

文章编号: 0253-2239(2010)12-3447-07

基于 S-CIELAB 和 iCAM 模型的图像颜色质量 评价方法的实验研究

武海丽 黄庆梅 苑馨方 李瑞玲

(北京理工大学光电学院颜色科学与工程国家专业实验室, 北京 100081)

摘要 S-CIELAB 模型和 iCAM 模型都通过计算失真图像与原图像之间的色差对图像质量进行评价。S-CIELAB 模型的空间滤波补偿了人眼视觉系统的空间混合效果。iCAM 模型除了考虑空间混合效果之外, 还考虑了色适应等色貌现象对图像质量评价的影响。基于视觉评价实验, 选择了 3 幅颜色内容对比比较鲜明的图像, 研究了两种模型对图像质量评价结果的有效性及准确性。研究表明, iCAM 模型色差计算结果比 S-CIELAB 模型更符合人眼视觉实验结果。

关键词 图像处理; 视觉与色彩; 图像质量评价; S-CIELAB 模型; iCAM 模型; 对比敏感度函数滤波器

中图分类号 O432.3; TN924.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201030.3447

Experimental Research of Evaluating Methods of Image Quality Based on Models of S-CIELAB and iCAM

Wu Haili Huang Qingmei Yuan Xinfang Li Ruiling

(National Laboratory of Color Science and Engineering, School of Optoelectronics,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract S-CIELAB model and iCAM model are used for estimating the image quality by calculating the color difference between the original image and the distorted image. When the models is used to evaluate the image difference, the S-CIELAB model compensates for the effect of spatial scale of the human visual system. iCAM model, in addition to considering the spatial scale dependency, takes into account the effect of chromatic adaptation on colour appearance. The effectiveness and accuracy of these two kinds of models are investigated based on visual perception experiments using three images with sharp colour contrasts. The study shows that the predictions of iCAM model are more consistent with human visual performance than those of S-CIELAB model.

Key words image processing; vision and color; image quality evaluation; S-CIELAB model; iCAM model; contrast sensitivity function filter

1 引 言

在一定距离上观察图像时, 由于像素点很小, 人眼很难识别单个像素点。不同的像素点排列在一起, 被人眼模糊化了, 从而使得数字图像被认为是连续变化的。使用色差公式计算图像差异时, 把像素点的平均色差当做图像的色差, 认为各像素点的权重是一样的, 这并不符合人眼视觉特性。为解决这

一问题, 有研究者提出在使用色差公式计算色差之前, 加一个预处理过程去除人眼难以察觉的信息, 从而使评价结果更接近人眼视觉观察效果, 如: S-CIELAB 模型^[1,2] 和 iCAM 模型^[2,3]。S-CIELAB 模型首先采用人眼对比敏感度函数(CSF)滤波器对图像颜色数据进行预处理, 然后将彩色图像的颜色信息输入到均匀颜色空间(LAB 空间)进行色差计算,

收稿日期: 2010-01-04; 收到修改稿日期: 2010-05-14

基金项目: 国家自然科学基金(60678052)资助课题。

作者简介: 武海丽(1984—), 女, 硕士研究生, 主要从事颜色科学与图像工程等方面的研究。E-mail: wuhaili@bit.edu.cn

导师简介: 黄庆梅(1963—), 女, 博士, 副教授, 主要从事颜色理论与技术、色域映射理论及其应用等方面的研究。

E-mail: huangqm@bit.edu.cn

这样就避免了把图像当做简单色块处理,补偿了人眼视觉系统的空间混合效果。iCAM 模型除了要进行 CSF 滤波,还要对图像进行低通滤波预处理、色适应变换,去预测 Hunter 效应、Steven 效应和周边场对图像亮度的影响。本文基于视觉评价实验,针对两种模型对所选图像的评价结果进行讨论、比较和分析。

2 S-CIELAB 模型参数选择及实现

S-CIELAB 的实现过程为:首先将彩色图像转换到对立颜色空间,在转换之前应先将 RGB 彩色图像变到与设备无关的 CIE-XYZ 颜色空间^[1,4,5];其次在对立颜色空间进行空间滤波,来模拟人眼视觉系统的空间混合效果;最后将滤波后的对立色分量转换到 XYZ 空间,再到 LAB 空间,这样就可以利用色差公式对图像进行逐个像素的色差计算,用像素的平均色差表示图像色差。

2.1 对比敏感度函数

CSF 反映了对比敏感度阈值与图像空间频率之间的关系。一般视力正常的观察者对每度视角 3 周或 4 周的栅条最敏感,高于或低于这个频率时感受性都会降低(敏感度阈值增大)^[2]。于是可以用 CSF 对图像进行滤波,模拟人眼对图像各个频率响应的不均匀性。

2.2 S-CIELAB 模型参数选择及实现

S-CIELAB 的具体实现过程如下:

1)将 RGB 图像转换到 CIE-XYZ 空间,为简便起见,此处按 sRGB 空间变换:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中 X, Y, Z 为像素颜色的色度三刺激值, R, G, B 为红,绿,蓝 3 种基色的亮度值。

2)CIE-XYZ 空间到对立颜色空间

$$\begin{bmatrix} A \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.297 & 0.72 & -0.107 \\ -0.449 & 0.29 & -0.077 \\ 0.086 & -0.59 & 0.501 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中 A, C_1, C_2 分别代表 S-CIELAB 模型中的亮度通道值、红绿通道值、黄蓝通道值。

3)对 A, C_1, C_2 图像进行 CSF 滤波

第一步,分别对 A, C_1, C_2 图像作傅里叶变换得到他们的频谱分布。

第二步,对 A, C_1, C_2 图像的频谱分布进行 CSF 滤波。

人眼对亮度信息和彩度信息的 CSF 是不一样的。其中亮度通道(A 通道)的 CSF 为^[1]

$$F_{cs}(f) = 75f^{0.8} \exp(-0.2f), \quad (3)$$

红绿通道(C_1 通道)、黄蓝通道(C_2 通道)的 CSF 为^[1]

$$F_{cs}(f) = a_1 \exp(-b_1 f^{c_1}) + a_2 \exp(-b_2 f^{c_2}), \quad (4)$$

(3)或(4)式中各参数的取值见参考文献[1]。其中 f 是空间频率。需要注意的是:步骤中需要对 3 个通道的 CSF 归一化。对于亮度通道,由于色差公式在评价均匀色块时取得了很好的效果,为了当图像是均匀色块(直流分量)时,图像质量评价算法能给出和色差公式一样的结果,这就要求直流分量处的对比度为最大值,而亮度通道 CSF 为带通函数,直流分量处的对比度不是最大值,所以应将亮度通道做如下处理^[2,3]:先找出亮度通道 CSF 峰值及其所对应的空间频率 f_M ,令峰值及小于 f_M 的空间频率对应的函数值为 1,大于 f_M 的空间频率的函数值除以峰值,从而把亮度通道的 CSF 变为低通滤波函数。归一化前后的亮度通道 CSF 分别如图 1 所示。彩度通道为低通滤波函数,所以对其进行归一化只需要将函数值除以峰值即可。

第三步,将滤波后的 3 通道频谱分布通过傅里叶反变换求得滤波后的图像 A', C'_1, C'_2 。

4)将滤波后的数据转换到 XYZ 空间

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.979 & -1.535 & 0.445 \\ 1.189 & 0.764 & 0.135 \\ 1.232 & 1.163 & 2.079 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A' \\ C'_1 \\ C'_2 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

5)在 LAB 空间计算色差

XYZ 空间和 LAB 空间的具体转化及计算步骤见参考文献[6,7],此处仅给出最后的色差公式。

像素点的色差公式为

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}, \quad (6)$$

图像的色差公式为

$$\Delta E = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [(\Delta L_{i,j})^2 + (\Delta a_{i,j})^2 + (\Delta b_{i,j})^2]^{1/2}}{MN}, \quad (7)$$

式中 M, N 分别为图像长,宽的像素点个数, $\Delta L, \Delta a, \Delta b$ 为像素点的三个差值。 $\Delta L_{i,j}, \Delta a_{i,j}, \Delta b_{i,j}$ 为不同像素上的三个差值。

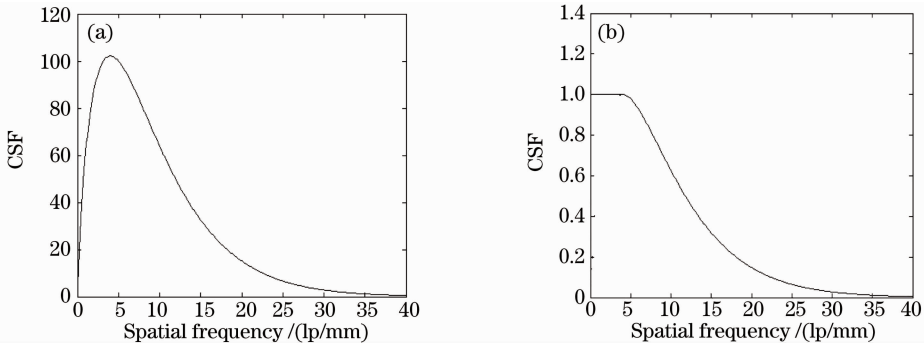


图 1 亮度通道 CSF 波形。(a)亮度通道 CSF 函数,(b)归一化后亮度通道 CSF 函数

Fig.1 CSF for luminance channel. (a) CSF for luminance channel, (b) normalized CSF for luminance channel

3 iCAM 模型参数选择及实现

iCAM 模型具体实现过程如下:

1)将 RGB 图像转换到 CIE-XYZ 空间(过程同 S-CIELAB)。

2)低通滤波

在 XYZ 空间内进行低通滤波,去除图像噪声,减少噪声对图像色差计算的影响,使模型色差计算结果更接近人眼视觉实验结果^[8,9]。本文采用高斯低通滤波器。

3)进行色适应变换

当观察条件改变后人眼视觉系统会主动调整三种视锥细胞的灵敏度,以尽量保持观察颜色的色貌不变。色适应变换即是把人眼的这种视觉特性考虑进来。将低通处理后的图像像素点的 X, Y, Z 值按 CIECAM02 模型变换到 RGB 空间,然后通过 von Kries 线性变换成为色适应后的 R_c, G_c, B_c ,最后再变换回 XYZ 空间。具体步骤及参数的选择见参考文献^[10]。

4)将适应后的数据线性转换到 IPT 空间

先将色适应后的数据变换到 LMS 空间,即

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4002 & 0.7075 & -0.0807 \\ -0.2280 & 1.1500 & 0.0612 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.9184 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad (8)$$

进而线性变换到 IPT 空间,即

$$\begin{bmatrix} I \\ P \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4000 & 0.4000 & 0.2000 \\ 4.4550 & -4.8510 & 0.3960 \\ 0.8056 & 0.3572 & -1.1628 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}, \quad (9)$$

式中 I, P, T 分别代表 iCAM 模型中的亮度通道值, 红绿通道值, 黄蓝通道值。

5)在 IPT 空间进行 CSF 滤波

具体步骤同 S-CIELAB。滤波后的三通道值记为 I_1, P_1, T_1 。

6)将滤波之后的值在 IPT 空间进行非线性变换
第一步,将 I_1, P_1, T_1 线性转变成 L_1, M_1, S_1 , 即

$$\begin{bmatrix} L_1 \\ M_1 \\ S_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0961 & -0.2789 & 0.1827 \\ 0.4544 & 0.4736 & 0.0721 \\ -0.0096 & -0.0057 & 1.0153 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ P_1 \\ T_1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

第二步,若用 C 代表 L_1, M_1, S_1 , 则非线性变换式为

$$C' = C^{0.43}, \quad C \geq 0 \quad (11)$$

$$C' = -|C|^{0.43}, \quad C \leq 0 \quad (12)$$

式中 C' 代表非线性转变后的 L', M', S' 。在视锥细胞响应 LMS 空间中,考虑到 Hunter 效应、Steven 效应等色貌属性,根据视觉的动态响应特性进行非线性变换。与 CIECAM02 模型不同的是,在 iCAM 模型中,上述过程采用了较为简单的一种非线性变换,将图像的 L, M, S 值变换成为 L', M', S' 。

第三步,将 L', M', S' 线性转换回 IPT 空间,得到 I', P', T' , 即

$$\begin{bmatrix} I' \\ P' \\ T' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4000 & 0.4000 & 0.2000 \\ 4.4550 & -4.8510 & 0.3960 \\ 0.8056 & 0.3572 & -1.1628 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L' \\ M' \\ S' \end{bmatrix}. \quad (13)$$

IPT 空间是一个相对均匀的颜色空间,其主要特征是色调角的均匀性,即等色调可以用等色调角近似表示。这一特征适用于图像的颜色变换和处理,特别是在色域映射方面^[7]。

7)计算色差

像素点的色差公式为

$$\Delta E = [(\Delta I')^2 + (\Delta P')^2 + (\Delta T')^2]^{1/2}, \quad (14)$$

图像的色差公式为

$$\Delta E = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [(\Delta I'_{i,j})^2 + (\Delta T'_{i,j})^2 + (\Delta P'_{i,j})^2]^{1/2}}{MN}, \quad (15)$$

式中 $\Delta I'$, $\Delta P'$, $\Delta T'$ 为像素点的 3 个变量差值, $\Delta I'_{i,j}$, $\Delta T'_{i,j}$, $\Delta P'_{i,j}$ 为不同像素点对应的 3 个变量差值。

4 视觉评价实验

图像颜色质量的评价最终应由人眼来完成,因此有必要通过实验来验证模型的评价效果。本文采用 Photoshop 软件对图像进行相应的变换,将处理



图 2 实验图像。(a)实验图像 1,(b)实验图像 2,(c)实验图像 3

Fig. 2 Experimental images. (a) experimental image 1, (b) experimental image 2, (c) experimental image 3

彩色图像颜色质量一般从颜色三属性:亮度、色调、饱和度这三个方面进行评价。采用 Photoshop 对原图像的亮度、色调、饱和度、及三属性同时变化得到 8 幅失真图像:Y20、S20、SD20、ALL20、YF20、SF20、SDF20、ALLF20 其中:“20”代表颜色三属性在 Photoshop 中的变化量,Y、S、SD、ALL 分别代表亮度、饱和度、色调以及三属性同时增加,YF、SF、SDF、ALLF 则分别代表亮度、饱和度、色调以及三属性同时减少。

4.2 实验方法

1)将原图像和处理后的失真图像 3 行 3 列放到同一页上,其中原图像放在中间位置,8 幅失真图像以随机的方式排列在四周,每次实验的排列顺序都不相同,每个图片的大小(高×宽)为 6.32 cm×4.55 cm。

2)显示图像为 LCD 显示器,显示器的亮度和对比度均选出厂设置。并采用 PR715 测试了显示器上的 9 个点,在 LAB 空间计算色差。具体方法为:在显示器上显示白板,将白板分为 9(3×3)块,从上到下依次编号为 1~9,分别在每一块上选择一个点测三刺激值,得到 9 个点的三刺激值,并把编号为 5 的点作为比较点,依次与其计算色差(选择了 10° 视

后的图像作为失真图像。

4.1 实验图像的选择及处理

基于图像内容一般可以将图像分为两大类:包含人物和不包含人物。其中包含人物的图像又可以分为两类:人物特写和非特写^[11]。本实验选取了 3 张人物特写图,如图 2 所示。这 3 幅图人物肤色和背景色之间、人物肤色和服装色之间、以及背景色和服装色之间的颜色对比比较显著,容易引起人眼的关注。按下文所述的相应处理,可得到比较显著的失真效果,有利于验证 CSF 滤波的作用以及模型色差计算结果与视觉实验评价结果的对比分析。

场角),所有色差均小于 4。

3)挑选 22 名(13 男,9 女)平均年龄为 24 岁的颜色视觉正常的观察者。视觉评价实验的时间为 10 月份某天 14:00~16:00 之间晴朗的天气,让每个观察者依次在光线充足的室内(自然光条件下)对图像进行颜色差异评价。观察者与显示器之间的距离为 46 cm,且观察者的视线应垂直于显示器。评价规则:让观察者对失真图像与原图在颜色上的接近程度进行排序并标号,最接近的编号为 1,次接近的编号为 2,以此类推,与原图像相差最大的编号为 8。

4)取失真图像的编号为失真图像的得分。即分值小的图像代表与原图更接近,色差小,失真程度小。

5)将每幅图像所有观察者的得分分别取平均值:

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^{22} a_i}{22}, \quad (16)$$

式中 \bar{a} 表示每幅图像的最后得分, a_i 代表每个人给出的失真图像分值。最后的平均分分值结果如表 1 所示。平均分数大代表图像颜色失真较大,再现质量差,反之平均分数小代表图像颜色再现质量好。

6)计算每幅图像的样本均方差根。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n - 1}}, \quad (17)$$

$n = 22$ 。计算结果如表 1 所示。从表 1 的 σ 值可以看出：实验样本波动较小，实验结果较为可信。

式中 \bar{a} 代表图像得分的平均值， σ 为样本均方差根，

表 1 失真图像分数均值和方均根表

Table 1 Average value and root mean square of distortion images

Distortion images		Y20	YF20	S20	SF20	SD20	SDF20	ALL20	ALLF20
Average value	experimental image 1	1.136	3.955	4.455	5.091	5.000	3.136	6.000	7.046
	experimental image 2	1.500	2.909	2.045	3.818	5.364	6.364	7.000	7.000
	experimental image 3	2.046	2.318	3.546	2.136	5.909	6.955	5.909	7.182
Root mean square	experimental image 1	0.640	1.731	1.438	1.797	1.952	1.552	1.604	1.430
	experimental image 2	0.673	1.109	0.999	0.588	1.255	1.136	0.926	0.926
	experimental image 3	0.950	0.839	0.963	1.167	0.684	1.090	1.151	1.006

5 模型色差数据及视觉评价实验数据分析

5.1 两模型的色差数据计算

用 Matlab 编程分别实现 iCAM 模型和 S-

CIELAB 模型，模型具体实现方法如上文所述，实验图像 1、2、3 各自的 8 幅失真图像和原图像的色差计算结果如表 2 所示，实验图像 1 的人眼视觉实验评价结果和模型计算结果相关性图如图 3 所示。

表 2 iCAM 模型和 S-CIELAB 模型色差数据表

Table 2 Color difference of model iCAM and S-CIELAB

Distortion images		Y20	YF20	S20	SF20	SD20	SDF20	ALL20	ALLF20
Experimental image 1	iCAM	5.135	5.686	4.389	3.571	5.905	6.185	8.162	7.413
	S-CIELB	3.834	3.907	0.765	0.711	1.449	1.443	6.698	6.067
Experimental image 2	iCAM	10.604	11.454	10.098	9.601	9.656	11.494	12.165	12.104
	S-CIELB	3.844	4.287	0.529	0.500	3.410	3.679	11.544	12.332
Experimental image 3	iCAM	13.572	14.308	16.821	13.111	15.843	15.611	17.684	16.340
	S-CIELB	3.446	3.555	1.522	1.136	5.969	10.527	22.880	12.415

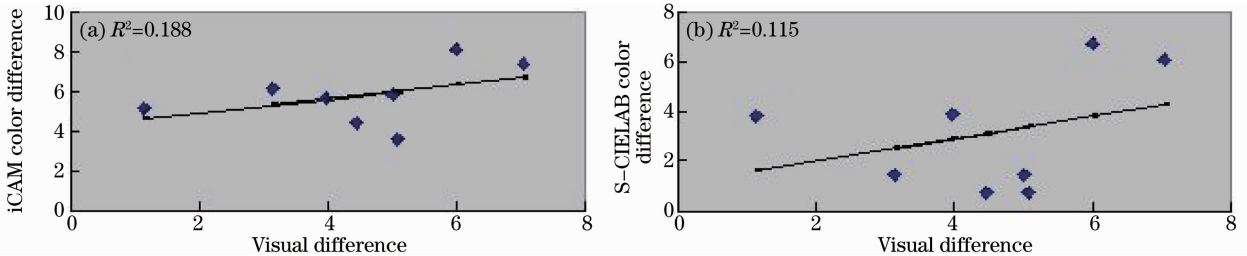


图 3 实验图像 1 的人眼视觉实验结果和模型结果相关性图。(a)iCAM 模型，(b)S-CIELAB 模型

Fig. 3 correlation graph of the experimental result of human-eye vision and the result with the model about experiment image 1. (a) iCAM model, (b) S-CIELAB model

5.2 模型色差数据及视觉评价实验色差数据分析

将 3 幅图像的失真类型分为 4 类：亮度失真 (Y20 与 YF20)、饱和度失真 (S20 与 SF20)、色调失

真 (SD20 与 SDF20) 和三属性同时失真 (ALL20 与 ALLF20)。

比较图像相同失真类型 (比如 Y20 与 YF20) 的

模型色差大小和实验平均分数大小,由表 1、表 2 可以看出:

1) 针对实验图像 2 和实验图像 3,两种模型对其四种失真类型计算结果基本一致,其中,色差数值大代表失真程度大,色差数值小代表失真程度小。模型计算结果和人眼视觉评价结果较为接近,根据模型色差结果可以预测人眼视觉评价结果。

2) 针对实验图像 1,模型计算结果和人眼视觉实验评价结果差异较大,分析原因,主要是与观察者的关注点有关。实验图像 1 包含的颜色种类较多,观察者关注的部位不一样,得出的结论差异较大,从表 1 的 σ 值也可看出,观察者对实验图像 1 的评价结果相对分散。但模型并未考虑不同观察者感兴趣区域不同这一特性,因此模型计算结果和人眼视觉实验评价结果产生差异;实验图像 2、3 的实验结果也验证了这一点。

3) 从表 2 可看出 iCAM 模型计算出的色差基本上都比 S-CIELAB 模型计算出的色差大;从图 3 实验图像 1 的计算结果和评价结果的相关性中,能够看出 iCAM 更接近视觉评价结果,此结果表明 iCAM 模型对图像进行预处理步骤(低通滤波处理和色适应变换)的有效性,即 iCAM 模型预测了色适应大小、Hunter 效应、Steven 效应和周边场对图像亮度的影响,考虑了图像像素点之间的互相影响,而不仅仅是把图像当做简单色块来处理,更符合人眼的视觉特性。同时也说明 iCAM 模型比 S-CIELAB 模型更敏锐,对小失真图像,iCAM 模型比 S-CIELAB 模型更容易察觉。

对于失真类型不一样的图像(如比较 Y20 与 S20),两种模型的色差计算结果和人眼视觉评价结果之间存在差异。其原因除了与图像失真处理的相关算法有关外,还与人眼对不同属性的颜色变化敏感性不同有直接关系,需要相关的深入研究,模型的进一步改进方向应考虑人眼视觉对不同颜色属性的敏感性因素。

综上所述:对失真类型一样的图像,两种模型色差计算结果和人眼视觉评价结果基本一致。对小失真图像,iCAM 模型比 S-CIELAB 模型更敏锐。对于失真类型不一样的图像,模型色差计算结果和人眼视觉评价结果之间还存在差异,模型还有待进一步完善。

6 结 论

本文基于 iCAM 模型和 S-CIELAB 模型,对所

选人物特写失真图像与原图像进行 CSF 滤波,并计算了失真图像与原图像之间的色差,对图像进行了颜色质量评价;同时采用视觉评价实验方法得到主观评价结果,然后对模型计算结果和视觉实验评价结果进行了比较。由于 iCAM 模型增加了图像低通滤波及色适应变换,评价结果较 S-CIELAB 模型更符合人眼视觉特性。从模型得到的图像色差结果可以看出:对失真类型一样的图像,两种模型色差计算结果接近人眼视觉评价结果;对失真类型不一样的图像,模型色差计算结果和人眼视觉评价结果之间还存在差异,模型还有待进一步完善。本文仅针对某一类图像,初步探讨了图像色差模型和视觉评价实验之间的关系,用视觉感知实验评价了 S-CIELAB 模型和 iCAM 模型计算色差的差异;验证了 S-CIELAB 模型中的 CSF 滤波和 iCAM 模型中色适应及色貌属性的不同作用。进一步的工作还需要针对更多不同类型的图像,进行色差模型的计算、分析,完善视觉评价实验,使其能更好地表现出人眼视觉特性,从而对图像色差模型的改进提出有效的指导意见。

参 考 文 献

- 1 Garret M. Johnson, Mark. Fairchild. A top down description of S-CIELAB and CIEDE2000[J]. *Color Research and Application*, 2003, **28**(6): 425~435
- 2 Li Ruiling, Huang Qingmei, Lu Yan. An image quality assessment algorithm used for JPEG compressed image [C]. *SPIE*, **6833**: 68330E-1~68330E-8
- 3 Yuan Xinfang. Research on iCAM Color Appearance Applied on Color Image Quality Assess [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2009. 31~43
苑馨方. iCAM 色貌模型在彩色图像质量评价上的应用研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2009. 31~43
- 4 Chen Yiyi, Xu Haisong, Zhang Xiandou *et al.*. Study of spectral reconstruction based on digital camera[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(5): 1417~1419
陈奕艺, 徐海松, 张显斗 等. 基于数码相机的光谱重构研究[J]. *光学学报*, 2009, **29**(5): 1417~1419
- 5 Zhao Yuanmeng, Wang Lingxue, Jin Weiqi *et al.*. Single-band infrared image colorization algorithm based on color transfer[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(3): 654~658
赵源萌, 王岭雪, 金伟其 等. 基于色彩传递的单波段热图像彩色化处理算法[J]. *光学学报*, 2009, **29**(3): 654~658
- 6 Wang Ying, Zeng Ping, Wang Yifeng *et al.*. Spectral-based color separation for multi-spectral images[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(8): 2122~2127
王莹, 曾平, 王义峰 等. 一种面向多光谱图像的打印分色方法[J]. *光学学报*, 2009, **29**(8): 2122~2127
- 7 Hu Weijie, Tang Shunqing, Zhu Zhengfang. *Modern Color Science and Application* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2007. 126~169
胡威捷, 汤顺青, 朱正芳. 现代颜色技术原理及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007. 126~169
- 8 Qian Weixian, Chen Qian, Gu Guohua *et al.*. Infrared image

sharpening algorithm with noise inhibition [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(7): 1807~1811

钱惟贤, 陈 钱, 顾国华等. 一种具有噪声抑制功能的红外图像锐化算法[J]. *光学学报*, 2009, **29**(7): 1807~1811

9 Wang Xin, Zhao Dazun. Influence of noise to phase diversity wavefront sensing [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29** (8): 2142~2146

王 欣, 赵达尊. 图像噪声对相位变更波前传感的影响研究[J].

光学学报, 2009, **29**(8): 2142~2146

10 Mark D. Fairchild, Gerrett M. Johnson. The iCAM framework for image appearance, image differences, and image quality[J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2004, **20**(4): 377~389

11 Ina Klein Teeselink, Frans Blommaert, Huib de Ridder. Image categorization[J]. *Journal of Imaging Science and Technology*, 2000, **44**(6): 552~559

2011 年《中国激光》“激光制造”专题 征 稿 启 事

激光制造技术是国家重点支持和推动的一项高新技术,近年来在涉及国家安全、国防建设、高新技术产业化和科技前沿等领域已取得多项重大研究成果。《中国激光》在成功组织 2008 年、2009 年“激光制造”专题的基础上,计划在 2011 年 6 月正刊(EI 核心收录)上推出第三期“激光制造”专题栏目,现特向国内外广大专家学者征集“激光制造”方面原创性的研究论文,旨在集中反映该领域最新的研究成果及研究进展。

征稿范围包括:

- 激光制备新材料技术
- 激光表面工程技术
- 激光连接技术
- 激光去除技术
- 激光直接制造技术
- 激光复合制造技术
- 激光微加工技术
- 激光纳米制造技术
- 激光器、光学元器件与加工系统
- 激光宏观制造过程模拟、检测与控制技术
- 其他

特邀组稿专家:

钟敏霖 教授(《中国激光》常务编委) 清华大学机械工程系激光加工研究中心

E-mail: zhml@tsinghua.edu.cn 010-62772993

截稿日期:2011 年 2 月 28 日

投稿方式以及格式:

通过网上投稿系统(<http://www.opticsjournal.net/zgjj.htm>)直接上传稿件(留言中说明“激光制造”专题投稿),详情请参见中国光学期刊网: www.opticsjournal.net。本专题投稿文体为中文,其电子版请使用 MS-word 格式,有任何问题请咨询马沂编辑, E-mail: mayi@siom.ac.cn; 电话: 021-69918427-802。

《中国激光》杂志社

2010-09-22