

文章编号 1004-924X(2016)05-1176-09

结合局部特征的无参考彩色图像质量评价

刘建磊

(山东大学控制科学与工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 由于传统的无参考彩色图像质量评价方法与人眼感知结果的一致性较差, 本文提出了一种全面利用待评价图像的色度、锐利度和对比度的无参考彩色图像质量客观评价方法。分析了彩色图像锐利度的局部特征, 提出了一种新的彩色图像锐利度测量模型。基于对比度的局部特征和 Buchsbaum 曲线特征, 建立了新的彩色图像对比度测量模型。最后, 通过线性组合色度测量模型、锐利度测量模型和对比度测量模型, 构建了无参考彩色图像质量评价函数。利用 TID2013 数据库中的 3 类退化图像(高斯模糊图像、对比度改变图像和噪声图像)验证了本文提出的锐利度测量模型、对比度测量模型和无参考彩色图像质量评价函数的性能。结果表明, 本文提出的锐利度测量模型和对比度测量模型的性能均优于传统的锐利度和对比度计算模型。提出的无参考彩色图像质量评价函数的 Spearman 秩相关系数(SROCC)为 0.904, Kendall 秩相关系数(PROCC)为 0.865, Pearson 线性相关系数(PLCC)为 0.922, 亦均优于传统方法。

关键词: 无参考图像质量评价; 彩色图像; 锐利度测量; 对比度测量; 色度测量; 质量评价函数

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20162405.1176

No-reference color image quality assessment based on local features

LIU Jian-lei

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

* Corresponding author, E-mail: jianleiliu2008@hotmail.com

Abstract: For the poor consistency of traditional no-reference color image quality assessment methods and human visual perceptive results, a new no reference color image quality assessment method was proposed based on the colorfulness, sharpness and contrast of images. A new sharpness measuring model for a color image was proposed based on the local feature of sharpness. Then, a novel contrast measuring model for the color image was established based on the local feature of contrast and the feature of Buchsbaum curve. Finally, a novel no-reference color image quality assessment function was constructed based on the linear combination of the colorfulness measuring model, sharpness measuring model and the contrast measuring model. The performance of the sharpness measuring model, contrast measuring model and the no-reference color image quality assessment function was verified by three kinds of degraded images(Gaussian blurred image, contrast changed image and noise image). The experiment results indicate that comparing the traditional methods, the performance of the proposed sharpness measuring model and the contrast measuring model is better than that of the traditional ones. The Spearman Rank Order Correlation Coefficient(SROCC), Kendall Rank-Order

收稿日期: 2016-01-06; 修订日期: 2016-03-03.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 61174175); 中国博士后科学基金资助项目(No. 2015M572034); 山东省高等学校科技计划资助项目(No. J15LN14); 山东省自然科学基金资助项目(No. ZR2015FL016)

Correlation Coefficient (KROCC), and the Pearson Linear Correlation Coefficient (PLCC) of the proposed color image quality assessment function are 0.904, 0.865 and 0.922, respectively, which has better consistency as compared with those of the traditional methods.

Key words: no-reference image quality assessment; color image; sharpness measurement; contrast measurement; colorfulness measurement; quality assessment function

1 引言

图像质量客观评价方法的研究对于满足日益增长的图像应用方面的消费需求^[1]和相应图像处理系统的性能提高都具有重要的指导意义^[2]。现有的客观图像质量评价方法可分为全参考图像质量评价(Full Reference, FR)、精简参考图像质量评价(Reduced Reference, RR)和无参考图像质量评价(no reference)三类^[3-4]。全参考图像质量评价方法通过计算被评价图像与预先提供参考图像的相似度,实现图像质量的评价。精简参考图像质量评价方法可以仅通过比较被评价图像与参考图像的统计量差别,实现图像质量的评价。然而,在实际应用中并不总能有效地获取参考图像。因此,无参考图像质量评价方法成为国内外学者的研究重点。无参考图像质量评价方法因无需借助任何参考图像的先验知识就可以对图像质量进行评价,也被称为“盲方法”。

目前,已有很多关于灰度图像的无参考图像质量评价方法^[5]。在该类方法中,有些方法是面向特定失真类型的,如针对模糊、对比度变化和噪声的严重程度进行评价;有些方法是先进行失真原因分类,再进行定量评价;而有些方法则试图同时评价不同失真类型的图像^[6-7]。现有的无参考彩色图像质量评价方法通常先将灰度图像的评价方法应用到彩色图像的每个通道中;然后为每个通道的评价结果赋予不同的权重值;最后,联合这些被赋予权重值后的评价结果,实现对彩色图像的评价。然而该类方法不但会丢失彩色图像的信息,而且很难选择出最优的彩色图像模型^[8-9]。针对这一问题,文献[8]提出了一个通用的无参考彩色图像质量评价方法 CQE (Color Quality Enhancement)。该方法通过对彩色图像的色度、锐利度和对比度 3 种特性测量模型的线性组合实现彩色图像质量评价。该方法中定义的彩色图像色度测量模型与人类视觉的感知具有高度的一致

性;锐利度测量模型仅对含有理想边缘(阶跃型边缘)的彩色图像能取得与人眼感知一致的评价结果;对比度测量模型仅适用于背景周期性变化的彩色图像。

针对 CQE 方法的缺点,本文在分析了斜坡边缘的锐利度局部特征、对比度局部特征和 Buchsbaum 曲线特性的基础上分别提出了基于局部特征的彩色图像锐利度测量模型和对比度测量模型。然后,通过线性组合色度测量模型、新的锐利度测量模型和新的对比度测量模型,构建了无参考彩色图像质量评价函数,并对该方法进行了实验验证。

2 CQE 方法

2.1 色度测量模型

在文献[8]中,关于色度测量模型的定义如下:

$$colorfulness = 0.02 \times \lg \left\{ \frac{\sigma_\alpha^2}{|\mu_\alpha|^{0.2}} \right\} \times \lg \left\{ \frac{\sigma_\beta^2}{|\mu_\beta|^{0.2}} \right\}, \quad (1)$$

其中 σ_α^2 , σ_β^2 , μ_α 和 μ_β 分别是红-绿和黄-蓝颜色空间的方差和均值。

2.2 锐利度测量模型

在文献[8]中,锐利度测量模型的定义如下:

$$\begin{cases} sharpness = \sum_{c=1}^3 \lambda_c EME(I) \\ EME = \frac{2}{k_1 k_2} \sum_{l=1}^{k_1} \sum_{k=1}^{k_2} \lg \left\{ \frac{I_{\max, k, l}}{I_{\min, k, l}} \right\} \end{cases}, \quad (2)$$

其中: $I_{\max, k, l}$ 和 $I_{\min, k, l}$ 分别表示第 $k \times l$ 个窗口中的最大亮度值和最小亮度值, $k_1 \times k_2$ 代表图像中含有的窗口个数, λ_c 是不同颜色通道的权重系数。

对于锐利度相同的一维斜坡边缘,当窗口(矩形框所示)的大小不一致时, $\lg \left\{ \frac{I_{\max, k, l}}{I_{\min, k, l}} \right\}$ 具有不同的值,从而使得 sharpness 值也不同。这与人眼感知结果不一致。

2.3 对比度测量模型

在 CQE 方法^[8]中,对比度测量模型的定义如下:

$$\begin{cases} contrast = \sum_{c=1}^3 \lambda_c AME(I) \\ AME = \frac{1}{k_1 k_2} \sum_{l=1}^{k_1} \sum_{k=1}^{k_2} \left[\lg \left(\frac{I_{\max,k,l} + I_{\min,k,l}}{I_{\max,k,l} - I_{\min,k,l}} \right) \right]^{0.5} \end{cases} \quad (3)$$

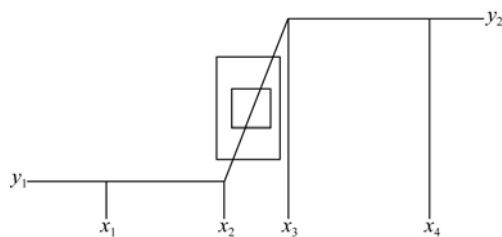
其中: $I_{\max,k,l}$ 和 $I_{\min,k,l}$ 分别表示第 $k \times l$ 个窗口中的最大亮度值和最小亮度值, $k_1 \times k_2$ 代表图像中含有的窗口个数, λ_c 是不同颜色通道的权重系数。

根据式(3)可知,只要窗口内的最大值和最小值相同,其对比度的值就相同,没有考虑背景信息的影响。由亮度掩蔽特性可知,对于背景信息相对稳定的图像(背景亮度变化平缓、背景亮度周期性变化),背景信息对对比度的影响较小,式(3)能取得较好的测量结果;对于背景亮度变化剧烈的图像,背景信息对对比度的影响较大,式(3)的测量结果并不理想。

3 基于局部特征的无参考彩色图像质量评价方法

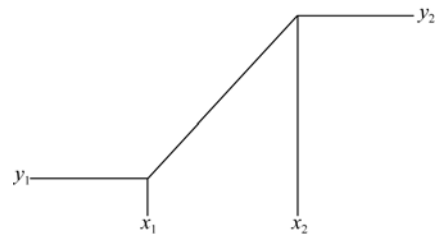
3.1 锐利度测量模型

图 1(a)所示的是一维斜坡边缘。在局部区域 $[x_1, x_2]$ 和 $[x_3, x_4]$ 中,由于其亮度值没有变化,因此在这两个局部区域中其锐利度都等于零;在局部区域 $[x_2, x_3]$ 中,亮度值由 y_1 变化到了 y_2 ,则该区域锐利度大于零。在图 1(b)所示一维斜坡边缘的局部区域 $[x_1, x_2]$ 中,亮度值也由 y_1 变化到了 y_2 ,但两个区间(图 1(a)中的 $[x_2, x_3]$ 和图 1(b)中的 $[x_1, x_2]$)的长度不同,故这两个局部区域的锐利度不同。



(a) 高锐利度

(a) High sharpness



(b) 低锐利度

(b) Low sharpness

图 1 一维斜坡边缘

Fig. 1 One dimensional slope edge

根据以上分析,锐利度应具有以下特征:

(1)在局部同质区域内锐利度等于零,在边缘区域,即两个同质区域间的过渡区域,锐利度大于零。因此,一幅图像的锐利度仅与边缘区域的锐利度相关。

(2)锐利度反应的是单位区间内图像亮度的变化程度,对于具有不同宽度的两个过渡区域,即使亮度值改变的幅度相同,其锐利度也不相同。

基于锐利度测量模型的上述两个特点,本文提出的彩色图像锐利度测量模型定义如下:

$$\begin{cases} sharpness' = \sum_{c=1}^3 \lambda_c EME(I_c) \\ EME = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k \left[\frac{I_{\max,l} - I_{\min,l}}{\sqrt{S_\Omega}} \right] \end{cases} \quad (4)$$

其中: Ω 和 k 分别表示以边缘线为中心线的正方形区域和数量, $I_{\max,l}$ 和 $I_{\min,l}$ 分别表示第 l 个正方形区域内的最大和最小亮度值, S_Ω 表示 Ω 的区域面积, I_c 表示待测量图像的不同颜色通道, λ_c 是不同颜色通道的权重系数。由式(4)可知,在斜坡边缘区域内,当 Ω 分别取 Ω_1 和 Ω_2 ($\Omega_1 \neq \Omega_2$) 时,下式成立:

$$\frac{I_{\max,l,\Omega_1} - I_{\min,l,\Omega_1}}{\sqrt{S_{\Omega_1}^1}} = \frac{I_{\max,l,\Omega_2} - I_{\min,l,\Omega_2}}{\sqrt{S_{\Omega_2}^2}} = s, \quad (5)$$

其中: s 是斜坡边缘的斜率, $S_{\Omega_1}^1$ 和 $S_{\Omega_2}^2$ 分别表示 Ω_1 和 Ω_2 的面积。式(5)说明本文提出的锐利度测量模型的结果对窗口的大小并不敏感,与式(2)相比具有更强的鲁棒性。但是当 $\sqrt{S_\Omega}$ 的值大于斜坡边缘宽度时(图 1(a)所示的斜坡边缘宽度为区间 $[x_2, x_3]$ 的长度)式(5)并不成立,同时也使得式(4)的计算精度降低。因此,在应用中 $\sqrt{S_\Omega}$ 的值应小于或等于边缘宽度(ew)。

为了提高锐利度测量模型的计算精度和鲁棒性,本文提出了一种新的边缘宽度(ew)计算方

法。在该方法中边缘被分为两种类型:一类是水平方向和垂直方向的边缘;另一类是其他方向的边缘。边缘方向利用下式计算:

$$\theta = \arctan(I_y(ep)/I_x(ep)), \quad (6)$$

其中: I_y 和 I_x 分别表示利用有限差分法获取的垂直方向和水平方向的梯度值, ep 表示边缘像素点。

对于水平方向和垂直方向的边缘,其边缘宽度的计算公式定义如下:

$$ew = w_{up}(ep) + w_{down}(ep). \quad (7)$$

其中: $w_{up}(ep)$ 和 $w_{down}(ep)$ 分别表示边缘像素点 ep 到 I_{max} 和 I_{min} 的欧式距离。

对于其他方向的边缘,其边缘宽度的计算公式定义如下:

$$ew = (w_{up}(ep) + w_{down}(ep)) \cdot \cos(\theta). \quad (8)$$

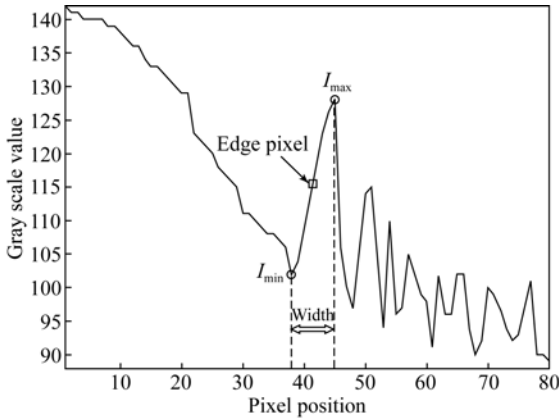


图 2 边缘宽度的计算示意图

Fig. 2 Measurement of edge width around an edge pixel

$$B_c(x, y) = \frac{1}{4} (I_c(x-1, y) + I_c(x+1, y) + I_c(x, y-1) + I_c(x, y+1)) +$$

$$\frac{\sqrt{2}}{8} (I_c(x-1, y-1) + I_c(x+1, y-1) + I_c(x-1, y+1) + I_c(x+1, y+1)), \quad (12)$$

其中 Ω_1^i 和 Ω_2^i 表示第 i 个以边缘线为中心线的局部区域 Ω^i ($\Omega^i = \Omega_1^i \cup \Omega_2^i$) 的子区域, 它们被边缘线分开并具有相同的像素点个数 n , k 是以边缘线为中心线的局部区域个数; $B_c(x, y)$ 是局部区域 Ω^i 的背景亮度, I_c 表示待评价图像的不同颜色通道, (x, y) 为局部区域 Ω^i 的中心像素点; λ_c 是不同颜色通道的权重系数, 各个变量中的下标 1, 2 均表示被边缘线分开并具有相同像素点个数的两个子区域。

根据式(10)和式(11)可知, 在图像的局部同质区域内 $A_{d1}^i = A_{d2}^i$, 则该同质区域的对比度 $\frac{|A_{d1}^i - A_{d2}^i|}{B_c(x, y)}$ 等于零。对于背景亮度不同(假设

图 2 展示了边缘像素点 ep 、包含 ep 的局部区域的极值(I_{min} 表示局部极小值, I_{max} 表示局部极大值)和边缘宽度三者之间的关系。

结合边缘宽度的定义, 本文提出的锐利度测量模型定义如下:

$$\begin{cases} sharpness' = \sum_{c=1}^3 \lambda_c EME(I_c) \\ EME = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k \left\{ \frac{I_{max,l} - I_{min,l}}{\sqrt{S_\Omega}} \right\} \\ \sqrt{S_\Omega} \leq ew \end{cases} \quad (9)$$

3.2 对比度测量模型

根据对图像的直观分析可知, 在一幅图像的局部同质区域内, 其对比度等于零; 对于在相邻的两个局部同质区域的过渡区域, 其对比度大于零。过渡区域的中心线就是图像的边缘线。因此, 图像的整体对比度可根据以边缘线为中心线的局部区域的对比度进行计算。另外, 由 Buchsbaum 曲线^[10-12]可知, 对于相同的亮度变化幅度, 背景亮度低的区域比背景亮度高的区域更能引起人眼的视觉感知。基于以上分析, 本文基于以边缘线为中心线的局部区域 Ω 定义了彩色图像的对比度测量模型:

$$contrast' = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{c=1}^3 \lambda_c \frac{|A_{d1}^i - A_{d2}^i|}{B_c(x, y)}, \quad (10)$$

$$\begin{cases} A_{d1}^i = \frac{I_{d1}^i + I_{d2}^i + \dots + I_{dn}^i}{n}, I_{d1}^i \in \Omega_1^i \\ A_{d2}^i = \frac{I_{d21}^i + I_{d22}^i + \dots + I_{d2n}^i}{n}, I_{d2n}^i \in \Omega_2^i \end{cases}, \quad (11)$$

$B_c^n(x, y) > B_c^m(x, y)$ 并含有边缘线的两个局部区域 Ω^n 和 Ω^m , 若 $|A_{d1}^n - A_{d2}^n| = |A_{d1}^m - A_{d2}^m| \neq 0$, 则背景亮度大的局部区域的对比度要小于背景亮度小的局部区域对比度。这符合 Buchsbaum 曲线特性。另外, 式(11)具有均值滤波的作用, 可以有效抑制噪声对计算结果的影响。

3.3 参数 Ω 的确定

在本文中参数 Ω 被设定为以边缘线为中心线的正方形区域。考虑到图像统计特征的空间非平稳性, 本文假设一条边缘线由 3 个连续的边缘像素点组成, Ω 的大小为 $3 \text{ pixel} \times 3 \text{ pixel}$ 。根据 Ω 的特性可知, 要确定 Ω 则要先检测出图像中的

边缘线。一条边缘线应具有如下特征^[13]：

(1)各向异性:顺着边缘方向图像灰度值变化较慢,垂直于边缘方向图像的灰度值变化较快。

(2)连续性:边缘像素点不是孤立存在的,每个边缘像素点在其八邻域内一定还存在其他的边缘像素点。

(3)延长性:一条长边缘线是由多个连续的短边缘线组成的。

由边缘线的特征可知,要检测边缘线,需要首先检测边缘像素点。目前,已有很多的边缘像素点检测算法,而基于空域的高斯拉普拉斯算子可通过检测斜坡边缘的零穿点实现边缘像素点的定位。因此,该算子不仅能避免双边缘的产生,而且能精确定位斜坡边缘的中心位置。基于以上分析,参数 Ω 的计算步骤如下:

(1)利用高斯拉普拉斯算子检测图像的边缘像素点。

(2)对于(1)中获取的每个像素点,通过判断其八邻域内是否有其他边缘像素点,来确定边缘线的位置和方向。

(3)根据边缘线的位置和方向确定参数 Ω 。

3.4 无参考彩色图像质量评价函数

本文通过线性组合彩色图像的色度测量模型、锐利度测量模型和对比度测量模型,提出了如下的无参考彩色图像质量评价函数(Colorfulness Sharpness Contrast, CSC):

$$CSC = c_1 \times \text{colorfulness} + c_2 \times \text{sharpness}' + c_3 \times \text{contrast}', \quad (13)$$

其中: colorfulness 是式(1)所示的色度测量模型, c_1 , c_2 和 c_3 是模型的权重系数。对于不同类型的退化图像, c_1 , c_2 和 c_3 的取值不同。本文从 TID2013 数据库中选取了高斯模糊、对比度改变和噪声污染 3 种类型的退化图像,并从每类图像中选取 30 幅样本图像,利用多元线性回归方法获取 c_1 , c_2 和 c_3 的值。表 1 给出了上述 3 种退化类型 c_1 , c_2 和 c_3 的建议值。

表 1 3 种退化类型的 c_1 , c_2 和 c_3 建议值

Tab.1 Recommended values of c_1 , c_2 and c_3 for three types of distortion

Distortion type	c_1	c_2	c_3
Gaussian blur	0.09	0.79	0.12
Contrast change	0.11	0.48	0.41
Noise	0.14	0.12	0.74

4 实验结果与分析

为了验证本文算法的有效性,本小节包含 3 部分的实验:锐利度测量模型的性能比较、对比度测量模型的性能比较和彩色图像质量评价函数的性能比较。本实验中的数据均来自 TID2013 数据库^[14]。该数据库对每一幅图像均给出了来自 3 个不同国家,640 名观测者的主观评价结果(Mean Opinion Score, MOS)。

4.1 锐利度测量模型的性能比较

与文献[8]类似,为了使比较结果更加直观、清晰,对本方法的测量结果、CQE 方法的测量结果和 MOS 的值均进行了归一化处理。图 3 所示是 4 幅不同的原始图像。



图 3 原始图像

Fig.3 Original images

图 4(a)所示是本文提出的锐利度测量模型和 CQE 方法^[8]中的锐利度测量模型对图 3 的评价结果(窗口均为 $3 \text{ pixel} \times 3 \text{ pixel}$)。从实验结果可以看出,本文方法锐利度测量模型的评价结果更接近于人眼的 MOS。这是因为,文献[8]中的锐利度测量模型仅适用于含有理想边缘(阶跃型边缘)的彩色图像,而本文的锐利度测量模型适用于含有斜坡类型边缘的彩色图像,且在反映现实场景的彩色图像中理想边缘较少,大部分是斜坡型边缘。

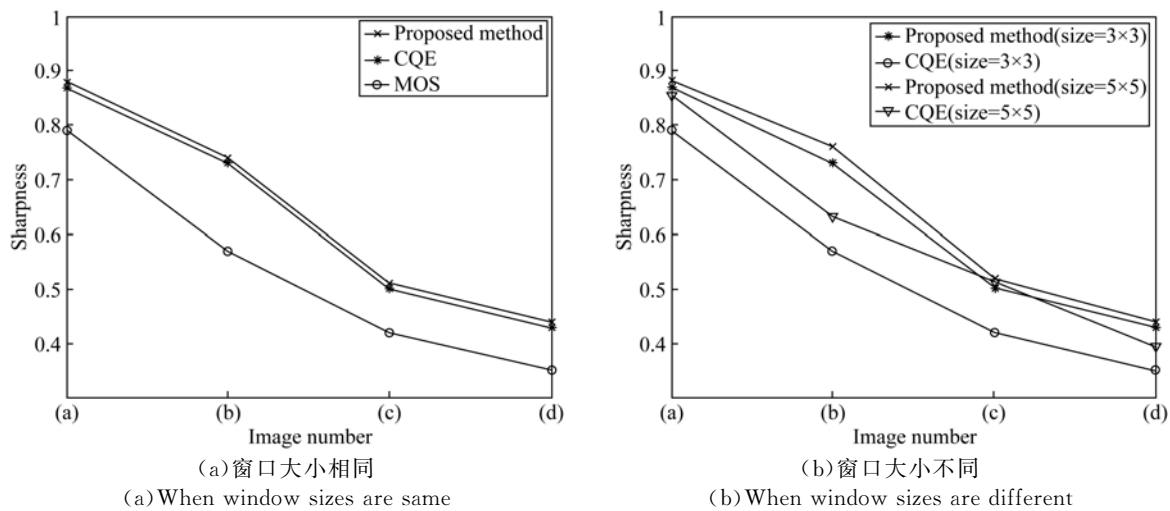


图 4 锐利度评价结果比较

Fig. 4 Assessment results of sharpness for different methods

图 4(b)所示是不同窗口大小下,本文方法和 CQE 方法^[8]的锐利度测量模型的评价结果(窗口大小分别是 3 pixel×3 pixel 和 5 pixel×5 pixel,原图像如图 3 所示)。从比较结果可以看出,窗口大小对本文锐利度测量模型没有影响(图中表现出的不同窗口大小间的微小差异是因噪声引起的),而对文献[8]方法的影响较大。由图 1(a)和式(5)可知,无论窗口的大小是多少,只要不超过斜坡边缘区域,本文提出的锐利度测量模型与斜坡边缘斜率的评价结果就相一致。而对于文献[8]的方法,当窗口内的最大值和最小值发生变化时,其评价结果也发生改变。

4.2 对比度测量模型的性能比较

与文献[8]类似,为了使对比度测量模型性能的比较结果更直观、清晰,对本方法的测量结果、CQE 方法的测量结果和 MOS 的值均进行了归一化处理。图 5 所示是本文提出的对比度测量模型和 CQE 方法^[8]中的对比度测量模型的性能比较结果,窗口的大小都设定为 3 pixel×3 pixel。图 5(a),图 5(b)和图 5(c)是分别具有不同对比度的图像,图 5(d)是比较结果。从实验结果可以看出,本文提出的对比度测量模型的评价结果与 MOS 具有更好的一致性。这是因为本实验中的图像背景亮度变化剧烈,而文献[8]的对比度模型仅适用于背景信息相对稳定的彩色图像。



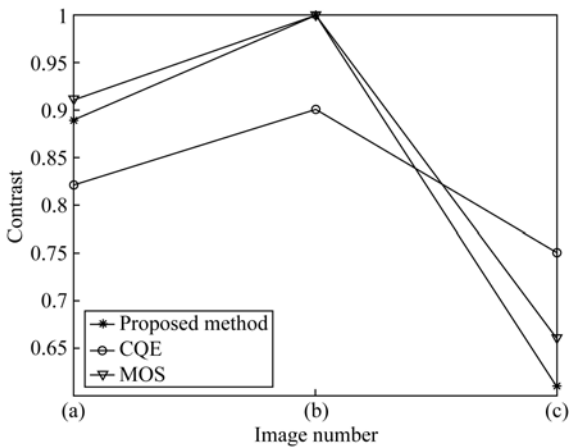
(a) 中对比度图像
(a) Medium contrast image



(b) 高对比度图像
(b) High contrast image



(c) 低对比度图像
(c) Low contrast image



(d) 比较结果

(d) Comparison results

图 5 不同方法的对比度评价结果比较

Fig. 5 Assessment results comparison of contrast for different methods

4.3 彩色图像质量评价函数的性能比较

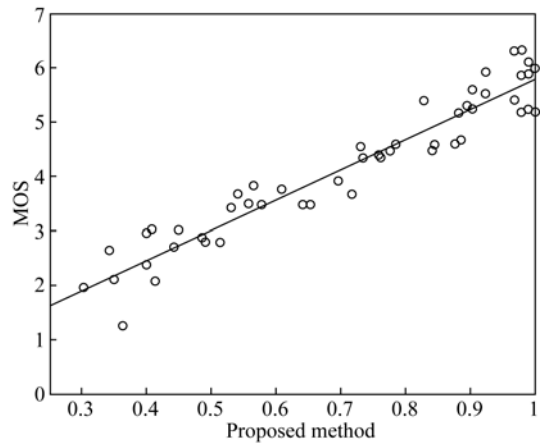
为了更直观地说明本文方法的性能,利用 Spearman 秩相关系数 (Spearman Rank Order Correlation Coefficient, SROCC)、Kendall 秩相关系数 (Kendall Rank Order Correlation Coefficient, KROCC)、Pearson 线性相关系数 (Pearson Linear Correlation Coefficient, PLCC) 和标准差 (Standard Deviation, SD) 4 个技术指标对文献[8]的方法 (CQE)、文献[5]的方法 (Color Image Quality Index, CIQI) 和本文方法 (proposed method) 的评价性能进行衡量。结果如表 2 所示,3 种不同退化类型的图像均来自于 TID2013 数据库,每种退化类型都选择了 50 幅图片。从实验结果可以看出,本文方法的性能优于 CQE 方法和 CIQI 方法,与主观评价具有更好的相关性。

图 6 所示是本文提出的彩色图像质量评价函数的评价结果与主观评价结果的散点图,被评价的图像均来自 TID2013 数据库,图像的退化类型分别为高斯模糊 (Gaussian blur)、对比度改变 (Contrast change) 和噪声 (Noise)。从实验结果可以看出,本文提出的无参考彩色图像质量评价方法与 MOS 具有较高的一致性。

表 2 不同算法在 TID2013 数据库上的性能比较

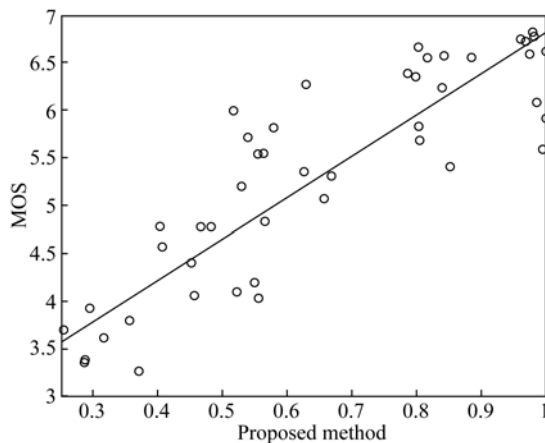
Tab. 2 Performance comparison of different algorithms on TID2013 database

Distortion Type	Measure	Proposed method	CQE	CIQI
Gaussian blur	SD	0.073	0.115	0.176
	PLCC	0.965	0.934	0.902
	SPOCC	0.942	0.926	0.645
	KROCC	0.929	0.925	0.621
Contrast change	SD	0.078	0.102	0.161
	PLCC	0.908	0.901	0.874
	SPOCC	0.890	0.798	0.775
Noise	KROCC	0.887	0.723	0.706
	SD	0.132	0.135	0.183
	PLCC	0.892	0.886	0.765
	SPOCC	0.880	0.875	0.623
	KROCC	0.781	0.802	0.589



(a) 高斯模糊

(a) Gaussian blur



(b) 对比度改变

(b) Contrast change

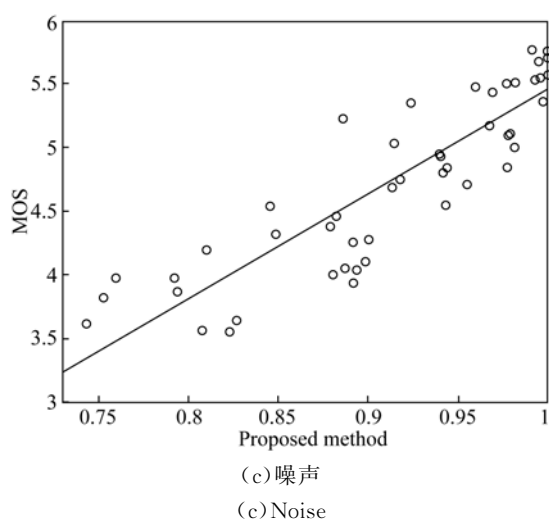


图6 本文方法的评价与主观评价之间的散点图

Fig. 6 Scatter graphs between proposed method and MOS

5 结 论

为了提高无参考彩色图像质量评价方法与人

眼视觉感知结果的一致性,本文在深入分析了锐利度局部区域特征、对比度局部区域特征和 Buchsbau 曲线特性的基础上,分别提出了新的彩色图像锐利度测量模型和新的彩色图像对比度测量模型。通过对已有的彩色图像色度测量模型、新的锐利度测量模型和新的对比度测量模型进行线性组合,构建了无参考彩色图像质量评价函数。利用 TID2013 数据库中的 3 类退化图像(高斯模糊图像、对比度改变图像和噪声图像)验证了本文提出的锐利度测量模型、对比度测量模型和无参考彩色图像质量评价函数的性能。实验结果表明,所提模型均优于传统的锐利度和对比度计算模型,评价函数的 Spearman 秩相关系数(SROCC)为 0.904, Kendall 秩相关系数(PROCC)为 0.865, Pearson 线性相关系数(PLCC)为 0.922,均优于传统方法。

参考文献:

- [1] 桑庆兵. 半参考和无参考图像质量评价新方法研究[D]. 无锡:江南大学, 2013.
SANG Q B. *Research on novel methods of reduced reference and Ao reference image quality assessment* [D]. Wuxi: JiangNan University, 2013. (in Chinese)
- [2] 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)
- [3] 陈勇, 李愿, 吕霞付, 等. 视觉感知的彩色图像质量积极评价[J]. 光学精密工程, 2013, 21(3): 742-750.
CHEN Y, LI Y, LV X F, *et al.*. Active assessment of color image quality based on visual perception [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(3): 742-750. (in Chinese)
- [4] 王春哲, 李杰, 李明晶, 等. 一种多扭曲失真图像的质量评价方法[J]. 液晶与显示, 2015, 30(4): 681-686.
WANG CH ZH, LI J, LI M J, *et al.*. Image quality assessment algorithm for multi-distorted image [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(4): 681-686. (in Chinese)
- [5] 卢彦飞, 张涛. 基于 Riesz 变换的结构相似度图像质量评价方法[J]. 液晶与显示, 2015, 30(6): 992-999.
LU Y F, ZHANG T. Image quality assessment method via Riesz-transform based structural similarity [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(6): 992-999. (in Chinese)
- [6] 王志明. 无参考图像质量评价综述[J]. 自动化学报, 2015, 41(6): 1062-1078.
WANG ZH M. Review of no-reference image quality assessment [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2015, 41(6): 1062-1078. (in Chinese)
- [7] 李俊峰, 张飞燕, 戴文战, 等. 基于图像相关性和结构信息的无参考图像质量评价[J]. 光电子·激光, 2014, 25(12): 2407-2416.
LI J F, ZHANG F Y, DAI W ZH, *et al.*. No-reference image quality assessment based on image correlation and structure information [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2014, 25(12): 2407-2416. (in Chinese)
- [8] KAREN P, CHEN G, SOS A. No reference color image contrast and quality measures [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2013, 59(3): 643-651.
- [9] FU Y Y. *Color image quality measures and retrieval* [D]. New Jersey Institute of Technology, 2006.

- [10] MANDAL D, PANETTA K, AGAIAN S. Human visual system inspired object detection and recognition [C]. *Proceedings of the IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications*, 2012:145-150.
- [11] 张菲菲, 谢伟, 石强, 等. 人眼视觉感知驱动的梯度域低照度图像对比度增强[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2014, 26(11):1981-1988.
ZHANG F F, XIE W, SHI Q, *et al.*. A perception-inspired contrast enhancement method for low-light images in gradient domain [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2014, 26(11):1981-1988. (in Chinese)
- [12] KUNDU M K, PAL S K. Thresholding for edge detection using human psycho visual phenomena [J]. *Pattern Recognition Letter*, 1986, 4(6):433-441.
- [13] LIU J L, FENG D Z. Two-dimensional multi-pixel anisotropic Gaussian filter for edge-line segment (ELS) detection [J]. *Image and Vision Computing*, 2014, 32(1):37-53.
- [14] PONOMARENKO N. Color image database for evaluation of image quality metrics [C]. *Multimedia Signal Processing*, 2008:403-408.

作者简介:



刘建磊(1981—),男,山东济宁人,博士,2012年于西安电子科技大学获得博士学位,主要研究方向为数字图像处理、模式识别和智能交通。E-mail: jianleiliu2008@hotmail.com

(版权所有 未经许可 不得转载)