

跨媒体复现中 CIECAM02 背景预测性能评价

张 茜¹, 刘 真¹, 张建青^{1,2}

(1. 上海理工大学出版印刷与艺术设计学院, 上海 200093; 2. 上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘 要: 为了研究跨媒体复现中 CIECAM02 的背景预测性能, 基于双目同时的视觉匹配实验, 获得显示器软拷贝与不同中性灰背景下硬拷贝的视觉匹配数据, 分析了中性灰背景对颜色外貌的影响, 并利用实验数据对 CIECAM02 的背景预测性能做了评价. 实验结果表明: 背景明度主要诱导色块明度和彩度的变化, 对色相略有影响. 明度、彩度、色相三者中, 明度改变最明显, 背景越暗, 诱导色块越亮, 随着背景明度变暗, 背景明度的诱导绝对量趋于稳定; 彩度变化幅度不大, 但是不符合色诱导规律; 而色相基本不变. CIECAM02 可以解释背景明度对明度的诱导现象, 但不能解释对彩度的诱导现象, 且背景参数不能准确反映背景对颜色的影响, 有待于修正.

关键词: 跨媒体; 双目同时; 视觉匹配; CIECAM02

中图分类号: TS801.3

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2015)10-1918-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2015.10.006

CIECAM02 Performance on Cross-Media Color Reproduction Under Different Background

ZHANG Xi¹, LIU Zhen¹, ZHANG Jian-qing^{1,2}

(1. College of Communication and Art Design, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to explore cross-media color reproduction performance on background parameters of CIECAM02, visual color matching experiments based on simultaneous-binocular viewing method are implemented to obtain a set of corresponding color data between monitor and printer. The data was used to analyze background influences on color appearance and test performance of CIECAM02. Results show that background lightness is mainly effective in lightness and chroma. The influence of background lightness is stabilized when its brightness changed from white to black. Chroma changed slightly, but the rule does not meet the color induction. CIECAM02 can explain simultaneous induction of lightness, but not the induction of chroma. And it can't predict the color appearance exactly; its background parameter should be further corrected.

Key words: cross-media; binocular simultaneous matching; visual matching; CIECAM02

1 引言

人眼对颜色的感觉是一个复杂的心理物理过程, 既涉及外界物体本身的物理特性, 又涉及其所在的周围环境、照明条件以及其它心理因素, 因此同一个颜色刺激在不同的环境及背景下可引起不同的颜色感觉^[1,2], 这一现象为跨媒体颜色信息的保真复制带来一定的难度.

色貌模型的提出为跨媒体准确复制提供了一种解决方法, 色貌模型是指可以预测多种观察条件下的色貌属性的数学模型, 目的是保持颜色属性的可预测性和色貌一致性^[3,4]. 国际照明委员会于 2004 年推荐并发布了 CIECAM02^[5]模型应用于色彩管理. 自从 CIECAM02 发布以来, 开展了大量的应用研究, 包括色空间均匀性、色差

评价、环境参数评价等^[6~8], 但是针对 CIECAM02 的背景预测性能研究较少, 而背景因子是 CIECAM02 最基本的输入参数之一, 它的值会直接影响 CIECAM02 的预测性能, 且背景是影响人眼感觉的最基本的因素, 因此, 确保背景参数预测准确性是非常有必要的.

由背景变化引起颜色刺激的色调漂移的现象, 称之为色诱导现象^[9,10], 如图 1, 图中为相同色度值的灰色色块, 但是在不同背景下的颜色感知是不同的, 在黑色背景下的灰色块看起来更亮一些, 在白色背景下显得暗一些. 为了深入研究背景色诱导规律以及 CIECAM02 的背景预测性能, 本文在软拷贝与不同明度中性灰背景的硬拷贝之间进行跨媒体颜色匹配实验, 获得不同背景的对色数据, 分析背景亮度的不同产生的诱导现象以及

CIECAM02 的背景预测特性,以期实现对 CIECAM02 背景参数的修正.

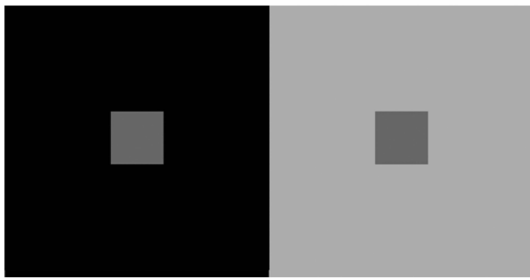


图1 色诱导现象

表 1 不同背景匹配色块 Lab 值与平均值间色差极大值

| | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| 颜色 | Gr | R | HC-R | O | HC-O | Y | HC-Y | YG | HC-YG |
| 色差 | 1.72 | 1.69 | 1.80 | 2.01 | 1.50 | 0.82 | 2.35 | 2.30 | 1.81 |
| 颜色 | G | HC-G | BG | HC-BG | B | HC-B | P | HC-P | |
| 色差 | 2.13 | 2.32 | 1.87 | 1.70 | 1.42 | 1.73 | 1.85 | 2.16 | |

打印样本由 Epson7910 打印,色块和背景的尺寸分别为 4cm * 4cm、20cm * 20cm. 五种背景下打印稿 17 种颜色的平均 Lab 值如表 2 所示.

2.2 实验设备及观察条件

使用 Eizo 专业显示器和 Mecheth Judge II 型号灯箱. 采用的 Eizo 专业显示器具有优秀的通道独立性、色品稳定性、时间均匀性和空间均匀性,并且色域比较大,能够复现较广范围的颜色,显示器色温校正 D65,软拷

2 视觉匹配实验方法

2.1 打印样本制作

为获得不同背景下的对应色数据,需要在液晶显示器上匹配打印样本颜色,首先要制作不同背景下的打印稿,硬拷贝匹配颜色选择 CIE 推荐的 17 种颜色中心^[11],包含了从低明度到高明度、低彩度到高彩度的不同颜色,背景采用明度等级为 0、20、50、75、100 的中性灰,则五种背景下的同一色块需打印 5 次,17 种硬拷贝颜色不同背景下 Lab 值与平均 Lab 值间的色差最大值如表 1,不同背景间色块色差值都在 2.4 以下,在人眼可觉察的范围之内.

贝色块背景设置为明度等级为 50 的中性灰;灯箱使用 D65 光源,灯箱内壁为中性灰,由于实验中显示器和灯箱都为 D65 状态,因此采用双目同时的视觉匹配方法,显示器和灯箱并排平行放在观察者视场中,使观察者能同时使用两只眼睛来观察原始和再现图像,实验示意图如图 2 示. 实验中采用 45/0 观察视角,使人眼与观察色块成垂直关系,观察距离为 115cm,与色块和背景分别成 2°、10°视角,匹配条件如表 3.

表 2 硬拷贝色块的 CIELAB 参数

| 序号 | 颜色 | L | a | b | C | H | 序号 | 颜色 | L | a | b | C | H |
|----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 1 | Gr | 60.32 | 1.85 | 0.80 | 2.01 | 23.4 | 10 | G | 56.28 | -29.05 | 2.04 | 29.11 | 176.0 |
| 2 | R | 41.89 | 36.44 | 22.73 | 42.94 | 32.0 | 11 | HC-G | 56.39 | -40.79 | 3.74 | 40.96 | 174.8 |
| 3 | HC-R | 40.90 | 56.48 | 31.41 | 64.62 | 29.1 | 12 | BG | 48.19 | -10.62 | -9.82 | 14.46 | 222.8 |
| 4 | O | 61.68 | 12.17 | 22.11 | 25.23 | 61.2 | 13 | HC-BG | 49.69 | -24.89 | -19.32 | 31.50 | 217.8 |
| 5 | HC-O | 61.21 | 33.04 | 63.48 | 71.56 | 62.5 | 14 | B | 33.96 | 11.34 | -28.66 | 30.82 | 291.6 |
| 6 | Y | 85.01 | -10.96 | 46.75 | 48.01 | 103.2 | 15 | HC-B | 32.39 | 17.14 | -42.82 | 46.12 | 291.8 |
| 7 | HC-Y | 85.53 | -16.92 | 75.29 | 77.16 | 102.7 | 16 | P | 43.85 | 14.64 | -10.13 | 17.80 | 325.3 |
| 8 | YG | 63.99 | -11.13 | 14.75 | 18.48 | 127.0 | 17 | HC-P | 44.93 | 29.61 | -24.56 | 38.46 | 320.3 |
| 9 | HC-YG | 65.06 | -31.57 | 42.37 | 52.84 | 126.7 | | | | | | | |

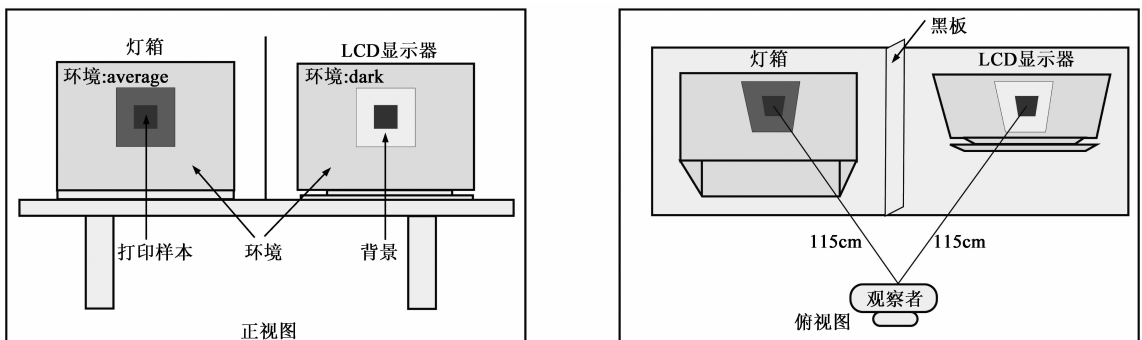


图2 实验示意图

表 3 匹配实验的匹配条件

| | Illuminant | Surround | Yb | LA | White |
|--------|------------|----------|-------|----|-------------------|
| 硬拷贝打印稿 | D65 | Average | 0.53 | 18 | (83.8 88.3 98.1) |
| | | | 2.66 | 18 | |
| | | | 15.05 | 18 | |
| | | | 46.50 | 18 | |
| 软拷贝 | D65 | Dark | 88.26 | 18 | (90.6 97.3 105.1) |
| | | | 19 | 19 | |

实验开始前首先对显示器预热 1 小时,确保显示器显示颜色充分稳定,并采用线性分段插值 PLVC 模型对显示器进行特征化,保证显示器与打印体显示初值相匹配,特征化精度如表 4 所示,平均色差为 0.89,对于色貌评价试验而言,该精度是可以接受并且有效的。

表 4 显示器特征化精度

| Mean | Max | Min |
|------|------|------|
| 0.89 | 1.27 | 0.41 |

2.3 颜色匹配方法

视觉匹配实验采用双目同时^[12]的心理物理学实验方法,观察者为 4 男 3 女,视力矫正正在 1.0 及以上的色彩学专业研究生,平均年龄 24 岁,都通过了 FM100-Huetest 色觉测试实验.实验开始前对观察者进行训练,让其在暗室中熟悉颜色匹配的流程,并能熟练掌握调色软件。

2.4 颜色匹配流程

(1)首先要求观察者同时观察显示器和灯箱环境中中性灰刺激 1min.

(2)双目同时观看硬拷贝和软拷贝,若人眼感受不相同,则在调色软件中,对色块色貌属性色相、明度、饱和度进行调整。

(3)重复 1-2,直到人眼感觉硬拷贝和软拷贝的颜色一致,把匹配好的色块进行保存。

(4)重复 1-3 匹配其他硬拷贝。

2.5 数据获取

(1)匹配色块颜色信息获取

实验完成后可得到五个背景下的匹配颜色,分别是硬拷贝背景明度 L 等级为 0、20、50、75、100 时,在显示器上进行视觉匹配后得到的色块.用 CS-2000 光谱辐射度计测量匹配后的色块及硬拷贝、软拷贝背景的 XYZ 三刺激值,测量环境与匹配实验的环境保持一致,测量仪器与显示器的距离、高度也应与匹配实验时人眼视线保持一致.背景参数如表 5.

(2)数据的可靠性分析

采用 Breneman 对应色实验数据可靠性分析方法^[13]分析观察者数据的可靠性,通过计算 u 、 v 均方根差,均

方根差越小越好.视觉匹配实验完成后,可以得到 7 名观察者在 5 组实验背景下 17 个颜色样本的匹配色块,用 CS-2000 测量实验后软拷贝的 XYZ 值,由此可以计算出每个测量值的 u 、 v 值,从而计算出每组实验每个颜色 7 名观察者间的 u 、 v 均方根差,实验中 u 、 v 均方根差最大值分别为 0.011、0.022,远小于 Breneman 数据中 u 、 v 均方根的最小值 0.23、0.33,因此认为本实验的数据是有效的。

表 5 实际背景参数

| 背景 L 等级 | 背景实际 L 值 | XYZ 三刺激值 | | | Lab 值 | | | |
|---------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 硬拷贝 | 0 | 4.79 | 0.53 | 0.53 | 0.58 | 4.79 | 1.08 | -0.04 |
| | 20 | 18.63 | 2.57 | 2.66 | 2.74 | 18.63 | 0.82 | 1.09 |
| | 50 | 45.70 | 14.97 | 15.05 | 15.49 | 45.70 | 0.93 | 1.18 |
| | 75 | 73.91 | 44.06 | 6.56 | 49.69 | 73.91 | -0.56 | 1.03 |
| | 100 | 95.27 | 83.84 | 88.26 | 98.14 | 95.27 | -0.08 | -1.35 |
| 软拷贝 | 50 | 50.73 | 17.20 | 18.53 | 20.72 | 50.13 | -2.23 | -1.02 |

3 实验结果分析

不同的颜色放在一起时会相互影响,并相应的改变人眼感觉,因此相同物理刺激量的色彩放到不同的背景下时,会产生不同的视觉效果,即背景不同会引起刺激的色貌漂移,也就是色诱导现象。

将测量后不同背景下匹配的软拷贝的三刺激值,计算对应的明度 L、彩度 C、色相 h 的值。

(1)明度诱导

图 3 为 17 个颜色中心明度值随背景明度变化的趋势图,每一条曲线代表一种明度等级的 17 个颜色。

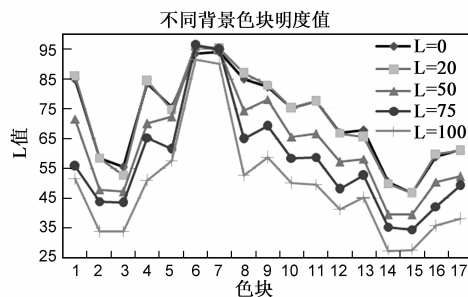


图 3 明度值变化趋势图

大部分软拷贝匹配色块的明度值随硬拷贝背景的改变而改变,硬拷贝背景明度值越大,则匹配色块的明度值越小,反之,则越大,验证了明度诱导现象,即具有相同色度值的色块在黑色背景下要亮一些,在白色背景下要暗一些,因此,若要保持在不同背景下具有相同色貌,则在暗背景下颜色要调暗,在亮背景下,颜色也应该调亮;当硬拷贝明度等级为 0 和 20 的时候,其软拷

贝匹配色块的明度值基本保持一致,这是由于人眼对暗色调的颜色外貌感知不敏感所致,即当硬拷贝背景明度值达到某一值时,人眼感受到的色诱导的量的趋于平稳;黄色和高彩度黄色的明度值变化不明显,即在匹配实验时,只需稍作调整,硬拷贝和软拷贝的颜色外貌就看起来一致,是由于人眼本身对黄色区域不敏感所致。

(2)彩度

计算软拷贝匹配色块的彩度与硬拷贝原始色块的彩度差,得到不同背景彩度间的关系如图 4,横坐标为 17 个颜色色块,纵坐标为对应的彩度差

灰背景的明度值的改变会诱导色块的彩度发生变化,当背景颜色为白色时,会诱导色块的彩度减小,但是当背景为中性灰时,并不遵循色诱导规律,从图中可以看出 L=50 和 L=20 时的彩度基本都大于 L=0 时的彩度,并且 L=50 时的彩度最大,与色诱导现象相违背;出现这种现象的原因可能是硬拷贝软拷贝的背景明度相接近时,若两背景中间的色块颜色相近,人眼视觉感

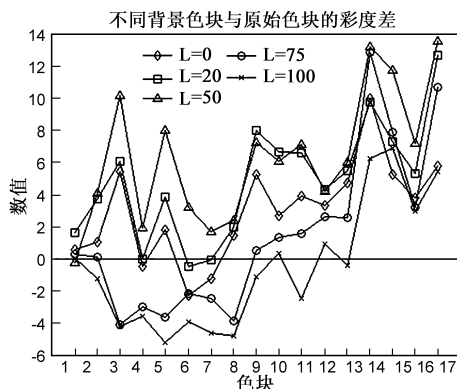


图4 彩度变化趋势

受其彩度对比增强,因此在进行主观匹配时,其调整的彩度值增大,并且高彩度的颜色的彩度对比增强程度比低彩度颜色更大。

(3)色相

由于中性灰颜色没有色相的概念,因此对色相分析时去掉第一个中性灰色块,剩余为 16 个彩色色块.表 6 为每个色块 5 个背景下计算的色相极差值。

表 6 色相极差值

| 色块 | R | HC-R | O | HC-O | Y | HC-Y | YG | HC-YG | G | HC-G | BG | HC-BG | B | HC-B | P | HC-P |
|----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-------|-----|------|-----|-------|-----|------|-----|------|
| 极差 | 5.4 | 2.0 | 2.1 | 1.7 | 2.9 | 2.0 | 5.2 | 2.2 | 5.6 | 2.8 | 3.5 | 4.5 | 5.1 | 5.5 | 2.1 | 1.5 |

将不同背景下软拷贝匹配色块的色相值减去硬拷贝原始色块色相值,并作出其色相差散点图,如图 5 所示,横坐标为 16 个彩色色块,纵坐标为其对应的色相差值

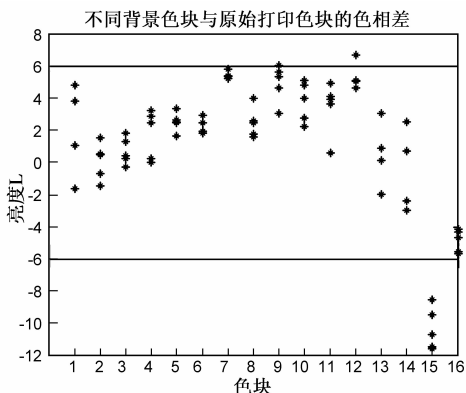


图5 色相比较

背景明度不同会引起颜色色相的变化,但是其变化范围都在 6 以内,变化幅度不大,根据色诱导现象,人眼感受的颜色值相当于一部分背景颜色的对立色加在了样品上,但是硬拷贝背景为中性灰,理论上色块的色相不发生改变,但是由于人眼匹配实验不可控因素较多,存在误差是必然的,因此,不同背景色相值间的差异可能是由于实验误差所致.匹配颜色与原始打印颜

色的色相差也很小,只有紫色的差别很大,是由于紫色在显示器色域之外的缘故。

(4)用对应色数据评价 CIECAM02 的背景预测性能

CIECAM02 模型考虑到了背景亮度的影响,背景因子 Yb,为了评价 CIECAM02 背景预测的准确性,利用主观实验得到的相同光源下的背景对应色对 CIECAM02 的背景因子 Yb 进行评价.表 7 为 CIECAM02 模型计算时参数设置

表 7 CIECAM02 模型参数

| | Surround | Yb | Yw | LA |
|------|----------|-------------------|-------------------|----|
| 正向模型 | Average | 0.5/2.7/15.0/88.3 | (83.8 88.3 98.1) | 89 |
| 反向模型 | Dim | 19 | (90.6 97.3 105.1) | 19 |

首先在 CIECAM02 色貌模型中,输入原始色块的三刺激值,改变背景影响因子 Yb,发现输出的色貌属性中 J 和 C 的值在改变,而色相角 h 不发生改变,也就是背景明度的改变不诱导色相的变化,与实验结果中色相变化较小的状况相吻合,CIECAM02 对色相的预测较准确。

理想状况下,色貌模型的正向输入值为硬拷贝打印色块的 XYZ 三刺激值,输出值为软拷贝匹配值在对应背景下的 XYZ 三刺激值,则根据正向色貌模型可以得到硬拷贝在对应环境下的色貌属性值 JC,利用反向

色貌模型的逆过程也可以得到软拷贝匹配色块的色貌属性值 JC, 两个 JC 的值应该完全相同. 图 6 分别为 CIECAM02 的预测明度和预测彩度, 每个图中画出了散

点和 45 度线, 散点越靠近 45 度线, 其预测效果越好, 从散点分布状态可以看出, 对明度的预测稍好, 彩度的预测较差.

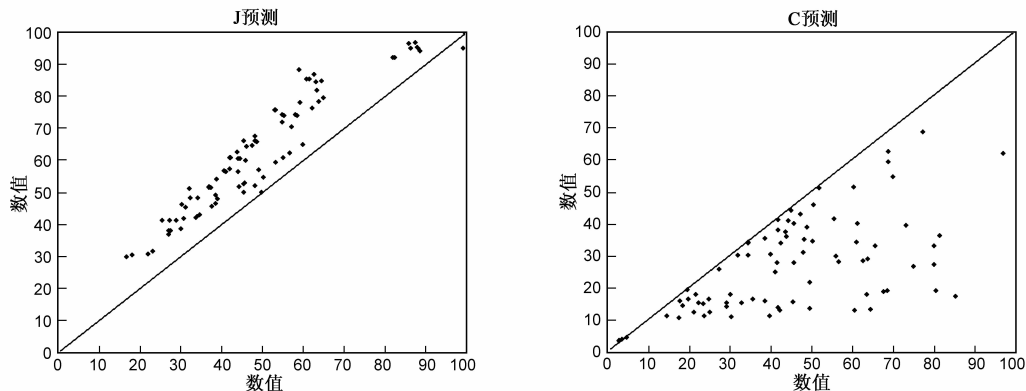


图6 CIECAM02预测明度彩度表现

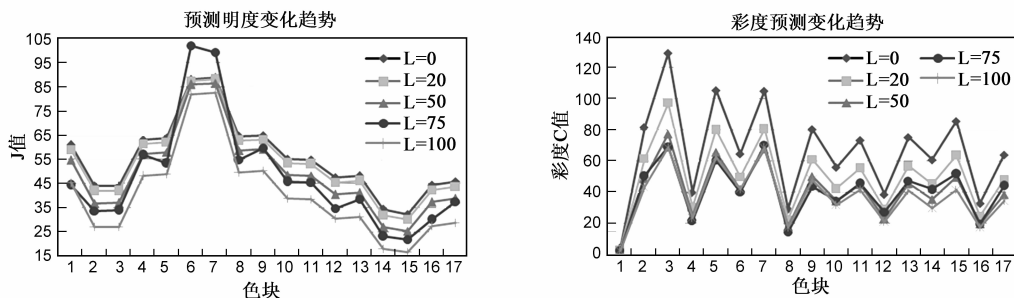


图7 CIECAM02预测明度彩度变化趋势

图 7 为五个背景下 CIECAM02 的预测明度和彩度的变化趋势, CIECAM02 预测的明度值和彩度值都随背景明度的增大而减小, 即其可以预测明度诱导现象, 但是当背景颜色较暗时, 其预测性能与实际实验得到的规律有差异, 对彩度的预测不准确. 因此 CIECAM02 数学模型并不能正确反应人眼的视觉细胞响应, CIECAM02 的背景因子有待于进一步改进.

4 结论

论文通过视觉匹配实验得到不同背景下的对应色数据, 利用对应色数据分析了背景对颜色外貌的影响, 并对对应色数据对 CIECAM02 的背景预测性能做了评价, 得到以下结论.

大部分软拷贝匹配色块的明度值随硬拷贝背景明度的增大而增大, 但是当背景明度值较暗时, 明度诱导现象不明显; 黄色和高彩度黄色的明度诱导现象不明显, 是由于人眼本身对黄色区域不敏感所致.

背景明度的变化对匹配颜色彩度的诱导与色诱导理论有一定的差异, 当硬拷贝背景为白色时, 人眼会感觉色块变暗淡, 但是当硬拷贝背景为与软拷贝背景明度值相接近的中性灰时, 若两背景中间的色块颜色相近, 人眼视觉感受其彩度对比增强, 并且高彩度的颜色

的彩度对比增强程度比低彩度颜色更大.

人眼感受的颜色值相当于一部分背景颜色的相反色加在了样品上, 但是硬拷贝背景为中性灰, 理论上色块的色相不发生改变, 但是由于人眼匹配实验不可控因素较多, 存在误差是必然的, 因此, 不同背景色相值间的差异可能是由于实验误差所致, 而实际色相应该不变.

CIECAM02 对背景明度变化引起的色貌属性明度、彩度的变化量的预测性能较差, 其可以解释明度诱导现象, 但是预测彩度与实际实验有差异, 总体上并不能正确反应人眼的视觉细胞响应, CIECAM02 的背景因子有待于进一步改进.

参考文献

- [1] 吴旭东, 石俊生, 云利君. 一组显示器与打印体对应色数据及其色适应模型评价[J]. 光学学报, 2011, 31(5): 0533001.
Wu Xudong, Shi Junsheng, Yun Lijun. New set of corresponding colors data between monitor and printer and evaluation of chromatic adaptation transforms[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(5): 0533001. (in Chinese)
- [2] 卢沧龙, 徐海松, 宫睿. 不同环境参数下 CIECAM02 的跨

媒体颜色复现性能[J]. 光学学报, 2012, 32(7): 0733001.

Lu Canglong, Xu Haisong, Gong Rui. CIECAM02 performance on cross-media color reproduction in different surround conditions[J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(7): 0733001. (in Chinese)

- [3] Mark D Fairchild. Color Appearance Models[M]. USA: Addison Wesley Inc, 1998.
- [4] 廖宁放, 石俊生, 吴文敏. 数字图文图像颜色管理系统概论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009. 144 – 150.
Liao Ningfang, Shi Junsheng, Wu Wenmin. An Introduction to Digital Color Management System[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2009. 144 – 150. (in Chinese)
- [5] N Moroney, M D Fairchild, R W G Hunt, et al. The CIECAM02 colour appearance models[A]. Proceedings of the 10th of CIC[C]. Scottsdale, USA, 2002. 23 – 27.
- [6] Changjun Li, M Ronnier Luo, Michael R Pointer. Recent progress with extensions to CIECAM02 [A]. Proceedings of Seventeenth Color Imaging Conference on Color Science and Engineering Systems, Technologies, and Applications[C]. Albuquerque, New Mexico: Society for Imaging Science and Technology, 2009. 69 – 74.
- [7] Changjun Li, M Ronnier Luo, Guihua Cui. Colour-difference evaluation using colour appearance models[A]. Proceedings of Eleventh Color Imaging Conference: Color Science and Engineering Systems, Technologies, Applications [C]. Scottsdale, Arizona: Society for Imaging Science and Technology, 2003. 127 – 131.
- [8] Luo M R, Cui G H, Li C J. Uniform colour spaces based on CIECAM02 colour appearance model[J]. Color Research and Application, 2006, 31(4): 320 – 330.
- [9] M A Webster, G Malkoc, S M Webster. Color contrast and contextual influences on color appearance[J]. Journal of Vision, 2002, 2(6): 505 – 519.

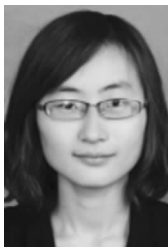
[10] Rafaël Nicolas, Alain Trémeau. Background Influence on Color Appearance[A]. Proceedings of 3rd European Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision[C]. Leeds: Society for Imaging Science and Technology, 2006. 420 – 425.

[11] K Witt. CIE guidelines for coordinated future work on industrial colour difference evaluation[J]. Color Research and Application, 1995, 20(6): 399 – 403.

[12] L L Thurstone. A law of comparative judgment[J]. Psychological Review, 1994, 101(2): 202 – 270.

[13] Edwin J Breneman. Corresponding chromaticities for different states of adaptation to complex visual fields[J]. Opt Soc Am A, 1987, 4(6): 1115 – 1129.

作者简介



张 茜 女, 1990 年 9 月出生, 山东潍坊人, 上海理工大学硕士研究生, 主要研究方向为色彩管理、颜色信息复制.

E-mail: zhangxirizhao@163.com



刘 真(通讯作者) 女, 1953 年 1 月出生, 江苏泰州人. 上海理工大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为数字图文信息处理、色彩再现理论与应用、印刷数字化工作流程.

E-mail: lunaprint@163.com