PLCC	0.872 3	0.944 9	0.948 9	0.952 2	0.951 2	<b>0.959 8</b>	<b>0.959 7</b>	0.948 2	<b>0.961 7</b>
RMSE	13.359 7	8.945 5	8.618 8	8.347 3	8.432 7	<b>7.673 4</b>	<b>7.678 0</b>	8.681 6	<b>7.486 3</b>

#### 4.2 CSIQ 图像库与 IVC 图像库的实验结果分析

为了说明本文方法的鲁棒性,利用 CSIQ 图像库<sup>[20]</sup>和 IVC 图像库<sup>[21]</sup>进行了实验。CSIQ 图像库包含 30 幅参考图像和 866 幅失真图像,其中有 jpeg 压缩, jp2k 压缩,全局对比度衰减,加性高斯粉红噪声,加性高斯白噪声和高斯模糊 gblur 共 6 种失真类型。图像库中同样给出了每幅图像的主观评价价值 DMOS。IVC 图像库包含 10 幅参考图像和对应的 185 幅失真图像,其中有 jpeg 压缩, jp2k 压缩, LAR coding 失真和模糊失真 blur 共 4 种失真类型。图像库中给出了每幅图像的主

观评价价值 DMOS。

表 3 和表 4 分别列出了本文方法与其他 8 种评价方法在 CSIQ 图像库与 IVC 图像库上的 4 个指标的对比结果。每种评价方法的 SROCC、KROCC 与 PLCC 最大的 3 个值及 RMSE 最小的 3 个值均用粗体标出。

从表 3 可以看出,本文方法在 CSIQ 图像库上依然具有很好的评价性能。SROCC 和 KROCC 值仅次于 VSI 方法;PLCC 具有最大值;RMSE 略大于 VIF 方法而小于 VSI 方法;总体表现仅次于 VSI。

表 3 本文方法在 CSIQ 图像库上与其他方法的性能指标比较

Tab. 3 Performance comparison of proposed method and other methods on CSIQ

	PSNR	SSIM	MS-SSIM	IW-SSIM	GSM	VIF	FSIM	VSI	LGWSIM
SROCC	0.805 8	0.875 6	0.913 3	0.921 3	0.910 8	0.919 3	<b>0.924 2</b>	<b>0.942 3</b>	<b>0.940 7</b>
KROCC	0.608 4	0.690 7	0.739 3	0.752 9	0.737 4	0.753 4	<b>0.756 7</b>	<b>0.785 7</b>	<b>0.782 3</b>
PLCC	0.800 0	0.861 3	0.899 1	0.914 4	0.896 4	<b>0.927 7</b>	0.912 0	<b>0.927 9</b>	<b>0.928 7</b>
RMSE	0.157 5	0.033 4	0.114 9	0.106 3	0.116 4	<b>0.096 0</b>	0.107 7	<b>0.097 9</b>	<b>0.097 4</b>

表 4 本文方法在 IVC 图像库上与其他方法的性能指标比较

Tab. 4 Performance comparison of the proposed method and other methods on IVC

	PSNR	SSIM	MS-SSIM	IW-SSIM	GSM	VIF	FSIM	VSI	LGWSIM
SROCC	0.688 4	0.901 8	0.884 7	0.912 5	<b>0.929 1</b>	0.896 6	<b>0.926 2</b>	0.899 3	<b>0.928 1</b>
KROCC	0.521 8	0.722 3	0.701 2	0.733 9	<b>0.761 8</b>	0.716 5	<b>0.756 4</b>	0.721 7	<b>0.763 8</b>
PLCC	0.719 6	0.911 9	0.893 4	0.923 1	<b>0.939 0</b>	0.902 8	<b>0.937 6</b>	0.912 0	<b>0.937 3</b>
RMSE	0.846 0	0.499 9	0.547 4	0.468 6	<b>0.419 0</b>	0.523 9	<b>0.423 6</b>	0.499 9	<b>0.424 6</b>

从表 4 可以看出,在 IVC 图像库上,本文方法的 SROCC 值仅次于 GSM, KROCC 具有最大值, PLCC 与 RMSE 仅次于 GSM 与 FSIM 的对应值。本文方法在 IVC 图像库上同样具有很好的综合评价性能。

#### 4.3 3 个图像库的加权平均表现分析

根据前面的结果可知,已有的图像质量评价方法在不同图像库上的表现不够稳定,而本文方法在不同的图像库上均有优异的表现,这说明本文方法

能够非常有效地对图像质量进行评价。表 5 列出了几种评价方法在 3 个图像库上的加权平均,权重为每个图像库中的图像数量占 3 个图像库总图像数的比值。由于 RMSE 与 3 个图像库的主观得分取值范围有关,本文只计算了 SROCC、KROCC 和 PLCC,并将最大的 3 个值用粗体标出。由表 5 可知,本文方法 LWSIM 的加权 SROCC 为 0.949 8, KROCC 为 0.802 6, PLCC 为 0.943 8,相对于已有的图像质量评价方法有显著提高。

表 5 本文方法与其他方法在 3 个图像库上的加权平均表现结果比较

Tab. 5 Average performance comparison of proposed method and other methods on three databases

	PSNR	SSIM	MS-SSIM	IW-SSIM	GSM	VIF	FSIM	VSI	LGWSIM
SROCC	0.824 2	0.909 4	0.926 9	0.935 7	0.932 2	0.935 9	<b>0.941 3</b>	<b>0.942 4</b>	<b>0.949 8</b>
KROCC	0.633 5	0.739 5	0.763 6	0.778 9	0.773 4	0.781 5	<b>0.789 9</b>	<b>0.788 0</b>	<b>0.802 6</b>
PLCC	0.823 2	0.902 5	0.920 0	0.931 6	0.924 3	<b>0.939 1</b>	<b>0.935 2</b>	0.935 1	<b>0.943 8</b>

## 5 结 论

本文利用 log-Gabor 滤波器来模拟人眼对图像的感知过程,同时根据人眼对亮度的感知符合韦伯定律的特点,提出了一种新的 log-Gabor 韦伯特征,其能够保留不同尺度上符合人眼感知的结构信息。在此基础上,提出了一种应用 LGW 的图像质量评价方法。该方法利用了图像的颜色分量,并利用修

正的 CSF 函数作为权重图来反映人眼对图像不同区域的敏感程度。在 3 个常用的图像数据库 LIVE、CSIQ 和 IVC 上对本文方法进行了验证。结果表明,本文方法在 LIVE 图像库上具有很好的评价性能,而且表现比较稳定,在 CSIQ 和 IVC 图像库上也有很好的评价结果。3 个图像库的加权平均结果表明,本文方法 LGWSIM 的加权 SROCC 为 0.949 8, KROCC 为 0.802 6, PLCC 为 0.943 8,相对于对比方法有显著提高。

### 参考文献:

- [1] SHEIKH H R, SABIR M F, BOVIK A C. A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment algorithms [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15 (11): 3443-3452.
- [2] 范媛媛,沈湘衡,桑英军. 基于对比度敏感度的无参考图像清晰度评价 [J]. *光学精密工程*, 2011, 19 (10): 2485-2493.  
FAN Y Y, SHEN X H, SANG Y J. No reference image sharpness assessment based on contrast sensitivity [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19 (10): 2485-2493. (in Chinese)
- [3] DAMERA-VENKATA N, KITE T D, GEISLER W S, et al.. Image quality assessment based on a degradation model [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, 9(4): 636-650.
- [4] CHANDLER D M, HEMAMI S S. VSNR: A wavelet-based visual signal-to-noise ratio for natural images [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2007, 16(9): 2284-2298.
- [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] WANG Z, SIMONCELLI E P, BOVIK A C. Multiscale structural similarity for image quality assessment [C]. *IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, USA*, 2003: 1398-1402.
- [7] WANG Z, LI Q. Information content weighting for perceptual image quality assessment [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, 20(5): 1185-1198.
- [8] SHEIKH H R, BOVIK A C, VECIANA G. An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005, 14(12): 2117-2128.
- [9] SHEIKH H R, BOVIK A C. Image information and visual quality [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(2): 430-444.
- [10] ZHANG L, ZHANG L, MOU X Q, et al.. FSIM: A feature similarity index for image quality assessment [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, 20(8): 2378-2386.
- [11] LIU A, LIN W, NARWARIA M. Image quality assessment based on gradient similarity [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2012, 21(4): 1500-1512.
- [12] ZHANG L, SHEN Y, LI H Y. VSI: A visual saliency-induced index for perceptual image quality assessment [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2014, 23(10): 4270-4281.

- [13] 王宇庆,朱明. 评价彩色图像质量的四元数矩阵最大奇异值方法 [J]. *光学精密工程*, 2013, 21(2): 469-478.  
WANG Y Q, ZHU M. Maximum singular value method of quaternion matrix for evaluating color image quality [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(2): 469-478. (in Chinese)
- [14] FIELD D J. Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical-cells [J]. *Journal of the Optical Society of America A* *Optics Image Science and Vision*, 1987, 4(12): 2379-2394.
- [15] CHEN J, SHAN S, HE C, *et al.*. WLD: A robust local image descriptor [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, 32(9): 1705-1720.
- [16] MANNOS J L, SAKRISON D J. The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1974, 20(4): 526-536.
- [17] SHEIKH H R, WANG Z, CORMACK L, *et al.*. LIVE image quality assessment database, release 2 [OL/EB]. Available: <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [18] Final Report From the Video Quality Experts Group on the Validation of Objective Models of Video Quality Assessment, Phase II VQEG [OL/EB]. Available: <http://www.vqeg.org/>.
- [19] 程光权,张继东,成礼智,等. 基于几何结构失真模型的图像质量评价研究 [J]. *自动化学报*, 2011, 37(7): 811-819.  
CHENG G Q, ZHANG J D, CHENG L ZH, *et al.*. Image quality assessment based on geometric structural distortion model [J]. *ACTA AUTOMATIC SINICA*, 2011, 37(7): 811-819. (in Chinese)
- [20] LARSON C, CHANDLER D M. Categorical Image Quality (CSIQ) Database 2009 [OL/EB]. Available: <http://vision.okstate.edu/csiq>.
- [21] NINASSI A, LECALLET P, AUTRUSSEAU F. Subjective Quality Assessment IVC Database 2005 [OL/EB]. Available: <http://www2.irccyn.ec-nantes.fr/ivcdb>.

## 作者简介:



卢彦飞(1989—),男,河南驻马店人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生,2010年于中国科学技术大学获得理学学士学位,主要研究方向为成像技术、图像处理与模式识别。E-mail: bestluyf@163.com

## 导师简介:



张涛(1964—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,1987年于浙江大学获得学士学位,主要从事探测与成像技术方面的研究工作。E-mail: zhangt@ciomp.ac.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)