

# 计算机辅助设计中的色彩调和美度评价模型

李玉凤<sup>1</sup>, 张宪荣<sup>2</sup>

LI Yu-feng<sup>1</sup>, ZHANG Xian-rong<sup>2</sup>

1. 上海理工大学 电气工程学院 上海 200031

2. 上海大学 机械自动化学院 上海 200072

1. College of Electric Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200031, China

2. Mechanical and Electronic Engineering and Automation College, Shanghai University, Shanghai 200072, China

E-mail: lcyufeng@163.com

LI Yu-feng, ZHANG Xian-rong. Color harmony aesthetic measure evaluation model for computer aided design. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(24): 110-113.

**Abstract:** Aiming at the aesthetic measure of color harmony evaluation method is based on the personal experiences, this paper uses the psychophysical and the statistical theory to analyze the mass's aesthetic cognition datum which are obtained through the experiment and gives the quantitative model for the aesthetic measure of two color match. The monotone relation between the model and the mass's aesthetic cognition is verified through the experiment. This makes the foundation of design automation and color CAD.

**Key words:** aesthetic measure of color harmony; order factor; complexity factor; paired comparison; evaluation model

**摘要:** 针对目前工程领域对色彩配色的审美评价, 仍采用凭个人经验的感性处理方式的现状, 应用心理物理学的原理, 通过实验的方法获取群体对两色配色调和美度评价认知的实验数据, 并采用统计学理论对实验结果进行分析, 给出了两色配色调和美度评价的定量化模型; 实验验证了该模型与群体的认知之间具有单调相关的关系, 该模型的研究为实现设计手段自动化和色彩 CAD 奠定了基础。

**关键词:** 色彩调和美度; 秩序因数; 复杂度因数; 对偶比较法; 评价模型

**文章编号:** 1002-8331(2007)24-0110-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

计算机辅助工业设计是目前国内外十分重视的研究方向, 其中, 色彩 CAD 是计算机辅助工业设计中的重要组成部分。目前国内外的计算机辅助色彩设计功能还比较薄弱<sup>[1,12]</sup>, 原因之一就是色彩设计中的设计评价环节定量化处理的滞后。迄今, 对于色彩设计中的调和美度评价, 仍沿袭艺术家对色彩的取舍方法, 凭借个人的感性经验<sup>[1,7]</sup>。由于色彩调和美度的评价是人对色彩配色表现形式的主观认知, 是一个高维心理量。个人对色彩配色的认知受多种因素的影响, 存在着明显的个人差与一定程度上的分散性, 因此, 任何一个个人的认知即使是对色彩具有高度敏感的设计师都无法代替群体的认知。只有建立在统计意义基础上的群体的认知规律, 才有可能成为工业产品色彩配色审美评价的依据。色彩调和美度的定量化评价已成为计算机辅助色彩设计的瓶颈。如何将工程的、科学的、量的方法应用于色彩调和美度的评价, 实现色彩设计评价的定量化, 是计算机辅助工业设计领域中必然面临和必须解决的问题<sup>[4,10]</sup>。本文的目的, 就是通过实验的方法研究配色色彩的三属性与色彩配色美度之间的定量化关系, 在此基础上得出反映群体对色彩配色美度认知规律的数学模型, 使对色彩配色好坏的主观评价进行较为精确的客观描述成为可能。

## 1 色彩调和美度的定量化评价方式

### 1.1 美度评价的数学模型

根据形式美的“美在于多样性的统一”的观点, 德国数学家伯克霍夫(G·Birkhoff)提出了表示形式美的数学模型

$$M=O/C \quad (1)$$

其中  $M$  表示美度即美的程度大小;  $O$  表示秩序因数;  $C$  表示复杂度因数<sup>[2,3]</sup>。本文将该模型应用于评价色彩调和美度, 以相同面积的两色配色为例对  $O$  与  $C$  进行了定量化取值的研究。

### 1.2 复杂度因数 $C$ 的定量化取值

对相同面积的两色配色, 当单一属性变化的两色配色样本, 其这一变化的属性非常接近时, 两色配色就近似于单色, 因此单色可作为两色配色的极限。若根据色彩数+色相差对数+明度差对数+彩度差对数来确定复杂度因数  $C$ <sup>[4]</sup>, 以单属性变化的两色配色为例, 复杂度因数  $C=3$ 。若变化的属性差逐渐减小, 变为有两个相同色彩配色, 此时复杂度因数  $C=2$ 。根据人的视觉连续的特点, 在某属性差连续变化的过程中, 配色的美度是连续变化的, 因此同为两色配色的复杂度因数不应有突变, 既然都是两色配色, 可将两色配色的复杂度因数归为 1。并且将同

色配色的秩序因数归为零,这样同色配色时,不论复杂度  $C$  如何取值,都不会引起美感计算的跃变。

### 1.3 秩序因数 $O$ 的定量化取值

对色彩调和美度的认知是人色彩调和成功程度的主观反应,是一个高维心理量,它是人对客观规律的心理反应,这种心理反映与刺激之间不是一一对应的关系,不能通过用物理尺度测量的方法求得,只能通过实验的方法获取人对色彩配色美度的认知规律。

因此,采用心理物理学的对偶比较法<sup>[9]</sup>,由实验获得对单一属性变化样本的调和美感实验值。要获得秩序因数与配色色彩单一属性变化之间的关系,根据评价形式美的数学公式  $M=O/C$ ,在美感值  $M$  与复杂度因数  $C$  确定的条件下,由秩序因数  $O$  与美感  $M$  的关系  $O=M*C$ ,确定秩序因数与色彩单一属性变化之间的关系。

## 1.4 色彩调和美感与色彩单一属性变化关系的实验求取

### 1.4.1 实验条件

(1)被试:为年龄在 18~25 岁的大学生,秩序因数与明度变化、色相变化、彩度变化研究的人数分别为 100 人、105 人和 102 人。所有被试均未接受过色彩操作的训练,实验在无报酬条件及相同环境下进行。

(2)样本:样本分三组,每组有面积均为  $8\text{ cm}\times 5\text{ cm}$  的两色配色样本 15 个,分别为仅有明度变化、彩度变化和色相变化,采用孟塞尔色体系。实验样本的配色关系如图 1 及表 1 所示。

配色样本为表 1 中的色彩,基准色分别为 5BG3/4、5R5/14 和 5R6/6。



图 1 样本配色关系

(3)实验质量控制:为提高实验结果的客观与可靠性,在实验中采取如下措施:

①被试愿意主动配合实验。在被试了解了他所应做的反映的基础上,表示愿意主动配合实验,才开始实验。

②为获取可靠的实验数据,要求被试在不经思考的条件下,凭第一感觉判断。

③样本排列顺序与属性差不能有固定规则。样本顺序的排列不能对被试产生任何暗示与定势。

(4)实验方法:按“对偶比较法”原理设计实验步骤,每次呈现给被试者两个样本,要求其凭第一感觉判断哪个样本的配色更美,对回答予以记录。

### 1.4.2 实验数据及实验结论

#### (1)秩序因数与单一属性变化的关系

各单一属性变化与配色美感(秩序因数)的关系如表 2~表 4 所示:将配色秩序因数与色彩各属性间的关系,利用最小二乘法进行曲线拟和,结果如图 2~图 4(横坐标为两配色彩色的属性差,纵坐标为秩序因数)。

由图 2~图 4 可知:群体对色彩配色美感随色彩单一属性变化的认知规律有特定的规律。既不是随属性差的增加而配色美感增大,也不是按常态分布变化。而是随属性差的增加按一定的规律变化。由配色美感及秩序因数与明度变化、色相变化与彩度变化的关系可知:

表 1(a) 明度变化样本的配色关系(基准色样本为 5BG3/4)

样本序号	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
色彩值	5BG5/4	5BG4.75/5	5BG3.5/4	5BG6/4	5BG5.5/4	5BG7/4	5BG7.5/4	5BG3.25/4
明度差	2	1.75	0.5	3	2.5	4	4.5	0.25

表 1(b) 明度变化样本的配色关系(基准色为 5B G3/4)

样本序号	V9	V10	V11	V12	V4	V13	V14	V15
色彩值	5BG3.75/4	5BG4.5/4	5BG6.5/4	5BG4.25/4	5BG6/4	5BG3/4	5BG5.25/4	5BG5.75/4
明度差	0.75	1.5	3.5	1.25	3	0	2.25	2.75

表 1(c) 色相变化样本的配色关系(基准色为 5R6/6)

样本序号	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
色彩值	10Y6/6	7.5GY6/6	5YR6/6	5R6/6	5G6/6	7.5YR6/6	7.5R6/6	5GY6/6
明度差	25	32.5	10	0	40	12.5	2.5	30

表 1(d) 色相变化样本的配色关系(基准色为 5R6/6)

样本序号	H9	H2	H10	H11	H12	H13	H14	H15
色彩值	2.5YR6/6	7.5GY6/6	2.5GY6/6	5BG6/6	10GY6/6	5Y6/6	10R6/6	10YR6/6
明度差	7.5	32.5	27.5	50	35	20	5	15

表 1(e) 彩度变化样本的配色关系(基准色为 5R5/14)

样本序号	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
色彩值	5R5/14	5R5/10	5R5/7	5R5/11.5	5R5/9	5R5/13	5R5/3	5R5/8.5
明度差	0	4	7	3.5	5	1	11	5.5

表 1(f) 彩度变化样本的配色关系(基准色为 5R4/14)

样本序号	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C5	C15
色彩值	5R5/8	5R5/4	5R5/11	5R5/5	5R5/9.5	5R5/6	5R5/9	5R5/12
明度差	6	10	3	9	4.5	8	5	2

表2 配色美学实验值与明度变化的关系

$\Delta V$	2.00	1.75	0.50	3.00	2.50	4.00	4.50	0.25	0.75	1.50	3.50	1.25	0	2.25	2.75
Z	0.38	0.39	-0.02	0.43	0.22	0.43	0.36	-0.30	0.12	0.4	0.55	0.31	0	0.28	0.41

表3 配色美学实验值与色相变化间的关系

$\Delta H$	25.0	32.5	10.0	0	40.0	12.5	2.50	30.0	7.50	27.5	50.0	35.0	20.0	5.0	15.0
Z	-0.19	0.36	-0.23	0	0.41	0.04	-0.29	0.27	-0.32	-0.16	0.08	0.54	-0.13	-0.29	0.23

表4 配色美学实验值与彩度变化的关系

$\Delta C$	0	4	7	3.5	5	1	11	5.5	6	10	3.0	9.0	4.5	8.0	2.0
Z	0	-0.33	-0.41	-0.38	-0.31	-0.34	-0.65	-0.36	-0.39	-0.54	-0.49	-0.37	-0.32	-0.33	-0.46

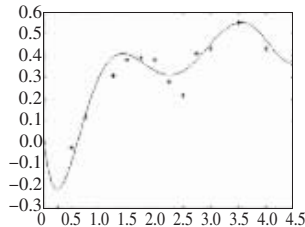


图2 秩序因数与明度变化的关系

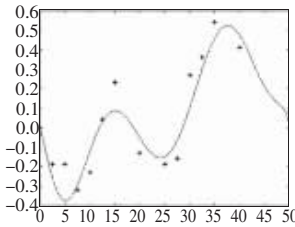


图3 秩序因数与色相变化的关系

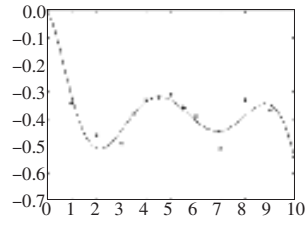


图4 秩序因数与彩度变化的关系

①秩序因数随配色色彩的属性差的连续变化而连续变化。

②群体对色彩各单一属性变化时的秩序因数的认知规律为:随着配色色彩属性差的增加,秩序因数的变化曲线出现了波峰和波谷。

③配色色彩的属性差越大,并非是秩序因数越大。

由于对偶比较法得到的尺度没有绝对零点的,只表示值之间的相对关系,且明度、色相和彩度单一属性变化的三类样本之间没有进行直接比较,因此不能确定三个单一属性变化的秩序因数对一般配色的秩序因数的贡献相同。若将单一属性变化的秩序因数用于多属性变化的两色配色调和美度计算,需要研究配色色彩的三个属性各自的秩序因数对色彩配色美度的权重。

(2)各单一属性变化的秩序因数对配色美度的贡献

为了取得三属性的秩序因数对配色美度的贡献大小,秩序因数  $O$  由式(2)确定:

$$O = K_h O_h + K_v O_v + K_c O_c \quad (2)$$

$K_h$ : 表示色相的秩序因数的权重;

$K_v$ : 表示明度秩序因数的权重;

$K_c$ : 表示彩度秩序因数的权重。

根据理论值与实验值单调相关并收敛的原则,对秩序因数进行归一化。其中三属性均变化的两色配色的复杂度因数  $C=1$ ,可以求得三个系数分别为:

$$K_v = 2.4019$$

$$K_h = 1$$

$$K_c = 0.2865$$

(3)两色配色的美度计算模型

根据上述研究,可以给出两色配色美度的计算模型为:

$$\begin{cases} M = O/C \\ C = 1 \\ O = K_h * O_h + K_v * O_v + K_c * O_c \end{cases}$$

色彩配色美学计算模型的研究,使色彩规划的量化操作成为了可能。

## 2 色彩调和美学计算模型的实验验证

衡量美学计算模型是否合理的标准是计算结果应与群体认知之间符合单调相关。对此笔者采用对偶比较法对 128 名被试进行色彩配色美度的认知进行了实验验证。

采用 8 个实验样本,每个样本为两色配色,单色块的面积为  $4.2 \text{ cm} * 6.2 \text{ cm}$ 。样本的配色关系如表 5 所示。

表5 美学模型验证的实验样本色彩属性关系

样本 1	5.1P3.56/4.8	9.5YR7.6 9/11.9
样本 2	7.5GY6.17/9.5	5.5BG5.30/8.2
样本 3	5.0B6.47/7.3	8.5RP5.62/13.8
样本 4	9.0R4.62/9.9	10Y6.54/1.4
样本 5	9.5YR7.69/11.9	7.5PB3.4/6.9
样本 6	5.5BG5.30/8.2	9.0R4.62/9.9
样本 7	5.0B6.47/7.3	5.1P3.56/4.8
样本 8	7.5GY6.17/9.5	8.5B3.99/7.3

样本的调和美学计算值和实验值如表 6 所示,计算值与实验值之间的关系如图 5 所示(横坐标为实验值,纵坐标为计算值)。

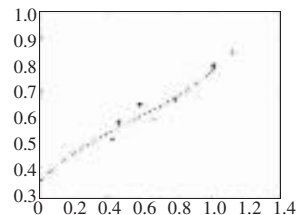


图5 计算值与实验值的关系

由图 5 可以看出,实验值与计算值之间,在一定范围内具

表6 实验样本配色美度的实验值和计算值

	样本 1	样本 2	样本 3	样本 4	样本 5	样本 6	样本 7	样本 8
实验值	1.13	0.42	0.66	0.47	1.01	0.00	0.79	0.58
计算值	0.8468	0.5215	0.5991	0.5859	0.7967	0.3670	0.6691	0.6538

有近似单调相关的联系。实验样本是随机抽取的,说明本文研究的色彩配色美度的定量化评价模型,符合群体的认知规律。

### 3 小结及今后研究方向

工业设计中产品设计师已经深刻意识到产品形式美的作用,而要实现产品的色彩形式美必需有符合群体认知的色彩美感评价依据。如何将工程的、科学的、定量的方法应用到色彩美的评价中是计算机辅助设计和人机工程领域不可回避的问题。本文的色彩调和美感评价方法的研究就是为了促进色彩设计的定量化处理而进行的基础研究,该研究的可行,对促进设计手段现代化的发展,具有一定的意义。

本文的研究只是在色彩调和美感评价定量化研究的道路上迈出一小步,仅就该问题而言还有很多问题需要进一步研究,如三色或多色配色美度的计算模型,及其与两色配色美感间的关系等。(收稿日期:2006年11月)

### 参考文献:

- [1] 王可.面向计算机辅助工业设计的色彩设计系统[J].计算机辅助设计和图形学学报,2004,16:1425-1429.
- [2] Sabin Den Kowska,Ewa J Grabaka.Application of Birkhoff's aesthetic measure to computer aided design of vases [J].Machine Graphics & Vision,1994,7(1):69-75.
- [3] David Chek Ling,Azman Samsudin,Rosni Abduliah.Aesthetic measures for assessing graphic screen[J].Journal of Information Science and Engineering,2000,16:97-116.

(上接74页)

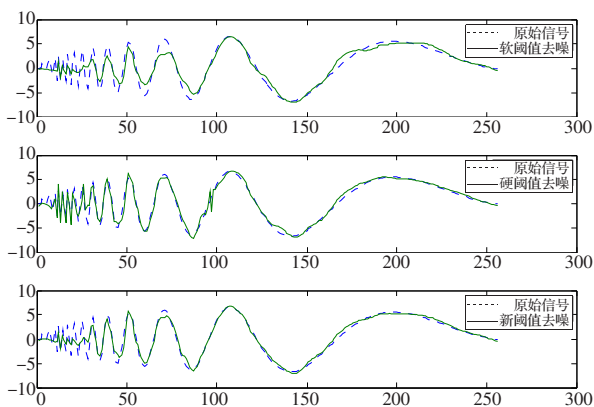


图4 Doppler信号在三种阈值函数下的去噪效果

表3 三种阈值函数方法在MMSE和SNR意义上的对比

		软阈值方法	硬阈值方法	新阈值方法
Blocks	MMSE	0.168 6	0.175 6	0.155 9
	SNR	89.110 5	85.673 2	94.466 2
Bumps	MMSE	0.046 7	0.045 7	0.041 3
	SNR	323.355 3	331.290 5	365.735 2
Doppler	MMSE	0.070 0	0.052 8	0.050 7
	SNR	215.288 2	286.734 8	297.935 4

### 5 结论

本文在传统软、硬阈值函数方法的基础上提出了一种新的阈值函数,该函数不但连续,而且具有高阶连续导数,克服了软、硬阈值函数的缺陷。同时为了达到更好的去噪效果,提出了基于白噪声 $\chi^2$ 检验的小波分解最优尺度确定方法。最后通过

- [4] 张平,高义中.工业设计的色彩量化处理[J].南京理工大学学报,1998,22(5):407-411.
- [5] 孟庆茂.实验心理学[M].北京:北京师范大学出版社,1999:127-132.
- [6] Franco, Davide.The impact of agroforestry networks on scenic beauty estimation;the role of a landscape ecological network on a socio-cultural process[J].Landscape and Urban Planning,2003,62(3):119-138.
- [7] Liu Yili.Engineering aesthetics and aesthetic ergonomics;a dual-process methodology and its applications[C]//Proceedings of the International Conference on Affective Human Factors Design.London:Asean Academic Press,2001:248-255.
- [8] Cunningham M R,Roberts A R,Barbee A P,et al.Their ideas of beauty are, on the whole, the same as ours:Consistency and variability in the cross-cultural perception of female physical attractiveness[J].Journal of Personality and Social Psychology,1995,68(4):261-279.
- [9] Paramei G V,Izmailov C A,Sokolov E N.Multidimensional scaling of large chromatic differences by normal and color-deficient subjects[J].Psychological Science,1991,2(4):244-248.
- [10] Lliu Yili.The aesthetic and ethic dimension of human factors and design[J].Ergonomics,2003,46(14):1293-1305.
- [11] 刘旻.李原产品色彩设计中的知识组织和应用[J].中国机械工程,2002,13(7):565-567.
- [12] 齐忠华.从人机工程学的角度浅谈现代工业产品的色彩设计[J].机械设计与制造,1998,5(5):24-25.

仿真实验,验证了基于白噪声 $\chi^2$ 检验确定小波最优分解尺度方法的可行性,以及在最优分解尺度下,新阈值函数在最小均方误差(MMSE)和信噪比(SNR)意义下均优于传统的软、硬阈值函数方法。从本文可以得出结论:阈值、阈值函数、分解尺度都是影响小波阈值去噪效果的关键因素。

(收稿日期:2007年1月)

### 参考文献:

- [1] Donoho D L,Johnstone I M.Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage[J].Biometrika,1994,81:425-455.
- [2] Donoho D L.De-noising by soft-thresholding[J].IEEE Trans on Information Theory,1995,41(3):613-627.
- [3] Zhang Xiao-ping,Desai M D.Adaptive denoising based on SURE risk[J].IEEE Signal Processing Letters,1998,5(10):265-267.
- [4] Yoon Byung-jun,Vaidyanathan P P.Wavelet-based denoising by customized thresholding[C]//ICASSP,2004,2:925-928.
- [5] Li Su,Zhao Guoliang.De-noising of ECG signal using translation-invariant wavelet de-noising method with improved thresholding[C]//Proceedings of the 2005 IEEE,Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference,2005:5946-5949.
- [6] Song G,Zhao R.Three novel models of thresholding estimator for wavelet coefficients [C]//2nd International Conference on Wavelet Analysis and Its Applications.Berlin: Springer-Verlag,2001:145-150.
- [7] 潘泉,戴冠中,张洪才,等.基于阈值决策的子波域去噪方法[J].电子学报,1998,26(1):115-117.
- [8] 丰颜,高国荣.小波阈值消噪算法中分解层数的自适应确定[J].武汉大学学报:理学版,2005,51(S2):11-14.