

基于视觉显著性的局部感知锐度的模糊图像质量评价算法研究

相入喜^{1,2,3}, 朱锡芳^{1,2,3}, 吴 峰¹, 许清泉¹

(1 常州工学院 电气与光电工程学院, 江苏 常州 213002; 2 常州市光电技术研究院, 江苏 常州 213002; 3 常州光电子材料与器件重点实验室, 江苏 常州 213002)

摘 要: 提出了一种基于视觉显著性和局部感知锐度特征的模糊图像质量评价算法. 首先利用有效的视觉显著性检测图像的显著区域, 然后结合图像的局部方差和均值, 构建有效图像的显著性权值; 其次, 分别计算图像的局部感知锐度谱特征和空间局部锐度特征, 并然后结合视觉显著性权值形成新的锐度特征图, 最后通过分析带权锐度特征图, 计算图像质量的最终的评价值. 在经典数据库 TID2008, CSIQ, 和 LIVE 上验证该算法的有效性, 结果表明, 与传统的基于局部感知锐度特征的评价算法相比, 新算法有效地结合颜色信息和图像显著性, 提高模糊图像的评价效果.

关键词: 模糊图像质量评估; 局部感知锐度特征; 无参考; 视觉显著性

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2016)11—0040—05

No-reference Image Blur Assessment Method Based on Local Perceive and Visual Saliency

XIANG Ru-xi^{1,2,3}, ZHU Xi-fang^{1,2,3}, WU Feng¹, XU Qin-quan¹

(1 College of Optoelectronic Engineering, Changzhou Institute of Technology, Jiangsu 213002, China;

2 Changzhou Institute of Modern Optical Technology, Jiangsu 213002, China;

3 Changzhou Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Devices, Jiangsu 213002, China)

Abstract: This paper proposes a new image quality assessment method based on visual saliency and local perceptual sharpness. Firstly, the effective visual saliency image salient region is detected, and then the image local variance and mean construct effective image saliency weights are combined. Secondly, the image sharpness of local spectrum feature of local spatial features and sharpness are respectively computed, and then a new feature sharpness map is formed by combing the visual saliency weight of the image. Finally, the final evaluation index value of image quality is computed by the analysis of the sharpness map. Some experimental results show that the proposed method is effective than traditional evaluation method based on local perceptual sharpness in the classical database TID2008, CSIQ and LIVE because we effectively combine with color information and image saliency and improve the quality evaluation.

Key words: blur image quality assessment; local perceive sharpness; no reference; visual saliency

1 引言

图像质量评价研究是图像处理的一个重要的研究方向,也是图像进一步分析的基础. 目前图像质

量评价主要包含两大类:主观评价法和客观评价法. 客观评价法又可粗分为全参考评价法、无参考评价法两种. 全参考评价法就是假定原始图像先验信息已知,评价图像质量,此时评价结果准确可信,但在

工业应用中,原始图像往往很难获得,形成了无参考图像下的图像质量评价,目前既是研究的热点,也是难点,本文针对也是这种无参考图像的质量评价。

无参考评价法就是仅凭所获图像,不需要原始图像任何先验信息,直接对图像进行质量评价的方法,但该方法在评价中需要提取有效的视觉特征,然而在现实中不仅很难提取有效的视觉特征,而且也难以构建一个有效评价图像质量模型。很多研究者经过不懈的努力,提出了一些有效的无参图像质量评价模型^[1-5],但这些评价模型都是利用图像的低层特征对一种或几种失真图像进行评价。

在人的主观评价时视觉显著性起着非常重要的作用,才能使不同人对同一图像评价时具有一致性。然而,鲜有人将视觉显著性引入到客观评价中,虽然也有不少学者尝试将视觉显著性引入到客观评价模型中^[5-7],提高评价的精度。但这些都是有参考图像客观评价,忽略了无参图像的客观评价。

本文在分析局部感知锐度的评价基础上,结合图像的视觉显著性,提出了基于视觉显著性的局部感知锐度的模糊图像质量评价算法。

2 局部感知锐度评价法

局部感知锐度评价法通过计算图像局部区域的频谱和空间的锐度特征来量测模糊图像的质量。Cuong T. Vu 等人发现灰度图像的频谱斜率在 $[0, 1]$ 范围内图像区域有比较高的清晰度,当斜率大于1后,随着值得不断增大,清晰度逐渐降低,对应的图像区域逐渐模糊;同时还发现图像空间局部区域的总变差也能衡量图像的清晰度,为进一步提高量测模糊图像的质量有效性,提出了结合频谱和空间的局部锐度特征的 S_3 图像质量评价算法^[8]。

S_3 质量评价法就是将频谱的局部锐度特征 S_1 和空间的局部锐度特征 S_2 有效结合在一起量测模糊图像锐度特征谱,其中 S_1 如式(1)所示。

$$S_1(p_{\text{gray}}) = 1 - \frac{1}{e^{\tau_1(\lambda_{p_{\text{gray}}} - \tau_2)}} \quad (1)$$

式中 p_{gray} 是图像 P_{gray} 的局部区域, τ_1 和 τ_2 是 S 行函数的参数, $\lambda_{p_{\text{gray}}}$ 是 p_{gray} 区域的频谱幅度的斜率,值越大对应的区域高频信息越少,反之,值越小,对应的低频信息越多。

S_2 表征空间局部锐度特征的量度,主要用于评价图像空间局部区域的总变差的信息。局部图像块 p 的 S_2 量度定义如式(2)所示:

$$S_2(p_{\text{gray}}) = \frac{1}{4} \max_{x \in p_{\text{gray}}} tv(x). \quad (2)$$

式中, $tv(x)$ 是图像区域 p_{gray} 和相邻空间的总的局部变差,具体定义如下:

$$tv(x) = \frac{1}{255} \sum_{i,j} |x_i - x_j| \quad (3)$$

x_i 和 x_j 是局部区域 p_{gray} 中像素的 8 邻域。研究发现如果图像区域 p_{gray} 具有较高的对比度,那么区域 p_{gray} 的总变差就比较低的对比度的区域的总变差值大。

为了进一步提高评价的有效性,Cuong T. Vu 提出结合频谱局部锐度特征 S_1 和空间的局部锐度特征 S_2 的新的局部锐度特征的 S_3 ^[8],计算如式(4)所示:

$$S_3(P_{\text{gray}}) = S_1(P_{\text{gray}})^{\alpha} \times S_2(P_{\text{gray}})^{1-\alpha} \quad (4)$$

这里的 α 在 $[0, 1]$ 之间,用来控制频谱局部锐度特征和空间的局部锐度特征所占的比重,如果 α 较大,则频谱局部锐度特征所占比重就大,研究发现, α 值去 0.5 时可以产生较好的感知局部锐度特征 S_3 。最后有效衡量评价模糊图像的质量,将 S_3 由大到小排序,取前 1% S_3 值的平均值作为模糊图像的评价值。

3 基于视觉显著性的局部感知锐度的模糊图像质量评价模型

视觉注意在人的视觉系统中起着非常重要的作用,影响着人们对于所观察图像的质量评价。为了提高评价图像的质量的准确性,将图像的视觉显著信息又融入到局部感知锐度特征的质量评价方法中,改善基于局部感知锐度特征的质量评价方法。

3.1 视觉显著区域检测

图像的视觉显著区域检测就是通过计算图像的对比度显著的区域,Goferman 等人通过分析图像的局部底层特征,全局考虑,利用视觉显著性准则构建新的显著检测模型^[9]。首先,将 RGB 图像颜色空间转换到 Lab 颜色空间,计算两个不同区域的颜色相似性 $d_{\text{color}}(p_i, p_j)$ 和空间相似性 $d_{\text{position}}(p_i, p_j)$,其中, p_i 和 p_j 是图像中两个不同的图像区域,接着计算 p_i 和 p_j 的不相似度 $d_{\text{color}}(p_i, p_j)$,即

$$d(p_i, p_j) = \frac{d_{\text{color}}(p_i, p_j)}{1 + c \cdot d_{\text{position}}(p_i, p_j)} \quad (5)$$

式中, c 是颜色通道的个数。当 p_i 和 p_j 的不相似度计算完成以后,第 i 块区域的显著性值就可以通过式(6)定义。

$$s_i^r = 1 - \exp(-\frac{1}{k} \sum_{k=1}^K d(p_i^r, p_k^r)) \quad (6)$$

式中 r 是所用的尺度, K 表示在图像中与 p_i 最相似的前 K 块.

3.2 评价模型的构建

为了提高评价模糊图像的质量, 本文充分利用改善后的 Cuong T. Vu 的局部感知锐度特征和图像的视觉显著性, 构建带权的局部感知锐度特征的质量评价模型, 明显改善了局部感知锐度的评价模型.

假设 P 是 RGB 彩色图像, P_{gray} 是 P 的灰度图像, P_s 是 RGB 彩色图像 P 的饱和度, 带权局部感知锐度值为

$$\text{lps}(p) = w(p) \times lp(p_{\text{gray}})^{\beta} \times ls(p_s)^{1-\beta}. \quad (7)$$

式中确保 β 在 $[0, 1]$ 区间内, $lp(p_{\text{gray}})$ 是 P_{gray} 的局部锐度的谱特征, p_{gray} 是 P_{gray} 的一块, 和式(1)类似, 即

$$lp(p_{\text{gray}}) = 1 - \frac{1}{e^{\tau_1(\lambda_{p_{\text{gray}}} - \tau_2)}} \quad (8)$$

式中参数含义和式(1)一样, 在文中, $\tau_1 = -3$ 和 $\tau_2 = 2$. $lp(p_s)$ 是饱和度图像的局部空间锐度特征, 即

$$lp(p_s) = \frac{1}{4} \max_{x \in p_s} tv(x) \quad (9)$$

式中, 局部总变差 $tv(x)$ 为

$$tv(x) = \sum_{i,j} |x_i - x_j| \quad (10)$$

这里 x_i 和 x_j 是局部区域 p_{gray} 中像素的 8 邻域. 本文研究发现, 基于局部感知锐度的质量评价法忽略了图像的颜色影响, 为了提高评估的质量, 本文利用图像的颜色信息中的饱和度图代替 Cuong T. Vu 的灰度图, 从而可以得到更好的局部空间图谱, 如图 1 所示. $w(p)$ 是 P 图像的显著性权值, 用来表示图像 P 中 p 区域的是视觉显著性对图像质量评价的影响, 定义如下

$$w(p) = \exp(-\frac{s^2(p)}{2 \times h^2}) \quad (11)$$

式中 $s(p)$ 是 3.1 节中计算的显著性值, h 是控制显著性值对图像的影响, 可以通过式(12) 定义.

$$h = \frac{1}{s_{\text{mu}}^p + m \times \text{sigma}_p^2} \quad (12)$$

式中, s_{mu}^p 表示 p 区域的平均值, sigma_p 是 p 区域的方差, m 是控制方差对 h 的大小, 在文中 $m = 600$;

获得带权的局部感知锐度图 lps 后, 需要计算评估图像的值, 该值就是将 lps 按照由大到小排序, 取前 0.1% 的数据的平均值作为评估图像的评估值.

4 实验结果分析与讨论

4.1 实验数据库

为了验证算法的有效性和一致性, 本文在

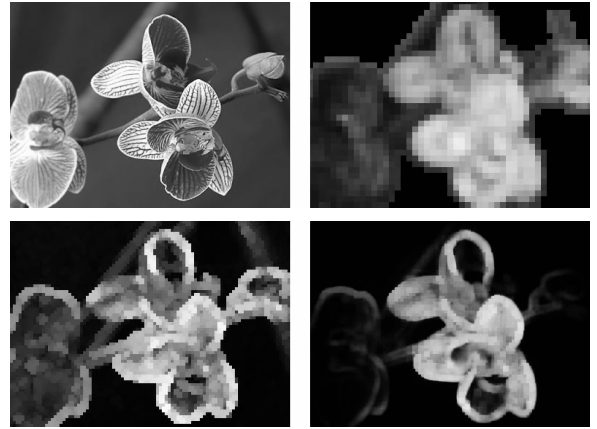


图 1 花的局部感知锐度谱、局部感知锐度图和带权局部感知锐度

LIVE^[10], CSIQ^[11] 和 TID2008^[12] 等 3 个通用数据库中模糊图像集进行实验, 并和经典基于锐度特征的评价算法 JNB^[2], CPBD^[3] 和 S3^[8] 性能比较. LIVE 数据库是美国德州大学奥斯汀分校建立的质量评价数据库, 包含 29 幅不同图像和对应的 174 幅不同模糊层次模糊失真图像^[10]; CSIQ 是奥克拉荷马州立大学构建的图像质量评估数据库, 包括 30 幅差异较大的不同图像, 和对应的 150 幅不同层次模糊失真图像^[11]; TID2008 是乌克兰国力航空航天大学构建的数据库, 包含 25 种不同图像和对应的 100 个不同层次的模糊图像^[12].

4.2 评价性能指标

模糊图像算法评估常用指标有 CC(Person 线性相关系数)、ROCC(Spearman 等级相关系数)和质量模型预测一致性的 OR(离出率).

CC 线性相关系数是用来衡量本文计算的评价数据和主观数据的线性关系, 具体用式(13)表示

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (13)$$

式中 X 和 Y 分别表示客观和主观评价数据, I 表示客观和主观的第 i 个数据, n 表示客观和主观数据集的总数, $\bar{X}$ 和 $\bar{Y}$ 分别表示客观和主观的数据的平均值.

POCC 等级系数利用客观和主观数据集的次序大小进行线性分析, 具体如式(14) 表示.

$$ROCC = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (RX_i - RY_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (14)$$

式中参数 n 和CC中的含义一样, RX_i 和 RY_i 分别表示客观和主观数据集中的值按照有大到小排序后,第 i 个值在上面两个数据集中的序号.

为了能有效衡量客观评估算法和人主观评估算法的一致性,本文需要在计算评估指标前对客观评估算法按照文献[13]进行非线性计算,减少非线性因素对评估的影响.

4.3 实验结果分析

表1是在4.1节的数据库上几种不同算法的性能比较结果,把每个数据库中指标最好的两个算法用粗体表示.从表中可以看出,本文在CC和SRCC指标上整体都优越于其他算法,但由于本文需要计算图像的视觉显著性,因而时间复杂度都比其它评估算法高.

图2是本文算法在模糊等级不同的图像的局部感知锐度图和对应的评估值.图中a,b,c,d,e左侧是不同等级的模糊图,右侧是对应的局部感知锐度图,相应的质量评估值为0.828 6、0.720 8、0.344 2、0.092 2和0.038 9.同时还可以发现随着模糊的增大,对应的局部感知锐度图越来越小,评估值也越来越小,对应的局部锐度感知图越来越不清晰.

实验表明可以发现本文和 S_3 都可以生成较好的锐度特征图,但本文由于考虑了图像的高层特征和视觉显著性,因而更接近人的主观评估值;在右侧图中,CPBD和JNB生成的锐度图不能有效表征图中的景色,而 S_3 和本文形成的局部感知图都能有效表征图像的质量,但本文结合了图像颜色信息和图像显著信息,在表征图像质量上更接近人观察.

表1 在LIVE,CSIQ and TID 2008 上不同算法性能比较

性能	模型	JNB	CPBD	S_3	本文
CC	LIVE	0.726 5	0.848 2	0.869 4	0.887 5
	CSIQ	0.806 2	0.881 6	0.919 4	0.923 6
	TID2008	0.815 7	0.895 2	0.943 2	0.955 8
ROCC	LIVE	0.787 2	0.918 7	0.944 2	0.950 4
	CSIQ	0.762	0.886	0.911	0.930 3
	TID2008	0.714 4	0.853 8	0.839 2	0.860 6

5 结束语

本文提出了基于视觉显著性的局部感知的模糊图像质量评价算法,该算法结合图像的视觉显著性和图像局部锐度特征,构成带权的局部感知锐度图,



(a)



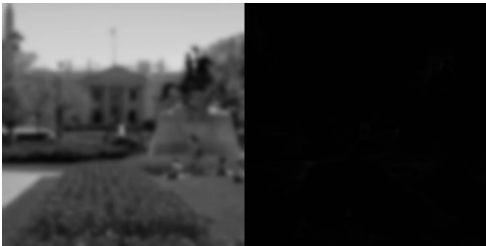
(b)



(c)



(d)



(e)

图2 不同模糊层次图和对应的局部锐度图和评价值

进而根据其值的统计规律计算模糊图像的评价指标值,该指标值可以有效区别不同层次的模糊图像.在经典数据库TID2008,CSIQ,和LIVE上验证该算法的有效性,结果表明,与传统的基于局部感知锐度特征的评价算法相比,该算法结合了图像的颜色信息和显著信息,有效提高了图像质量的评价效果.

参考文献:

- [1] 沈军民, 李俊峰, 戴文战. 结合结构信息和亮度统计的无参考图像质量评价[J]. 电子学报, 2016, 44(4): 804-812.
- [2] Ferzli R, Karam L. A no-reference objective image sharpness metric based on the notion of just noticeable blur (JNB)[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(4): 717-728.
- [3] Narvekar N, Karam L. A no-reference image blur metric based on the cumulative probability of blur detection (CPBD)[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(9): 2678-2683.
- [4] 苗莹, 易三莉, 贺建峰, 等. 结合梯度信息的特征相似性图像质量评估[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(6): 749-755.
- [5] Ninassi A, Le Meur O, Le Callet P, et al. Does where you gaze on an image affect your perception of quality? Applying visual attention to image quality metric[C]// 2007 IEEE International Conference on Image Processing. Texas, San Antonio, 2007(2): 169-172.
- [6] Wang Z, Bovik A, Sheikh H, et al. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [7] Moorthy A K, Bovik A C. Visual importance pooling for image quality assessment[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2009, 3(2): 193-201.
- [8] Vu C, Phan T, Chandler D. S3: a spectral and spatial

measure of local perceived sharpness in natural images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(3): 934-945.

- [9] Goferman Stas, Zelnik-Manor, Lihi, Tal Ayellet. Context-aware saliency detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(10): 1915-1926.
- [10] Sheikh H R. LIVE image quality assesment database [EB/OL]. [2016-02-10]. <http://live.ece.utexas.edu/research/Quality>.
- [11] Larson E, Chandler D. Most apparent distortion: full-reference image quality assessment and the role of strategy[J]. Journal of Electronic Imaging, 2010, 19(1): 1-21.
- [12] Ponomarenko N, Lukin V, Zelensky 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.
- [13] 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): 3440-3451.

作者简介:

相入喜 男, (1976-), 博士, 讲师. 研究方向为图像处理、模式识别、图像质量评估.

朱锡芳(通讯作者) 男, (1965-), 博士, 教授. 研究方向为图像处理、模式识别、图像质量评估. E-mail: zhuxfcz@yeah.net.

(上接第 39 页)

- [8] Di Caro G, Ducatelle F, Gambardella L M. AntHoc-Net: an adaptive nature-inspired algorithm for routing in mobile Ad Hoc networks[J]. European Transactions on Telecommunications, 2005, 16(5): 443-455.

作者简介:

曹 峥 男, (1991-), 硕士研究生. 研究方向为移动社会网络路由. E-mail: caozheng618@163.com.

朱艳琴 女, (1964-), 教授, 硕士生导师. 研究方向为计算机网络安全、密码技术.