

基于混合色适应转换的图像色差模型研究

于惠, 刘真

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 由于不同的图像输出媒介有着不同特性, 评价不同输出媒介的输出图像质量比较困难。以常见的软拷贝输出及硬拷贝输出为研究对象, 建立了基于混合色适应转换的图像色差模型, 同时设计了相应的心理物理学实验来验证模型计算结果。研究表明, 基于混合色适应转换的图像色差模型, 在计算不同媒介输出图像色差时表现良好, 基本可以作为评价软拷贝输出与硬拷贝输出图像色差的工具。

关键词: 色适应转换; 图像色差; 跨媒体图像再现

中图分类号: TS801.3; TS807 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2013)03-0021-05

Research of Image Color Difference Model Based on Mixed Chromatic Adaptation Transform

YU Hui, LIU Zhen

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Evaluation of image quality of different media is difficult because of media's different characteristic. Soft-copy and hardcopy as research object was taken as research object. An image difference model based on the mixed chromatic adaptation transform was established and a psychophysical experiment was designed to verify the computation result of the model. The results showed that the proposed model performs well in computation of the image color difference from different media, which can be a tool to evaluate image color difference of softcopy and hardcopy.

Key words: mixed chromatic adaptation; image color difference; cross-media image reproduction

信息技术的发展带动着消费者的需求, 消费者的需求又刺激着产业发展, 如今跨媒体图像再现已经成为印刷界以及出版界发展的大势所趋。同一幅图像可能会在电脑显示器、手持移动终端、印刷品等不同的输出媒介再现。为了满足消费者的高要求, 研究人员提出了很多新技术新手段来保证跨媒体再现技术的质量, 如远程打样技术、色彩管理技术等^[1]。目前对于评价不同媒介输出质量这一问题, 还只能从主观角度出发, 没有一个能够进行客观评价的度量指标。

一般而言, 软拷贝图像由显示器再现图像, 而硬拷贝图像则是将印刷品在标准光源下供观察者观看, 这一过程中的色适应转换不可能是完全色适应, 必然存在着混合色适应转换过程^[2]。根据这一现状, 笔者创新提出将混合色适应转换过程与图像色差模型相结合, 继而提出一种适用于客观评价软拷贝图像与硬

拷贝图像之间的图像差的模型, 同时设计实验验证该模型的可行性。

1 图像色差模型

图像色差模型是为了客观计算原图像与再现图像之间的图像色差而提出的, 用以预测人眼视觉对图像色差的感知结果^[3]。最初计算图像色差的方法是以图像中的像素为对象, 用色差公式 ΔE_{ab}^* 逐个计算像素之间的色差, 最终求得平均值作为图像色差。显而易见, 这种方法不能准确反映人眼的视觉观察结果。因为图像中不同部分对人眼的刺激程度不同, 比如不同色相即使具有相同的色差, 但是人眼可能察觉到的色差程度并不相同^[4]。

Zhang 和 Wandell 在 ΔE_{ab}^* 的基础上, 提出了空间

收稿日期: 2012-11-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41271446)

作者简介: 于惠(1988-), 女, 江苏人, 上海理工大学硕士生, 主攻印刷流程及数字化、色彩管理等。

扩展版 S-CIELAB,也就是在逐个像素计算色差之前先对图像进行空间滤波^[5-6]。这一空间滤波过程实际上是模拟了人眼的视觉特性,削弱图像中对人眼影响较小的部分,增强对人眼影响大的部分。S-CIELAB 的主要流程见图 1。S-CIELAB 模型不仅能够计算图像之间的色差,同时保证不会影响色块的色差计算^[7]。

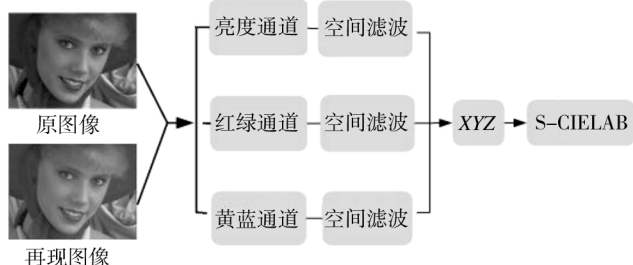


图 1 S-CIELAB 流程

Fig. 1 The workflow of S-CIELAB

色相角算法是由 M. Luo 提出的图像色差计算方法,同样以像素为对象计算图像色差,但是色相角算法创新提出以色相为基准判断每个像素的加权值^[8-9]。其核心思想为以下 4 点:①对于人眼来说,所有的像素不是同等重要的;②大色块的加权值应该较大一些;③像素间的较大色差也应该取较大的权重参数;④在人眼分辨图像时,色相是一个重要的感知因素。

SHAME 则是 Marius 与 Hardeberg 在 S-CIELAB 与色相角算法的基础上建立的图像色差模型^[10-11],其流程见图 2。

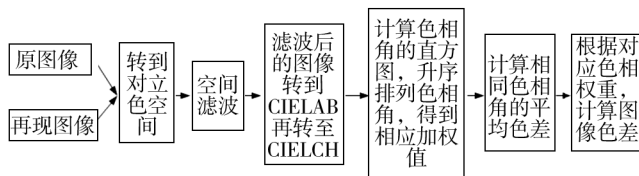


图 2 SHAME 模型的流程

Fig. 2 The workflow of SHAME model

这 4 种图像色差计算方法在计算图像色差时的表现见图 3。实验记录 10 名观察者观察用 5 种不同色域映射算法再现 5 幅图像的主观实验结果,然后计算出各个模型计算结果与主观实验结果之间的系数。Pearson 系数、Spearman 系数、Kendall 系数都是统计学中用以评价两变量之间相关关系的系数,值越大表

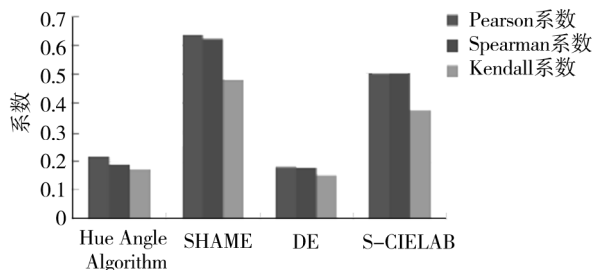


图 3 不同图像色差模型的对比

Fig. 3 Comparison of image color difference models

明相关性越高。显然,SHAME 图像色差是这 4 种图像色差计算方法中效果最好的,所以选择 SHAME 为基础建立合适的图像色差模型。

2 混合色适应转换

Von Kries 于 1902 年提出了色适应转换的基本假设,成为后来色适应转换发展的基础。色适应是指为了适应不同观察条件的不同程度辐射刺激,人眼主动作出调节的视觉机制^[12]。色适应过程是人眼维持物体相似色貌的关键,也是目前色彩研究领域的热点^[13]。虽然不同的色彩科学家提出了不同的色适应转换模型,但自从 1994 年 CIE(国际照明委员会)推出 CAT94 后,色适应转换模型也步入了标准化。随后 CIE 不断更新推出 CAT97, CAT2000, CAT02,这些标准化的转换模型不仅在研究领域得到了认可,在应用领域也得到了认可,如目前的色彩管理软件已经考虑到了色适应转换^[14]。

在 2004 年 CIE TC8-04 的技术报告中,明确提出了混合色适应这一概念。混合色适应转换过程不仅包含单纯的色适应,还包括不完全色适应(Incompletely Chromatic Adaptation)及混合色适应(Mixed Chromatic Adaptation)^[15-16]。技术报告中指出,这一色适应过程发生于同时比较软拷贝图像与硬拷贝图像时。因为在这一过程中,人眼是连续不断地反复同时观察软拷贝图像与硬拷贝图像,其中软拷贝的显示器是自发光的,硬拷贝是放在标准光源下的,同时还有周围光源的影响,所以说这一过程中人眼不可能对某一种光源完全适应,必然存在不完全色适应与混合色适应^[17-18]。

经过研究与分析,最终 CIE 将 CAT02 与 S-LMS 模型相结合,推出了适用于同时比较软拷贝图像与硬

拷贝图像的混合色适应转换模型。因为 CIE 的专业性与标准化,所以选择使用 TC8-04 技术报告中的混合色适应模型作为研究的基础,建立客观图像色差度量指标。

3 基于混合色适应转换的图像色差模型

根据以上的分析,将混合色适应过程与 SHAME 模型相结合,提出适用于客观计算软拷贝图像与硬拷贝图像之间图像色差的模型,通过 Matlab 软件编译实现。在该模型中,首先,针对 2 幅图像的不同观察环境做色适应变换,如图像 A 在 D50 显示器上显示,图像 B 的观察环境为 CIE 标准光源 D65,同时整个观察室的光源为 6500 ~ 7300 K,因此为了得到准确的人眼视觉响应值,必须首先对图像进行色适应变换;然后,对经过色适应变换的图像进行空间滤波、计算色相角的直方图,并根据直方图分配权重系数;最后求得图像 A 与图像 B 的图像色差值。

同时,针对软拷贝图像及硬拷贝图像提出该模型的适用流程,见图 4。根据流程中的主要框架,硬拷

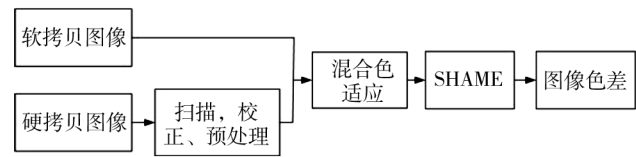


图 4 基于混合色适应的图像色差模型
计算软拷贝与硬拷贝图像色差的流程

Fig. 4 Workflow of the proposed model

贝图像的数字稿是在扫描后得到,并对扫描图像进行校正及相关预处理,然后针对实际观察环境对软拷贝图像和硬拷贝图像进行混合色适应转换,最后使用 SHAME 模型计算出图像色差。

4 实验

4.1 方法

采用排序比较方法。实验选择 15 幅具有代表性的测试图像,见图 5。实验设备: HP 10ps 喷墨打印机; HP G4050 扫描仪; i1 Pro; 艺卓显示器; 4 种不同白点的纸张; D65 标准光源的灯箱。实验观察者共 15 名,其中 10 名有经验观察者,5 名无经验观察者。



图 5 15 幅测试图像

Fig. 5 The 15 test images

实验观察装置见图 6, 15 幅软拷贝图像会在左边

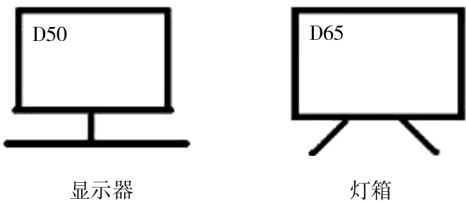


图 6 实验观察配置

Fig. 6 The experimental setup

的显示器上显示,打印在 4 种纸张上的硬拷贝图像则在右边标准光源灯箱中观察。进行每个单次实验时,软拷贝图像显示在显示器上,4 幅打印的硬拷贝图像同时展示在灯箱中。将显示器上的软拷贝图像作为参考图像,观察者从左到右排列 4 幅硬拷贝图像,最左边的表示与软拷贝图像最匹配,最右边的表示与软拷贝图像相差最大。15 名观察者分别进行 15 次观察,记录下观察结果。

4.2 结果及分析

1) 以图像 colorful 为例,15 名观察者使用排序比较 4 种纸张 A,B,C,D 上的硬拷贝图像,实验结果见表 1。

表 1 15 名观察者对图像 colorful 的观察结果
Tab.1 The observed results of 15 observers to image "colorful"

	观察者														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	1	2	1	1	3	1	2	3	2	3	1	2	1	1	2
B	4	4	2	4	1	3	1	4	1	1	3	4	3	4	3
C	2	1	3	2	2	2	3	1	4	2	2	1	4	3	1
D	3	3	4	3	4	4	4	2	3	4	4	3	2	2	4

2) 计算图像 colorful 观察结果的 Z 分值及 95% 的置信区间,见图 7。Z 值运算又称为“Z-分数”,它

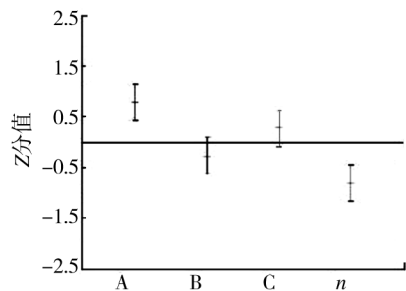


图 7 图像 colorful 的 Z 分值及 95% 置信区间
Fig.7 Z-Scores and 95% confidence interval of image "colorful"

的计算方式就是将原始分数剪掉平均分数后,再除以标准差。图像的 Z 分值越大,表示观察者认为该图像与软拷贝图像越接近。其计算式如下:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

由图 7 可知,第 1 种纸张 A 的硬拷贝图像与软拷贝图像最为接近,其次是纸张 C、纸张 B,差距最大的是纸张 D 上的硬拷贝图像。图 8 中的相关性系数显

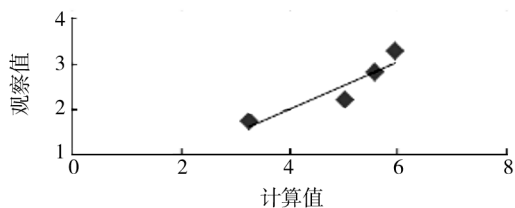


图 8 图像 colorful 的相关性比较
Fig.8 Correlation comparison of image "colorful"

示,这个结果与提出模型的计算结果在总体趋势上相

一致。因为 A 的置信区间与 C 的置信区间是重叠的,所以不能说 A 绝对比 C 更加接近软拷贝图像,仍然有可能 C 比 A 更接近软拷贝图像;但是 A 与 B 的置信区间则没有重叠,说明 A 比 B 百分之百更接近软拷贝图像。

3) 模型计算结果与视觉观察结果的相关性比较,15 幅测试图像×4 种不同纸张,共 60 组相关实验数值,见图 9。由图 9 可知,总体来说提出的基于混合

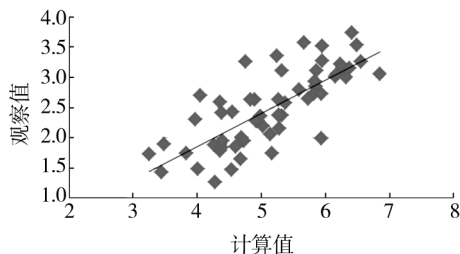


图 9 所有图像的相关性对比
Fig.9 Correlation comparison of all images

色适应的图像色差模型的计算结果,与观察者的观察结果的线性相关性较好,因此可以说明提出的模型基本可以预测人眼的视觉观察结果。

5 总结

以混合色适应变换模型为基础提出的,适用于计算软拷贝图像与硬拷贝图像之间客观色差的模型,具有可行性及有效性,可以作为比较软拷贝图像与硬拷贝图像之间图像色差的参考度量指标。同时,正因为目前跨媒体图像复制不断发展,而提出的图像色差模型针对的是评价不同输出媒介之间的图像色差,从而减少人眼观察过程中主观因素的影响,同时节省人力消耗,因此该模型具有一定的实际应用价值。

参考文献:

- [1] FAIRCHILD M D. Color Appearance Models[M]. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- [2] CIE 162:2004, Technical Report: Chromatic Adaptation under Mixed Illumination Condition When Comparing Softcopy and Hardcopy Images[S].
- [3] JOHNSON G M, FAIRCHILD M D. Darwinism of Color Image Difference Models[C]. Proc of IS&T 8th Color Imaging Conference, 2001.
- [4] 何颂华,刘真. CIELAB 色空间与色貌模型的关系[J]. 包

- 装工程,2009,30(5):68-70
- HE Song-hua, LIU Zhen. Relations between CIELAB Color Space and Color Appearance Model [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(5):68-70.
- [5] ZHANG X M, WANDELL B A. A Spatial Extension to CIELAB for Digital Color Image Reproduction[J]. Soc for Info Disp Symp Tech Digest, 1996, 27:731-734.
- [6] 王鑫, 蔡圣燕. 利用 S-CIELAB 进行再现意图选择规律的初步研究[J]. 包装工程, 2007, 28(6):82-85.
- WANG Xin, CAI Sheng-yan. Study of Regulation of Choosing Rendering Intent Utilizing S-CIELAB [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(6):82-85.
- [7] JOHNSON G M, FAIRCHILD M D. A Top Down Description of S-CIELAB and CIEDE2000[J]. Color Research and Application, 2003, 28:425-435.
- [8] HONG G, LUO M R. New Algorithm for Calculating Perceived Colour Difference of Images [J]. The Imaging Science Journal, 2006, 54:86-91.
- [9] 刘士伟, 于惠. 一种基于色相角算法的图像质量评价模型[J]. 包装工程, 2012, 33(17):94-97.
- LIU Shi-wei, YU Hui. Image Quality Model Based on Hue Angle Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17):94-97.
- [10] PEDERSEN M, HARDEBERG J Y. A New Spatial Hue Angle Metric for Perceptual Image Difference [J]. Computational Color Imaging, 2009, 5846:81-90.
- [11] HARDEBERG J Y, BANDO E, PEDERSEN M. Evaluating Colour Image Difference Metrics for Gamut-mapped Images [J]. Society of Dyers and Colourists, Color Technol, 2008, 124:243-253.
- [12] CIE 160:2004, Technical Report: A Review of Chromatic Adaptation Transforms[S].
- [13] 许向阳, 刘真, 蔡圣燕. 基于 CIECAM02 的实时色彩转换模式[J]. 包装工程, 2007, 28(8):56-59.
- XU Xiang-yang, LIU Zhen, CAI Sheng-yan. The Real Time Color Transition Mode of Base on CIECAM02 [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8):56-59.
- [14] NAYATANI Yoshinobu. Development of Chromatic Adaptation Transforms and Concept for Their Classification [J]. Color Research and Application, 2006, 31:205-217.
- [15] KATOH Naoya, NAKABAYASHI Kiyotaka. Applying Mixed Adaptation to Various Chromatic Adaptation Transformation Models[C]. IS and TS Pics Conference, 2001.
- [16] SUEEPRASAN Suchitra, LUO M Ronnier. Applying Chromatic Adaptation Transforms to Mixed Adaptation Conditions [J]. Color Research and Application, 2003, 28:436-444.
- [17] HENLEY Sharron A, FAIRCHILD M D. Quantifying Mixed Adaptation in Cross-media Color Reproduction [J]. Eighth Color Imaging Conference: Color Science and Engineering Systems, Technologies, Applications, 2009, 8:305-310.
- [18] LI C, PERALES E, LUO M R, et al. Mathematical Approach for Predicting Non-negative Tristimulus Values Using the CAT02 Chromatic Adaptation Transform [J]. Color Research & Application, 2011, 37(4):255-260.
- ~~~~~

(上接第7页)

参考文献:

- [1] 兰爽. 基于改进的 FUZZY 法的包装产品评价模式探讨 [J]. 包装工程, 2011, 32(7):37-39.
- LAN Shuang. Primary Investigation on Evaluation Model of Packaged Product Based on Improved FUZZY Method [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7):37-39.
- [2] 刘希宋, 李玥, 喻登科. 基于多视角的国防工业科技成果价值评估研究 [J]. 科学学与科学技术管理, 2007(5):31-35.
- LIU Xi-song, LI Yue, YU Deng-ke. Research on Value Evaluation of Scientific and Technological Achievements Used for Defense Industry Based on Multi-angle of View [J]. Science of Science and Management of S&T, 2007(5):31-35.
- [3] 苗治国, 郑全成. 建立商品包装评价指标体系 [J]. 上海包装, 2009(6):11.
- MIAO Zhi-guo, ZHENG Quan-cheng. Building-up of Evaluation Index System for Commodity Packaging [J]. Shanghai Packaging, 2009(6):11.
- [4] 于志慧, 丁毅. 基于灰色综合评价法的包装评价模型研究 [J]. 包装工程, 2012, 33(3):59-62.
- YU Zhi-hui, DING Yi. Study of Packaging Assessment Model Based on Multilevel Grey Evaluation Method [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(3):59-62.
- [5] 李海凌, 史本山. 基于多视角的 PFI 项目风险评估研究 [J]. 技术经济与管理研究, 2010(2):12-15.
- LI Hai-ling, SHI Ben-shan. Research on Risk Evaluation of PFI Projects Based on Multi-angle of View [J]. Technology & Management Research, 2010(2):12-15.
- [6] 杨季美, 史本山. 群体评价中的并合方法 [J]. 系统工程理论与实践, 1992(1):49-51.
- YANG Ji-mei, SHI Ben-shan. Combination Methods in Group Appraising [J]. Systems Engineering-theory & Practice, 1992(1):49-51.