

基于结构相似度的自适应图像质量评价

靳 鑫¹, 蒋刚毅^{1,2*}, 陈 芬¹, 郁 梅^{1,2}, 邵 枫¹, 彭宗举¹, Yo-Sung Ho³

(1. 宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211; 2. 南京大学 软件新技术国家重点实验室, 江苏 南京 210023; 3. 光州科学技术学院 信息及通信学院, 光州 500-712)

摘要: 考虑到在结构相似度 (SSIM, structural similarity) 模型中, 亮度、对比度和结构度 3 个评价因子对不同失真类型图像质量评价 (QA) 的贡献程度不同, 本文提出了根据图像失真类型分析的自适应 SSIM (ASSIM) 的 IQA 方法。首先, 分析失真图像和参考图像的小波子带能量、傅里叶功率谱和幅度谱的数据特点, 据此判定图像失真类型, 包括高斯白噪声 (WN)、JPEG 压缩 (JPEM)、高斯模糊 (Gblur) 及类 JP2K 4 类失真; 接着, 通过优化算法确定 SSIM 在评价不同失真类型图像时最佳的评价因子权重; 最后, 将图像的失真类型判别和评价因子的调整相结合, 实现对图像的自适应评价。实验结果表明, 由于失真类型的判断和评价因子权值的优化, ASSIM 对各类失真图像的评价效果都要优于 SSIM, 特别是对 Gblur 失真的图像进行评价时, Pearson 系数 (CC) 值提高了 0.05, Spearman 等级相关系数 (SROCC) 值的提高超过 0.039。

关键词: 图像质量评价 (IQA); 结构相似度 (SSIM); 失真类型分析; 自适应因子调节

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1005-0086(2014)02-0378-08

Adaptive image quality assessment method based on structural similarity

JIN Xin¹, JIANG Gang-yi^{1,2*}, CHEN Fen¹, YU Mei^{1,2}, SHAO Feng¹, PENG Zong-ju¹, Yo-Sung Ho³

(1. Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. National Key Lab of Software New Technology, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 3. Dept. of Information and communication, Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju, 500-712, Korea)

Abstract: Considering the fact that three factors, that is, light, contrast and structure in structural similarity (SSIM) metric, have different contributions to image evaluation with different types of distortion, this paper proposes an adaptive image quality assessment, called as ASSIM, based on analysis of image's distortion types. Firstly, we analyze the characteristics of the original and distorted images, including the energy of wavelet sub-bands, power spectrum and magnitude spectrum of Fourier transform. Then the distortion type of an image is identified according to these characteristics, including Gaussian noise distortion, JPEG compression distortion, Gaussian blurring distortion and JPEG2000 compression distortion. In accordance with the distortion type, the most suitable parameters, which indicate the weight distribution of the three factors in SSIM metric, are selected through the optimization. Finally, based on these parameters, the ASSIM approach is realized. The experimental results show that the proposed ASSIM outperforms SSIM, because the distortion type of image has been identified ahead and thus we can choose the most suitable parameters in the evaluation metric, particularly in the case of Gaussian blurring distortion, where Pearson value is increased by 0.05 and Spearman value is improved at least 0.039, OR value and RMSE value are decreased by 0.1412 and 1.6919, respectively.

Key words: image quality assessment (IQA); structural similarity (SSIM); distortion analysis; adaptive factor adjustment

* E-mail: jianggangyi@126.com

收稿日期: 2013-06-07 修订日期: 2013-07-30

基金项目: 国家自然科学基金 (U1301257, 61171163, 61271270, 61271021, 61311140262) 资助项目

1 引言

图像在其采集、储存、传输和后处理过程都会产生不同类型的失真,因此在现代多媒体系统中,图像质量评价(QA)已成为一项重要的研究课题^[1,2]。

图像质量客观评价中,应用最早、最多的方法是均方差(MSE)和峰值信噪比(PSNR)。这两种方法通过计算失真图像和参考图像像素级上的差异评价失真图像的质量,由于未考虑人眼视觉特性,其评价结果往往与主观感知相去甚远^[3]。由此,提出了基于人类视觉系统(HVS, human visual system)的 IQA 方法,主要分为基于感知和基于结构信息的两类方法。其中基于结构信息的评价方法重点关注图像的纹理信息,认为人眼对图像的感知依赖于纹理区域的变化^[4]。Wang 等人^[5]提出从图像的亮度、对比度和结构度 3 个方面表征图像的结构信息,建立结构相似度(SSIM, structure similarity)模型并应用于质量评价,相比于 MSE 和 PSNR, SSIM 的评价结果更能符合人眼的主观感知。从此,开始涌现大量的基于结构失真模型模拟人类视觉特性的评价算法,并得了良好的评价效果。如文献[6]利用局部方差对模糊失真敏感、SSIM 对高斯白噪声(WN, white noise)失真敏感,提出了一种结合图像局部方差和 SSIM 的评价方法,平衡了二者对这两种失真的不同敏感偏向,从而使评价结果更加接近人眼对图像质量的主观感觉;文献[7]提出一种基于多尺度边缘结构相似性的 IQA 方法,使用小波变换提取图像的边缘,将 SSIM 模型中的全局结构度改为图像边缘处的结构度;文献[8]通过 JND 模型确定边缘失真阈值,并对边缘区域加以重视,从而提出重视边缘区域的 SSIM 模型;文献[9]利用人类视觉对相位一致的不同频率的波具有较高的分辨率这一特点,提出了一种结合相位一致性和梯度的 SSIM 模型,通过 log-Gabor 滤波器、Schar 算子分别求取相位图和梯度图,根据与参考图像相位和梯度的相似性度量失真图像的客观质量;文献

[10]将人眼的掩盖效应应用到图像的梯度场,提出了一种新的基于梯度的 SSIM 评价方法;文献[11]、[12]分别从小波域和时域度量图像的梯度信息,提出了不同的基于边缘的 SSIM 评价算法。文献[13]为了进一步突出图像结构中人员敏感的重要特征,利用复数矩阵表示图像结构,并对该复数矩阵进行分块奇异值分解,通过计算失真图像与参考图像奇异值的差异程度来评价图像质量的好坏。

总结上述模型的特点,可以将基于结构失真的评价模型大致分为增加或改变评价因子和对图像进行区域划分后加权两类。而无论哪类方法,均未考虑各因子对不同失真类型图像的评价影响程度,因而往往采用折中的权值分配,来获取对所有类型失真图像的整体评价最优。显然,这种做法降低了模型对特定失真类型图像的评价准确度。

为有效避免上述问题,本文从图像失真类型分析的角度出发,提出了一种图像失真类型分析方法,进而提出了一种自适应 SSIM(ASSIM)的 IQA 方法。通过测试 SSIM 的 3 个评价因子在不同权值分配的条件下,对各类失真图像所能达到的最优效果,从而得到对不同失真类型图像评价时的最佳评价因子权值分配,再结合图像失真类型判断完成对图像自适应的评价。实验结果表明,ASSIM 对各类失真图像的评价效果都要高于传统的 SSIM 评价效果。

2 基于 SSIM 的自适应 IQA

基于结构失真的评价理论认为,人眼在接收图像信号时会自动提取其结构信息^[4]。然而结构信息的构成成分(如 SSIM 模型中,结构信息包含亮度、对比度和结构度)中,不同成分在对不同失真类型图像进行评价时的贡献不同。从这个角度出发,结合 SSIM 模型,提出了一种基于失真类型分析的 ASSIM 评价方法。图 1 给出了 ASSIM 方法的总体框图。

仅考虑图像处理过程中常见的高斯(WN、

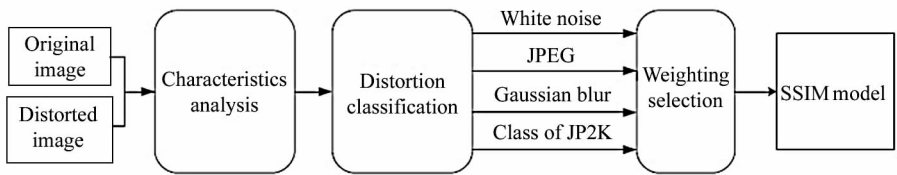


图 1 ASSIM 算法总框图
Fig. 1 Diagram of the proposed ASSIM

JPEG 压缩 (JPEG)、高斯模糊 (Gblur, Gaussian blur) 和类 JP2K 4 类, 其中类 JP2K 失真包含 JPEG2000 (JP2K) 压缩失真和快衰落 (FF, fast fading) 失真。ASSIM 算法在判断图像失真类型的基础上自适应调整 SSIM 中评价因子的权重分配值, 进而实现对图像的客观评价。

2.1 失真类型分析

图 2 给出了受到 WN、JPEG 和 Gblur 3 类失真图像的数据特性。由图 2(e) 可见, 对原始图像和受到 WN 失真的图像采用四层小波分解后其 4 个层次的水平

真的图像其小波细节子带的能量要高于原始图像; 受到 JPEG 失真的图像由于出现块效应^[12], 在编码块的边缘会出现亮度级的跳变, 其行差分信号 (或列差分信号) 傅里叶变换后的功率谱中会在特征点上出现如图 2(f) 所示的冲激; 对 Gblur 失真的图像, 其失真原因使用了高斯低通滤波器对图像进行滤波, 根据信号系统中输入、输出及系统函数的三者关系, 失真图像与原始图像的幅度谱比值会呈现高斯函数特性, 图 2(g) 即是提取失真图像和原始图像傅里叶变换域中各自垂直零频上的幅度系数对应相比而来的。

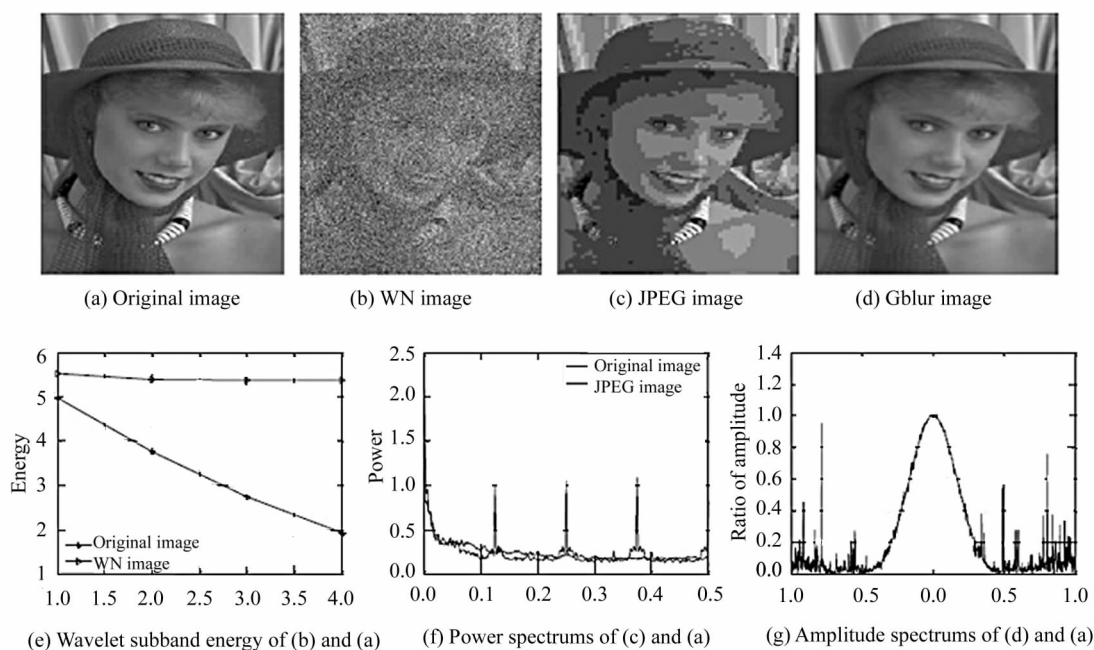


图 2 3 类失真图像数据特性

Fig. 2 Characteristics of three types of distorted images

由此, 设计图像失真类型判断算法如下:

1) 对参考图像 X 和失真图像 Y 进行二层小波分解, 小波子带分布如图 3 所示, 提取各自各层的水平和垂直分量, 计算子带能量 W_i 为

$$W_i = \frac{\log_2(1 + |H_i|) + \log_2(1 + |V_i|)}{2m'_i n'_i}, \quad i = 2, 4 \quad (1)$$

式中: H_i 、 V_i 为第 i 子带的水平和垂直小波系数; m'_i 、 n'_i 分别为第 i 子带的宽度和高度。计算 X 、 Y 的子带能量差 ΔW 为

$$\Delta W = (W_{X_2} + W_{X_4}) - (W_{Y_2} + W_{Y_4}) \quad (2)$$

如果 $\Delta W < Th_{WN}$, 则判断 Y 为 WN 失真图像; 否则, 执行步骤 2。

2) 分别求取图像 X 、 Y 每行的亮度差 $X_h(i, j)$ 为

$$X_h(i, j) = |X(i, j) - X(i, j+1)|, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n-1 \quad (3)$$

式中, m 、 n 分别为图像的高度和宽度。同理可以求得 $Y_h(i, j)$; 分别对 X_h 和 Y_h 的每行进行 N_h 点离散傅里叶变换 (DFT), 得到每个行序列的能量谱 $P^i(l)$ 为

$$P^i_X(l) = \begin{cases} 2 |X^i_F(l)|^2, & l \in [0, N_h/2 - 1], \\ |X^i_F(l)|^2, & l = 0, N_h/2 \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

式中: X^i_F 为第 i 行 X_h 的 DFT; N_h 为 2 的整数幂。同样, 可以求得 $P^i_Y(l)$ 。接着, 计算图像 X 、 Y 的整体能量谱 $P(l)$ 为

$$P_X(l) = \frac{1}{m} \sum_i^m P_X^i(l), P_Y(l) = \frac{1}{m} \sum_i^m P_Y^i(l) \quad (5)$$

最后,求取两幅图像能量差 ΔP 为

1	2	4
2	3	
4		5

图3 二层小波分解子带分布

Fig. 3 Subband distribution

$$\Delta P = \sum_{k=1}^4 [P_Y(\frac{kN_h}{8}) - P_X(\frac{kN_h}{8})] \quad (6)$$

这里,取 $N_h/8, 2N_h/8, 3N_h/8$ 及 $4N_h/8$ 点,是因为 JPEG 失真的图像在这些特征频率点上会出现冲激^[14]。

如果 $\Delta P \geq Th_{\text{jpeg1}}$,则判断 Y 为 JPEG 失真图像;如果 $Th_{\text{jpeg2}} \leq \Delta P \leq Th_{\text{jpeg1}}$,则转步骤 3;如果 $\Delta P < Th_{\text{jpeg2}}$,则执行步骤 4。

3) 利用 X 和 Y 的第 2、4 小波子带能量 W_{X_2} 、 W_{X_4} 、 W_{Y_2} 及 W_{Y_4} ,计算失真图像 Y 相比参考图像 X 能量减少的百分比为

$$\Delta W_p = \frac{1}{W_{X_2}}(W_{X_2} - W_{Y_2}) \times 0.7 + \frac{1}{W_{X_4}}(W_{X_4} - W_{Y_4}) \times 0.3 \quad (7)$$

如果 $\Delta W_p < Th_{\text{jpeg3}}$,则认为 Y 为 JPEG 失真图像;否则,执行步骤 4。

4) 记 X 和 Y 的 R, G, B 3 通道为 X^I 和 $Y^I, I = R, G, B$,对 X^I, Y^I 分别用 Sobel 算子进行边缘提取,求得 X^I 和 Y^I 中边缘像素点最大的亮度值 x_{\max}^I, y_{\max}^I 。

如果不存在 $x_{\max}^I < y_{\max}^I (I = R, G, B)$,则执行步骤 5;否则,执行步骤 7。

5) 将图像 X 和 Y 转换到 HSV 彩色空间,提取各自的色度分量,计算 X 和 Y 的平均色度值 $\overline{X_{\text{col}}}, \overline{Y_{\text{col}}}$,得到 X 和 Y 的色度差异 C 为

$$C = \frac{1}{\overline{X_{\text{col}}}}(|\overline{Y_{\text{col}}} - \overline{X_{\text{col}}}|) \quad (8)$$

如果 $C < 0.3$,则执行步骤 6;否则,执行步骤 7。

6) 对 X^I 和 $Y^I (I = R, G, B)$ 分别进行二维傅里叶变换,得到各自的幅度谱 F_{X^I}, F_{Y^I} ,计算系统频率响应 F_{H^I} 为

$$F_{H^I} = \frac{F_{Y^I}}{F_{X^I}}, I = R, G, B \quad (9)$$

分别提取 $F_{H^I} (I = R, G, B)$ 的垂直零频分量,并取离中心零频 $\pm m/8$ 距离的频率点上的幅度值,设为 G_{H^I} ;使用窗口宽度为 3 的滤波器对 G_{H^I} 进行中值滤波,得到 G'_{H^I} ;对 G'_{H^I} 进行一维高斯函数拟合,得到拟合后的数据 G''_{H^I} ;计算 G'_{H^I} 和 G''_{H^I} 的 Pearson 系数(CC)。

如果存在 $CC > 0.9 (I = R, G, B)$,则判断 Y 为 Gblur 失真图像;否则,执行步骤 7。

7) 判断 Y 为类 JP2K 失真图像,即 Y 为 JP2K 失真或 FF 失真图像。

2.2 SSIM

根据文献[5],SSIM 模型包含亮度、对比度和结构度 3 个评价因子,可分别表示为

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2},$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (10)$$

式中, x, y 分别为参考图像和失真图像块; μ_x, μ_y, σ_x 及 σ_y 分别为 x 和 y 的均值及标准差; σ_{xy} 为 x 和 y 的协方差; C_1, C_2, C_3 是为了避免分母为零而设置的小常数。由这 3 部分组成的评价模型 SSIM 表示为 $SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma$ (11) 其中, α, β, γ 为常数,用于调节 3 个分量在整个评价模型中所占比重。最后,对所有图像块的 $SSIM(x, y)$ 取平均,得到整幅图像的 SSIM 为

$$SSIM(X, Y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M SSIM(x_i, y_i) \quad (12)$$

其中, M 为参考图像 X 和失真图像 Y 的图像块的数量。

3 实验结果及分析

3.1 参数确定

实验采用 Texas 大学的 LIVE^[15] 数据库。该库中包含有 5 个子数据库,分别为 WN、Gblur、FF、JP2K 及 JPEG 的失真图像库;同时,该库给出了每幅图像的主观实验所得分数值 DMOS(difference mean opinion scores)。根据第 2 节所述,本方法需要确定的参数有 $Th_{\text{wn}}, Th_{\text{jpeg1}}, Th_{\text{jpeg2}}, Th_{\text{jpeg3}}$ 以及 SSIM 模型中的 3 个权重因子 α, β, γ 。为了得到上述参数,实验将 LIVE 数据库分成训练集和测试集,其中训练集图像包含图像纹理复杂度高、中和低 3 种,共 12 幅参考图像及其所对应的 5 种失真类型图像,其中 WN、

Gblur 和 FF 的失真图像各 72 幅, JPEG、JP2K 的失真图像各 94 幅; 测试集为除训练集外的图像, 共 17 幅参考图像及其所对应的 5 种失真类型图像, 其中 WN、Gblur 和 FF 的失真图像各 102 幅, JPEG 失真图像 139 幅, JP2K 失真图像 133 幅。在参数确定时, 只选择训练集中图像; 在模型性能评价时, 只选择测试集图像。

根据判别步骤, 第 1 步确定 Th_{wn} 值。首先, 按 2.1 节步骤 1 计算训练集中每幅图像相对于参考图像的小波子带能量差; 在区间 $[-0.5, 0.5]$ 内每隔 0.02 取一个点作为 Th_{wn} 探测值, 对各类失真图像判断其是否为 WN 失真, 并统计各 Th_{wn} 探测值下对各类失真的判断正确率。由图 4(a) 可见, 对于 WN 失真图像, 其正确识别率随着 Th_{wn} 值的增加而增大, 当 $Th_{wn} > -0.45$ 时, 对于训练集中 WN 失真图像可以全部无误地识别出来; 而对非 WN 失真的图像, 判断正确率随着 Th_{wn} 的增加而降低, 尤其是对 JPEG 失真的图像, 从 $Th_{wn} = -0.05$ 开始, 正确率出现急剧下降。因此, 选择阈值 $Th_{wn} = -0.15$, 这样既可以正确鉴别出 WN 失真, 又能降低对非 WN 失真图像的误判。

第 2 步确定 Th_{jpeg} 值 (含 Th_{jpeg1} 、 Th_{jpeg2})。类似地, 按 2.1 节步骤 2 计算训练集中除 WN 失真图像

外的每幅图像相对于参考图像在特征频率点上的功率差; 在区间 $[-1, 1]$ 内每隔 0.08 取一点作为 Th_{jpeg} 的探测值, 对各类非 WN 失真图像判断其是否为 JPEG 失真, 并统计各 Th_{jpeg} 探测值下对各类失真的判断正确率。由图 4(b) 可见, 随着 Th_{jpeg} 值的增加, 对 JPEG 失真图像的正确识别率呈下降趋势, 当 $Th_{jpeg} = -0.1$ 左右时, 开始出现误判; 而对于非 JPEG 失真图像, 判断正确率则随着 Th_{jpeg} 的增加而上升, 当 $Th_{jpeg} = -0.04$ 左右时, 正确率均上升为 1。所以, 对功率差在 $[-0.1, -0.04]$ 范围内的图像, 需要进行二次判别。为增强判别算法的鲁棒性, 将该范围扩展到 $[-0.2, 0.1)$, 即取 $Th_{jpeg1} = 0.1$ 、 $Th_{jpeg2} = -0.2$ 。

第 3 步确定 Th_{jpeg3} 值。根据第 2 步, 当功率差即式 (6) $\Delta P \in [-0.2, 0.1]$ 时, 计算训练集中除 WN 失真图像外的失真图像相对于参考图像的小波子带能量减少的百分比, 具体方法如 2.1 节步骤 3 所述。图 4(c) 表明, 对于功率差 $\Delta P \in [-0.2, 0.1]$ 区间的 JPEG 失真图像, 其相比于参考图像的小波子带能量差最大值约为 0.05; 而对于 JP2K 和 FF 失真的图像, 小波子带能量差最小不低于 0.1。因此, 可以取 $Th_{jpeg3} = 0.07$ 作为 JPEG 失真类型的第 3 个判别阈值。

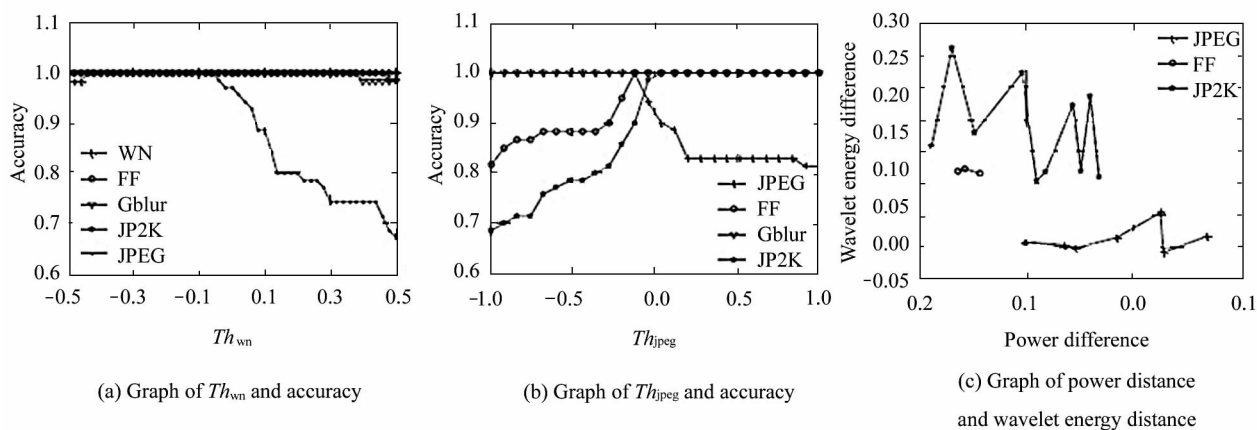


图 4 阈值测试

Fig. 4 Threshold testing

对 SSIM 评价模型中 3 个调节因子的确定, 在满足 $\alpha + \beta + \gamma = 3$ 的条件下, 计算训练集中各失真子图像库的图像客观值 Q , 并用 Q 值和对应的 DMOS 值进行 Logistic 4 参数函数拟合, 得到模型预测值 $DMOS_p$, 以 $DMOS_p$ 和 $DMOS$ 之间的 CC、Spearman

等级相关系数 (SROCC) 之和的最大值为目标函数, 通过优化程序得到在不同失真类型下 α 、 β 及的最佳权重分配值, 具体分配情况见表 1。表 1 中, 还给出了在改进版新 SSIM (NSSIM) 模型^[16]上用相同优化方法得到的参数分配。

表 1 不同失真类型下的评价因子权重分配

Tab. 1 Weight distributions under different distortion types	SSIM			NSSIM		
	α	β	γ	α	β	γ
WN	2.4	0.1	0.5	2.3	0.0	0.7
JPEG	0.9	2.0	0.1	0.8	0.2	1.0
Gblur	2.9	0.0	0.1	2.9	0.0	0.1
JP2K、FF	0.9	1.6	0.5	0.7	2.0	0.3

3.2 ASSIM 评价模型性能测试

对本文提出的 ASSIM 评价模型的评价结果利用 Logistic 4 参数函数进行非线性回归,使用 CC、SROCC、离散率 (OR, out ratio) 及均方根误差 (RMSE, root mean square) 4 个值测试所提的 ASSIM 算法的评价性能。其中 CC 和 SROCC 越接近于 1,表明客观评价模型的准确度越高;OR 和 RMSE

越接近于 0,表明客观评价价值与主观值越接近。实验所用图像数据为 3.1 节中所述的测试集图像,具体评价数据结果见表 2、表 3,其中 ANSSIM 为对 NSSIM 改进的自适应模型。

表 2、表 3 的数据说明,ASSIM 模型对各类失真评价的 CC、SROCC、OR 和 RMSE 3 4 个值都要优于传统的 SSIM,其中改善最多的均为对 Gblur 失真的评价,CC 和 SROCC 的值分别提高了 0.050、0.039,OR 和 RMSE 的值分别降低了 0.141 2、1.691 9;将 ASSIM 和 NSSIM 评价结果比较,对 WN 失真 ASSIM 的评价效果要明显优于 NSSIM,而对其他 4 种失真两个模型评价效果相当;在 4 种模型中,评价效果最优的是 ANSSIM 模型。

图 5 给出了 ASSIM 模型对各类失真图像评价预测值 $DMOS_p$ 与主观值 $DMOS$ 的散点图。各散点

表 2 模型评价 CC 和 SROCC

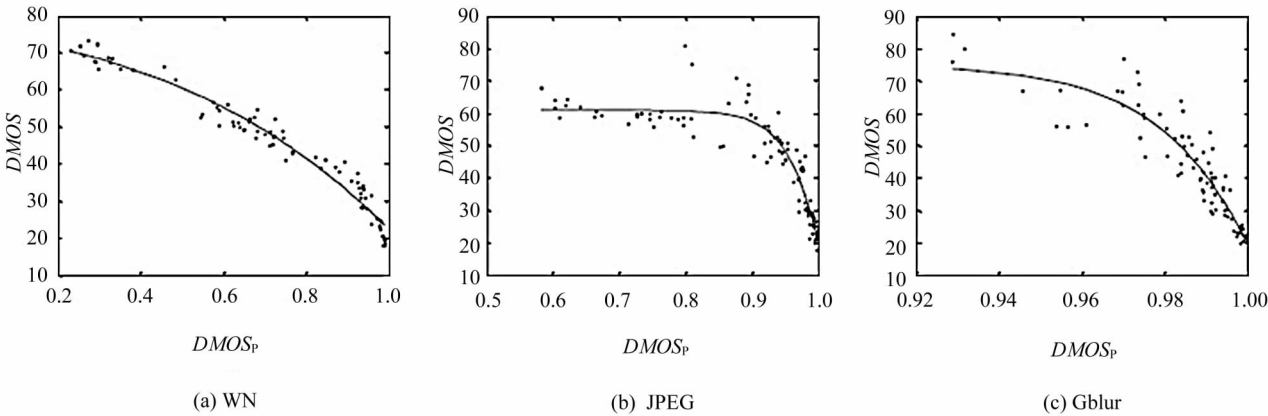
Tab. 2 CC and SROCC values of different metrics

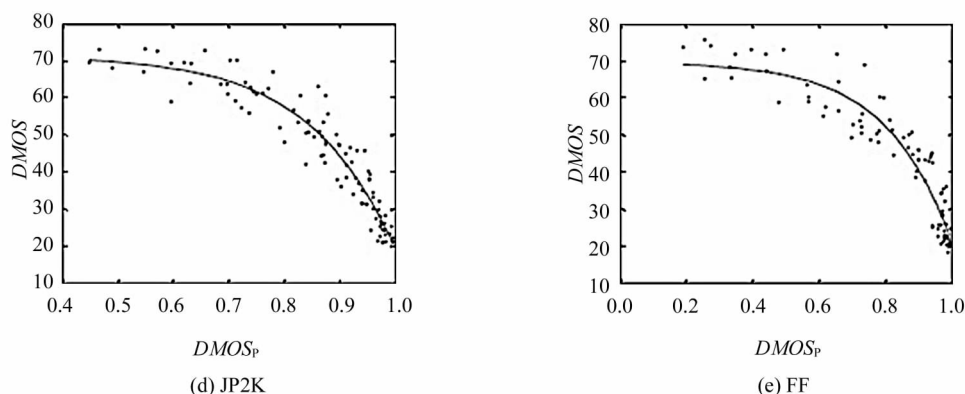
	CC					SROCC				
	WN	JPEG	Gblur	JP2K	FF	WN	JPEG	Gblur	JP2K	FF
SSIM	0.968 4	0.931 9	0.876 7	0.942 7	0.938 7	0.958 2	0.927 0	0.894 5	0.940 1	0.937 1
ASSIM	0.980 7	0.942 7	0.926 7	0.956 7	0.945 7	0.983 0	0.927 5	0.933 8	0.955 1	0.945 4
NSSIM	0.966 5	0.946 4	0.922 5	0.955 4	0.944 1	0.960 3	0.932 9	0.931 7	0.956 1	0.949 5
ANSSIM	0.977 5	0.947 2	0.936 8	0.959 4	0.944 5	0.983 3	0.935 9	0.944 1	0.960 7	0.956 1

表 3 模型评价 OR 和 RMSE

Tab. 3 OR and RMSE values of different metrics

	OR					RMSE				
	WN	JPEG	Gblur	JP2K	FF	WN	JPEG	Gblur	JP2K	FF
SSIM	0.235 3	0.257 1	0.564 7	0.333 3	0.411 8	3.973 8	5.607 5	7.730 6	5.337 3	5.950 6
ASSIM	0.105 9	0.219 0	0.423 5	0.313 1	0.376 5	3.119 9	5.160 5	6.038 7	4.656 2	5.607 5
NSSIM	0.270 6	0.247 6	0.529 4	0.303 0	0.329 4	4.091 1	4.994 5	6.204 2	4.721 2	5.687 5
ANSSIM	0.164 7	0.238 1	0.435 3	0.323 2	0.352 9	3.363 4	4.959 6	5.621 8	4.512 2	5.668 8



图5 $DMOS_p$ 与 $DMOS$ 之间的散点图Fig. 5 Scatter graphs between $DMOS_p$ and $DMOS$

图聚集度较好,表明 ASSIM 模型对各类失真图像的评价结果与人眼主观感知有较高的一致性。

4 结 论

从失真类型分析的角度出发,提出了一种图像失真类型分析方法,并与 SSIM 相结合,建立了一种评价的图像客观质量的 ASSIM 模型。实验结果表明,本文提出的图像质量 ASSIM 模型的评价效果优于 SSIM,特别是在对 Gblur 失真的图像进行评价时,优势最为明显。然而,本文提出的失真类型分析方法中,还存在两点不足:1)未能实现 JPEG2000 压缩失真和 FF 失真的区分;2)算法只是针对图像受到单一失真情况,即未考虑图像是否受到混合失真。因此,如何更加准确分析图像失真类型及其对图像质量所造成的影响,是图像质量自适应评价模型的关键所在,也将是下一步的研究方向。

参考文献:

- [1] Reham A, Wang Z. Reduced-reference image quality assessment by structural similarity estimation [J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2012, **21**(8): 3378-3389.
- [2] GU Shan-bo, SHAO Feng, JIANG Gang-yi, et al. An objective quality assessment metric for stereoscopic images based on just noticeable distortion [J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2013, **23**(5): 999-1004.
顾珊波, 邵枫, 蒋刚毅, 等. 一种基于最小可察觉失真的立体图像质量客观评价方法 [J]. 光电子·激光, 2013, **23**(5): 999-1004.
- [3] Wang Z, Bovik A C. Mean squared error; love it or leave it? A new look at signal fidelity measures [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2009, **26**(1): 98-117.
- [4] Ho-Sung H, Dong-O K, Rae-Hong P. Structural information-based image quality assessment using LU factorization [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009, **55**(1): 165-171.
- [5] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2004, **13**(4): 600-612.
- [6] WANG Yu-qing, LIU Wei-ya, WANG Yong. Image quality assessment based on local variance and structure similarity [J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2008, **19**(11): 1548-1553.
王宇庆, 刘维亚, 王勇. 一种基于局部方差和结构相似度的图像质量评价 [J]. 光电子·激光, 2008, **19**(11): 1548-1553.
- [7] YU Tong, MA She-xiang, LIU Tie-gen. Image quality assessment based on multiscale edge structure similarity [J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2009, **20**(6): 843-846.
于彤, 马社祥, 刘铁根. 基于多尺度边缘结构相似性的图像质量评价 [J]. 光电子·激光, 2009, **20**(6): 843-846.
- [8] Yang Chun-ling, Xu Xiao-lin. Structural similarity highlighting edge regions for image quality assessment [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, **16**(12): 2133-2139.
杨春玲, 徐小琳. 重视边缘区域的结构相似度图像质量评价 [J]. 中国图象图形学报, 2011, **16**(12): 2133-2139.
- [9] Zhang L, Zhang L, Mou X Q, et al. FSIM: A feature similar-

- ity index for image quality assessment[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, **20**(8): 2378-2386.
- [10] Liu A M, Lin W S, Narwaria M. Image quality assessment based on gradient similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, **21**(4): 1500-1512.
- [11] TIAN Hao-nan, LI Su-mei. Objective evaluation method for image quality based on edge structure similarity[J]. Acta Photonica Sinica, 2013, **42**(1): 110-114.
田浩南, 李素梅. 基于边缘的 SSIM 图像质量评价方法[J]. 光子学报, 2013, **42**(1): 110-114.
- [12] Zhang X D, Feng X C, Wang W W, et al. Edge Strength Similarity for Image Quality Assessment[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2013, **20**(4): 319-322.
- [13] WANG Yu-qing. Image quality assessment based on complex number representation of image structure and singular value decomposition[J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2012, **23**(9): 1827-1834.
- 王宇庆. 基于图像结构信息复数表示与奇异值分解的灰度图像质量评价方法[J]. 光电子 • 激光, 2012, **23**(9): 1827-1834.
- [14] Wang Z, Bovik A C, Evan B L. Blind measurement of blocking artifacts in images[A]. Proc. of 2000 International Conference on Image Processing[C]. 2000, **3**: 981-984.
- [15] Sheikh H R, Bovik A C, Cormack L, et al. LIVE image quality assessment database release 2, 2004[EB/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [16] Wang Z. "<https://ece.uwaterloo.ca/~z70wang/research/ssim/ssim.m>".

作者简介:

蒋刚毅 (1964—), 男, 浙江绍兴人, 教授, 博士生导师, 主要从事多媒体信息传输与信息安全、图像处理与视频信号编码方面的研究。