

## 偏好肤色的获取与再现研究

吴平, 张霞

(武汉大学, 武汉 430079)

**摘要:** **目的** 基于人眼长期观察实践对色彩形成的认知以及识别肤色时的主观偏好记忆性,对偏好记忆的肤色进行获取以及再现。**方法** 选取代表人群拍摄肤色数据,并通过心理物理试验获取偏好肤色数据库,采用YCbCr空间建立椭圆模型对肤色和偏好肤色分布进行模拟。利用椭圆模型,提出一种基于仿射变换的偏好肤色再现算法。**结果** 实现了输入图像中肤色到偏好肤色的转换和再现,并使用瑟斯顿成对比较法对仿射变换再现算法和其他算法的再现效果进行了评价。**结论** 算法具有较高的观察者偏好度,更符合人们的主观感受,肤色再现效果较好。

**关键词:** 偏好肤色; 肤色检测; 肤色建模; 仿射变换; 肤色再现

**中图分类号:** TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)03-0146-07

## Acquisition and Reproduction of Preferred Skin Colors

WU Ping, ZHANG Xia

(Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**ABSTRACT:** The aim of this study was to realize the transformation of skin colors from detected skin color to preferred one considering cognition formed from long-time observation practice on colors and subjective preference for memory skin colors. The database of preferred skin was established by selecting representative populations, photographing skin color data and psychological physical tests, and an elliptical model was built using YCbCr color space to simulate the distribution of skin colors and preferred skin colors. Using this elliptical model, a preferred skin color reproduction algorithm based on affine transformation was proposed in this paper. Transformation and reproduction of preferred skin colors from detected skin colors were realized in the input images. And Thurston's Law of Comparison was used to evaluate the reproduction results of the affine transformation reproduction algorithm and other algorithms. The proposed algorithm was better in preferred skin color reproduction in most cases and was subjectively preferred.

**KEY WORDS:** preferred skin color; skin color detection; skin color modeling; affine transformation; color reproduction

人们在长期观察实践中对某些颜色的认识形成了深刻的记忆,因此对这些颜色的认识有一定的规律并形成固有的习惯,这类颜色称为记忆色,如草绿色、天蓝色、肤色、泥土色等。肤色是一种典型的记忆色,受观察者文化背景、职业差异、观察环境等影响<sup>[1-2]</sup>,不同观察者对肤色的视觉与心理感知不同,难以用仪器进行客观测量,不能形成统一的方案。由于受到主观心理因素影响,人们常常选择偏好色作为肤色的心理

颜色,简称偏好肤色,造成了记忆色与现实世界颜色的偏差<sup>[3]</sup>。对于记忆色的再现,符合人眼的感知偏好比颜色复制的准确性更加重要。不同于普通的肤色检测与人脸识别,对肤色进行再现时,需要首先获取偏好肤色并建立模型。偏好肤色与观察者的主观认识和光照环境等因素相关,因此在获取和再现时最好与对象本人肤色进行对比。针对肤色的检测,国内外已有多种肤色数据库,但因为无法根据数据库中的肤

收稿日期: 2015-06-23

作者简介: 吴平(1991—),女,山东聊城人,武汉大学硕士生,主攻色彩视觉分析、数字图像处理等。

通讯作者: 张霞(1976—),女,河南沁阳人,武汉大学教授、硕导,主要研究方向为颜色科学与技术、数字媒体技术等。

色获取偏好肤色,所以并不适合本文的研究。

虽然记忆色的色度因人而异,但实验证明大多数人对记忆色的视觉感知类似,呈聚集态分布<sup>[4]</sup>,因此可采用数学模型对肤色和偏好肤色的分布进行模拟,以对肤色进行检测,实现偏好肤色再现。文中选取代表人群,拍摄获取对象原始肤色数据,并进行心理物理实验,获取偏好肤色数据并建立数学模型。研究基于仿射变换提出肤色到偏好肤色数据的转换算法,实现偏好肤色的再现。研究工作的具体流程见图1。

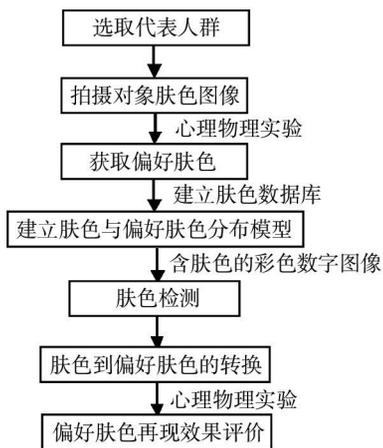


图1 偏好肤色的获取与再现流程

Fig.1 Workflow of acquisition and reproduction of preferred skin colors

## 1 偏好肤色获取

获取偏好肤色区域是进行偏好肤色再现的基础<sup>[5]</sup>。偏好肤色区域的建立,需要基于肤色数据库开展心理实验,由多组观察者选择偏好的肤色,然后进行偏好肤色区域建模。

目前用于肤色检测的数据库多是人脸识别领域专用人脸库,如以西方人为主的 FERET, MIT, Yale, PIE, AR 等人脸库,但由于东西方人面部特征和肤色的差异较大,因此这些数据库并不适合在国内使用。此外,还有以韩国人为主的 PF01, KFDB 人脸库,由中国科学院计算技术研究所提出的 CAS-PEAL 和 MCG-Skin 人脸数据库等<sup>[6-7]</sup>。现有的人脸库主要用于人脸面部轮廓、人数或表情识别,并不适用于肤色色彩的主观评价,因此文中采用自建肤色数据库的方式,通过对比图像肤色和拍摄对象真实肤色的差异来评价肤色再现效果,更符合主观心理。

在自建肤色数据库及采集样本时,需遵循以下几个基本原则:图像获取设备如数码相机,必须经过校

准和特性化,确保设备处于稳定准确的工作状态;拍摄环境符合标准照明条件,采用均匀照明,背景色为中性灰,无杂物影响;被拍摄对象应包含不同性别、不同年龄段以及不同肤色;拍摄前被拍摄对象需卸妆、摘除眼镜,避免刘海和其他装饰物的遮挡,以保证肤色的自然;尽可能多地获取肤色样本,并剔除不符合条件的肤色图像。

文中肤色库中的肤色图像是使用校准和特性化后的佳能 600D 数码相机在标准环境下拍摄得到的。拍摄对象为中年男人、小孩、老人、青年女生和青年男生共 50 人,拍摄背景为 50% 灰,所有拍摄对象均拍摄肩部以上部位,正立面向相机和侧对相机照各一张<sup>[8]</sup>。拍摄采用固定的光照条件:F7.1 曝光自动,ISO400,爱玲珑 scanlite1000 点光源 45° 对称均匀照明,拍摄距离 2 m,照明距离 2.8 m。

剔除明显偏色、带黑眼圈、曝光异常、聚焦不准等情况下的图像,对符合条件的照片进行处理,保持肤色的亮度不变,饱和度分别按 -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15 的幅度变化,色相分别按 -15°, -10°, -5°, 0°, 5°, 10°, 15° 的角度变化,得到 240 张照片,共 50 组,每组 49 张。经过预选择,剔除明显偏色最后得到 50 组照片,每组 18 张。然后由 100 名颜色视觉正常的观察者进行相似性比较实验,其中男生 50 名,女生 50 名,年龄范围为 19~39 岁。在如图 2 的标准暗室环境下观察,观察距离为正常距离,约 0.65 m。在校准后的标准 LCD 显示器上显示一组照片,实验中图片展示背景为 50% 灰度。观察者根据视觉感受对每幅图像的肤色显示效果与真人肤色的相似程度进行评分。每组图像评价完毕后,观察者休息 5 min,再对下一组进行评分。每组对象中评分最高的图像作为偏好肤色图像,最终得到 50 幅偏好肤色图像。



图2 偏好肤色实验观察条件

Fig.2 Observation conditions of preferred skin color experiment

分别对得到的拍摄肤色图像和偏好肤色图像进行肤色剪裁抠取,用于建立肤色数据库。截取肤色

部位主要为额头、脸蛋、下巴, 尽量避开耳朵阴影、刘海阴影、眼睛眉毛等部位, 见图3。YCbCr空间中肤色Cb, Cr分量聚类效果较好, 在Cb-Cr平面近似呈椭圆分布, 因此将图像转换到YCbCr空间对肤色与偏好肤色分布进行数学模拟, 建立椭圆模型<sup>[9-10]</sup>, 见图4。其中, 肤色椭圆中心约为(109.38, 152.02), 长短轴分别为29.39和16.03, 偏好肤色椭圆中心约为(151.94, 105.65), 长短轴分别为20和11。根据此椭圆模型可对输入的肤色图像进行肤色检测与偏好再现。

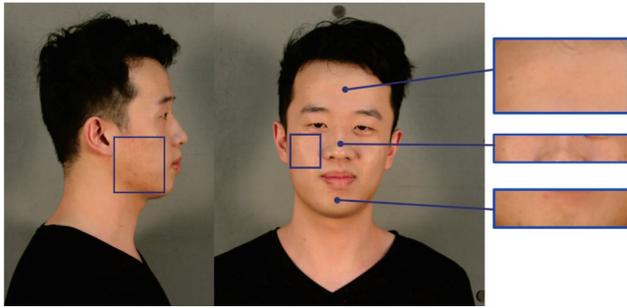


图3 肤色获取

Fig.3 Acquisition of skin colors

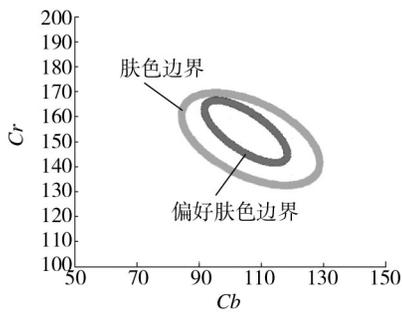


图4 肤色与偏好肤色椭圆模型

Fig.4 Elliptical model of skin colors and preferred skin colors

## 2 偏好肤色再现过程

目前已有的偏好肤色再现算法可分为将肤色转换到偏好肤色点和将肤色转换到偏好肤色域两种<sup>[11]</sup>。已有众多学者基于不同的颜色空间对肤色再现进行研究, 如蒋崛等<sup>[12]</sup>基于HSV空间将肤色边界和偏好肤色边界分别定义为梯形和矩形(简称HSV算法), Ronnier等<sup>[13]</sup>基于YCbCr空间通过分别定义肤色椭圆和偏好肤色椭圆的方式来实现肤色的偏好再现(简称PCR算法), 但HSV算法和PCR算法都只对属于肤色但不属于偏好肤色的颜色做变换, 当亮度发生变化

时, 肤色边界与偏好肤色边界都会随之变化, 使得算法具有一定的局限性。Kim等<sup>[14]</sup>基于 $Yu'v'$ 空间通过建立椭圆模型进行仿射变换来实现显示器上的偏好肤色再现(简称Kim算法), 但 $Yu'v'$ 空间对于人眼对不同颜色变化的敏感程度不能完全匹配<sup>[15]</sup>。Su Xue等<sup>[16]</sup>通过实验的方式直接将平均得分最高的肤色点作为肤色分布的聚类中心, 但未考虑亮度对肤色再现的影响。笔者在现有算法的基础上, 对比分析各色彩空间的特点, 最终选择聚类效果好、符合人眼感知的YCbCr空间为色彩空间<sup>[17]</sup>, 并提出一种基于仿射变换的偏好肤色再现算法, 将肤色的色度和亮度分别处理, 使其转换为偏好肤色, 非肤色部分不作调整或轻微调整。

偏好肤色再现过程的本质是实现颜色从肤色到偏好肤色的转换, 使其更符合人们的主观偏好。由图4可知肤色色度区域明显大于偏好肤色色度区域, 两椭圆的方向角和中心点也不同。文中算法采用仿射变换的思想, 将肤色椭圆转换到偏好肤色椭圆, 非肤色部分轻微调整, 算法分为3步: 将肤色色度椭圆仿射变换到偏好肤色色度椭圆; 对图像亮度进行处理; 处理转换过程中因光照不均匀、检测算法不足等造成的人工痕迹。

### 2.1 肤色椭圆转换到偏好肤色椭圆

色度转换过程分3步完成: 分别将检测肤色椭圆和偏好肤色椭圆的中心转换到坐标原点; 肤色椭圆转换到偏好肤色椭圆; 将偏好肤色椭圆从坐标原点转换到偏好肤色椭圆中心。

首先, 使用矩阵 $M_1$ 和 $M_2$ 将肤色椭圆中心变换到坐标原点, 见式(1)和(2),  $(Cb_{scenter}, Cr_{scenter})$ 表示肤色椭圆的中心,  $\theta_s$ 表示肤色椭圆的方向角。其中矩阵 $M_1$ 将肤色椭圆的中心调整到坐标原点, 矩阵 $M_2$ 改变肤色椭圆的方向角, 使其长短轴分别与xy轴对应。

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -Cb_{scenter} \\ 0 & 1 & -Cr_{scenter} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_s & \sin \theta_s & 0 \\ -\sin \theta_s & \cos \theta_s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

肤色椭圆到偏好肤色椭圆的仿射变换通过矩阵 $M_3$ 实现, 见式(3), 其中 $a_p$ 和 $b_p$ 表示偏好肤色椭圆的长轴和短轴,  $a_s$ 和 $b_s$ 表示肤色椭圆的长轴和短轴。

$$M_3 = \begin{bmatrix} a_p & -a_p & 0 \\ 0 & 0 & b_p \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_s & -a_s & 0 \\ 0 & 0 & b_s \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \quad (3)$$

最后,实现从坐标原点到偏好肤色椭圆的转换。首先通过矩阵  $M_4$  旋转坐标轴,然后通过矩阵  $M_5$  将椭圆中心从坐标原点调整到偏好肤色椭圆中心,见式(4)和(5),其中  $\theta_p$  表示偏好肤色椭圆的方向角,  $(Cb_{pcenter}, Cr_{pcenter})$  表示偏好肤色椭圆的中心。

$$M_4 = \begin{bmatrix} \cos \theta_p & -\sin \theta_p & 0 \\ \sin \theta_p & \cos \theta_p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$M_5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & Cb_{pcenter} \\ 0 & 1 & Cr_{pcenter} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

将以上5个矩阵相乘,即可得到从肤色到偏好肤色的转换矩阵为  $M_T$ ,计算方法见式(6)。

$$M_T = M_5 \times M_4 \times M_3 \times M_2 \times M_1 \quad (6)$$

利用该转换矩阵将肤色像素转换为偏好肤色像素,见式(7):

$$\begin{bmatrix} Cb_p \\ Cr_p \\ 1 \end{bmatrix} = M_T \begin{bmatrix} Cb_s \\ Cr_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

### 2.2 肤色亮度处理

采用Luo等人的建议,为防止过暗或过亮的背景色被检测成肤色,将检测肤色的亮度范围界定为  $38 \leq Y \leq 245$ ,实际应用中可根据图像整体亮度做出调整。对于检测范围内的肤色,对亮度进行相应转换使肤色部分的对比度增强,提高肤色再现质量。亮度转换计算方法见式(8)。

$$Y' = \begin{cases} \left(1 + \frac{\Delta Y}{Y_0 - Y_{min}}\right)Y - \frac{\Delta Y Y_{min}}{Y_0 - Y_{min}}, & Y_{min} \leq Y \leq Y_0 \\ \left(1 - \frac{\Delta Y}{Y_{max} - Y_0}\right)Y - \frac{\Delta Y Y_{max}}{Y_{max} - Y_0}, & Y_0 \leq Y \leq Y_{max} \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $Y_0$  为肤色区域的平均亮度;  $Y_{max}$  为肤色边界的最大亮度;  $Y_{min}$  为肤色边界的最小亮度,可通过对肤色样本集进行统计分析得到;  $\Delta Y$  为平均亮度的改变值,可根据需要人为设定。

### 2.3 人工痕迹处理

肤色检测算法并不能理想地将所有肤色检测出来,同时由于受到光线不均匀等因素的影响,肤色局部偏亮或偏暗,导致部分肤色可能被检测为非肤色,因此在进行肤色转换后可能出现人工痕迹,影响图像再现的质量。为了减少肤色人工痕迹,当非肤色与肤色色度相近时,对其赋予一定的权值进行色度轻微调

整。图5为算法示意图,  $O$  是坐标原点,假设原肤色  $P_0$  点仿射变换后到偏好肤色  $P_1$  点,在保证原映射方向的基础上,用权值  $C_{crf}$  来控制变化量,最终将  $P_0$  映射到点  $P'_1$ 。计算方法见式(9)。

$$\begin{cases} \vec{OP}'_1 = \vec{OP}_0 + P_0 P'_1 = \vec{OP}_0 + C_{crf} P_0 P_1 \\ C_{crf} = C_0 e^{\left[-\frac{\alpha(Cr_0^2 - Cr_1^2)}{2\alpha^2}\right]} \\ x = |P_0 P_1| \\ d = \sqrt{(Cb_{scenter} - Cb_{pcenter})^2 + (Cr_{scenter} - Cr_{pcenter})^2} \end{cases} \quad (9)$$

式中:  $x$  为原始肤色和偏好肤色之间的色差;  $d$  为肤色椭圆中心到偏好肤色椭圆中心的距离。当  $x$  较大时,肤色与偏好肤色差异较大,人工痕迹明显,需将原肤色向偏好肤色进行轻微转换,以减小其与临近像素的差异,转换强度由  $C_{crf}$  决定,  $C_{crf}$  越小,转换强度越小。  $0 \leq C_{crf} \leq 1$ ,  $\alpha$  为正值,文中  $C_0 = 1$ 。

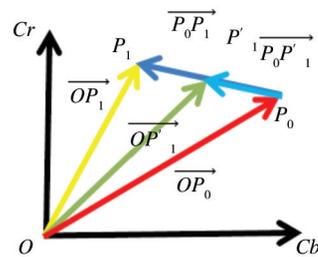


图5 减少人工痕迹算法思想

Fig.5 Algorithm principle for artifacts reduction

算法效果对比见图6,图6a为原图及局部区域放大图,图6b为人工痕迹消除前的效果图及局部放大图,图6c为人工痕迹消除后的效果图及局部放大图。可以看出,对肤色图像进行人工痕迹处理后,肤色图像中的局部跳跃减少,图像再现效果更好。

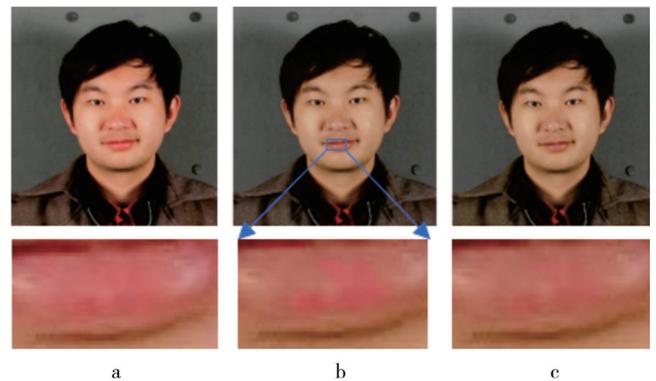


图6 人工痕迹处理前后对比

Fig.6 Comparison of images before and after artifacts reduction

### 3 偏好肤色再现效果分析与评价

为了分析偏好肤色再现效果,在不考虑照度变化的理想情况下,对不同光照环境下的肤色数字图像进行转换处理,并开展观察者成对比较实验,对文中算法的再现效果与原图、Kim算法、HSV算法和PCR算法效果进行比较分析。

成对比较实验共有40名颜色视觉正常的观察者参与,其中男生22名,女生18名,年龄范围为19~39岁,观察条件与偏好肤色获取的实验条件相同。实验中选取如图7所示的10张不同背景和不同光照条件图像,分别使用Kim算法、PCR算法、HSV算法和文中算法对原图进行处理,得到10组图像,将每组包括原图在内的图像进行随机配对,共6对。在校准后的LCD显示器上将每组图像成对显示,由观察者选择感觉更真实的图像。每组评价完成后观察者休息2 min,以避免视觉疲劳。



图7 心理评价实验原图

Fig.7 Original images of psychological evaluation experiment

由于文中算法对图像的亮度进行了自适应调节,同时YCbCr空间比 $Yu'v'$ 空间增加了伽马校正功能,因此可以有效减少Kim算法容易造成的暗部或亮部细节丢失,Kim算法与文章算法效果对比见图8,两者肤色色度差异不大,文中算法图像整体稍亮,但Kim算法明显丢失亮部细节,如背景中的山峰以及图像右下角的肩膀和手臂。

以普通室内图像为例,HSV算法、PCR算法与文章算法效果对比见图9,其中,图9a为原图,图9b为

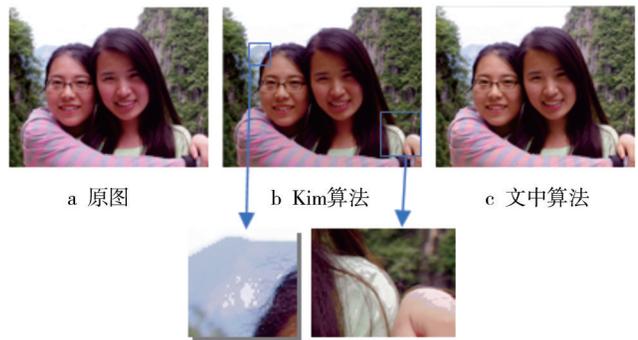


图8 效果对比

Fig.8 Comparison of different images

HSV算法效果图,图9c为PCR算法效果图,图9d为文中算法效果图。可以看出,HSV算法和PCR算法再现图像肤色偏黄,衣服出现偏色,文中算法肤色再现较真实,无明显偏色。

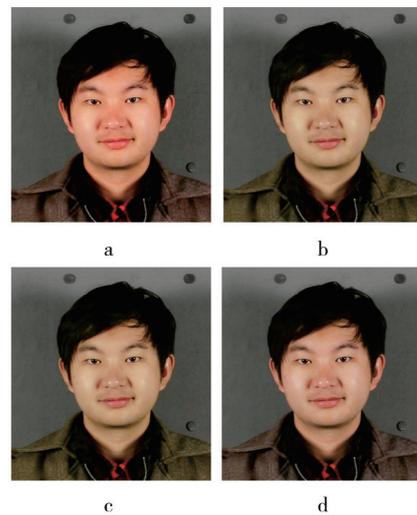


图9 各算法再现效果对比

Fig.9 Comparison of reproduction results using different algorithms

为了客观量化分析各个算法对肤色的再现效果,使用瑟斯顿成对比较法<sup>[8]</sup>对成对比较实验结果进行计算,得到每种算法的相对偏好度,见图10。可以看出,文中算法的相对偏好肤色度始终高于原图,PCR算法虽有部分图像的效果比文中算法好,但对于大多数图像,其处理后效果与原图几乎没有变化,HSV算法是所有算法中效果最差的,只有少量图像的处理结果略好于原图。

为了更直观地比较不同算法的效果,并分析图像内容与算法偏好性之间的关系,将相对偏好度转换为瑟斯顿量表,见图11。可以看出,不同算法对不同类型图像的偏好再现效果不同,对于偏黄室内图像,观察者对原图的偏好性相对较高,而HSV算法的再现效

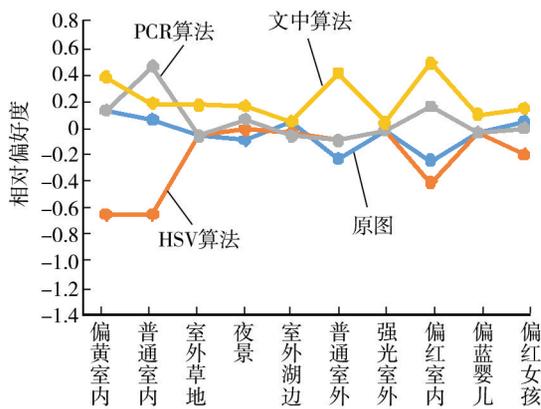


图10 相对偏好度比较

Fig.10 Comparison of relative preference of different algorithms

果最差;对于普通室内图像,观察者对PCR算法的偏好性较高;对于偏红室内和普通室外,观察者对文中算法的偏好性相对较高。

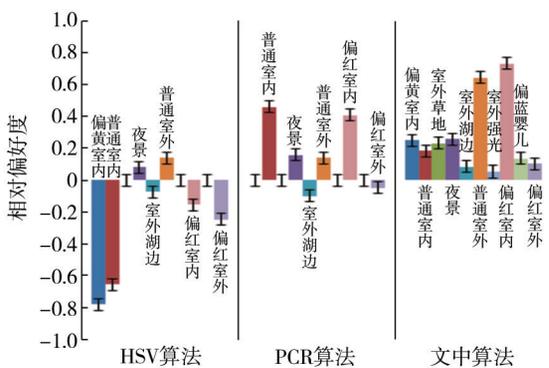


图11 瑟斯顿量表比较

Fig.11 Thurston's scales of different algorithms

#### 4 结语

文中通过拍摄自建肤色数据库,通过心理物理实验获取偏好肤色并构建了数学模型,提出并实现了偏好肤色再现算法,并将再现效果与现有的Kim算法、PCR算法和HSV算法进行了对比评价,结果表明文中的偏好肤色再现算法具有较好的再现效果,不存在明显的颜色畸变和反转,更符合观察者的心理特性。由于肤色再现受各种因素影响,很难实现对所有图像都能较好的再现,文中算法主要适用于普通室内外图像和偏红图像的偏好再现,对偏蓝图像的再现效果一般,仍需对其进行改进。

受到实验条件和实验对象的限制,文中工作还需进一步完善,如在偏好肤色获取时自建肤色库数据量

不够大,可以拍摄更多的样本集;在对实验结果进行比较时,可选用更多的肤色原图,以防止结果的偶然性;对于偏色较严重的图像,可在肤色检测之前对其进行色偏校正。

#### 参考文献:

- [1] GUAN S S, HUNG P S. Influences of Psychological Factors on Image Color Preferences Evaluation[J]. Color Research & Application, 2010, 35(3): 213—232.
- [2] XIAO K, LIAO N, ZARDAWI F, et al. Investigation of Chinese Skin Colour and Appearance for Skin Colour Reproduction[J]. Chinese Optics Letters, 2012, 10(8): 74—78.
- [3] ZHANG H, QUAN S. Memory Color Assisted Illuminant Estimation through Pixel Clustering[J]. Digital Photography VI, 2010, 7537(1): 217—222.
- [4] 陶霖密, 彭振云, 徐光祐. 人体的肤色特征[J]. 软件学报, 2001, 12(7): 1032—1041.  
TAO Lin-mi, PENG Zhen-yun, XU Guan-yu. Characteristics of Human Skin Color[J]. Journal of Software, 2001, 12(7): 1032—1041.
- [5] 陶劲草. 人脸检测与识别的算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2009.  
TAO Jing-cai. Research on Algorithm of Face Detection and Recognition[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2009.
- [6] 陈锻生, 刘政凯. 肤色检测技术综述[J]. 计算机学报, 2006, 29(2): 194—207.  
CHEN Duan-sheng, LIU Zheng-kai. Summary of Skin Color Detection Technology[J]. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(2): 194—207.
- [7] 张晓华, 山世光, 曹波, 等. CAS-PEAL大规模中国人脸图像数据库及其基本评测介绍[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(1): 9—17.  
ZHANG Xiao-hua, SHAN Shi-guang, CAO Bo, et al. CAS-PEAL: A Large-scale Chinese Face Database and Some Primary Evaluations[J]. Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics, 2005, 17(1): 9—17.
- [8] ZENG H, LUO R. Preferred Skin Color Enhancement for Photographic Color Reproduction[J]. Color Imaging XVI: Displaying, 2011, 7866: 69—74.
- [9] PHUNG S L, BOUZERDOUM A, CHAIN D. A Novel Skin Color Model in YCbCr Color Space and Its Application to Human Face Detection[C]// In Proceedings of International Conference on Image Processing, 2002: 289—292.
- [10] CHEN Z, LIU C, CHANG F, et al. Fast Face Detection Algorithm Based on Improved Skin-color Model[J]. Arabian Journal Florence & Engineering, 2013, 38(3): 629—635.
- [11] HARA K, MAEDA A, INAGAKI H, et al. Preferred Color Re-

- production Based on Personal Histogram Transformation[J]. Consumer Electronics IEEE Transactions, 2009, 55(2): 855—863.
- [12] 蒋崛, 张小宁, 梁志虎, 等. HSV空间中具有调整因子的肤色增强方法[J]. 真空科学与技术学报, 2011, 31(5): 515—520.
- JIANG Jie, ZHANG Xiao-ning, LIANG Zhi-hu, et al. Skin Color Enhancement Based on Favorite Skin Color in HSV Color Space[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2011, 31(5): 515—520.
- [13] PARK D, KWAK Y, OK H, et al. Preferred Skin Color Reproduction on the Display[J]. Journal of Electronic Imaging, 2006, 15(4): 041203.
- [14] HYUNHWA O, PARK D, KIM J B, et al. Preferred Skin Color Reproduction Based on Adaptive Affine Transform[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2005, 51(1): 191—197.
- [15] 田欣. 基于不同色彩空间的肤色模型[J]. 西安科技学院学报, 2001, 21(4): 369—371.
- TIAN Xin. Skin Models on Different Color Spaces[J]. Journal of Xi'an Institute of Technology, 2001, 21(4): 369—371.
- [16] XUE S, TAN M, MCNAMARA A, et al. Exploring the Use of Memory Colors for Image Enhancement[J]. Proceedings of the Spie, 2014, 9014(1): 4—9.
- [17] 徐战武, 朱森良. 肤色检测最优空间[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006(9): 1350—1356.
- XU Zhan-wu, ZHU Miao-liang. Optimum Color Space of Skin-tone Detection[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2006(9): 1350—1356.
- [18] ZENG H, LUO R. Color and Tolerance of Preferred Skin Color on Digital Photographic Images[J]. Color Research & Application, 2013, 38(1): 30—45.

\*\*\*\*\*

(上接第141页)

- 包装工程, 2009, 30(12): 21—23.
- XIAO Zhi-jian, WANG Bao-sheng. Study on Model Reference Adaptive Constant Tension Control System[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(12): 21—23.
- [9] 杜汉强, 张广文. 基于模糊自适应PID控制器的张力控制系统[J]. 包装工程, 2008, 29(1): 90—92.
- DU Han-qiang, ZHANG Guang-wen. Tension Control System Based on Fuzzy Self-adaptive PID[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 90—92.
- [10] 刘东升, 王守芳. 基于PLC与变频器的恒张力卷绕控制系统[J]. 制造业自动化, 2011, 33(8): 131—133.
- LIU Dong-sheng, WANG Shou-fang. Control System of Constant Tension Winding Based on PLC and Transducer[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(8): 131—133.
- [11] 刘哲, 杨建成, 等. 基于模糊PID的多功能卷绕机张力控制仿真[J]. 天津工业大学学报, 2008, 27(6): 55—61.
- LIU Zhe, YANG Jian-cheng, et al. Simulation of Tension Control of Multi-function Winding Machine Based on Fuzzy-PID[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2008, 27(6): 55—61.
- [12] 陈德传, 程志林. 力矩伺服式卷绕张力与速度协调控制系统[J]. 纺织学报, 2009, 30(6): 118—121.
- CHEN De-chuan, CHENG Zhi-lin. Winding Tension and Velocity Coordinated System with Torque Servo Control Mode[J]. Journal of Textile Research, 2009, 30(6): 118—121.
- [13] 何金保, 郭帅. 基于改进遗传算法的模糊张力控制[J]. 工业仪表与自动化装置, 2009(1): 11—15.
- HE Jin-bao, GUO Shuai. Fuzzy Tension Control Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Industrial Instrumentation and Automation, 2009(1): 11—15.
- [14] 沈瑜. 基于模糊PID的恒张力控制系统设计[J]. 液压气动与密封, 2009(2): 48—50.
- SHEN Yu. Simulation of Tension Control of Multi-function Winding Machine Based on Fuzzy-PID[J]. Hydraulics Pneumatics and Seals, 2009(2): 48—50.
- [15] 李实永, 王钦若. 模糊控制在薄膜张力控制系统中的应用[J]. 电气传动自动化, 2001, 23(5): 33—35.
- LI Shi-yong, WANG Qin-ruo. Research and Application of Fuzzy Control in Film Tension Control System[J]. Electric Drive Automation, 2001, 23(5): 33—35.
- [16] 尹章伟. 包装机械[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002
- YIN Zhang-wei. Packaging Machine[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.