

对比度和白场设定对图像色彩度视觉感知影响的研究

尹涵春·夏军·刘璐

(东南大学显示技术研究中心,南京 210096)

摘要 由于显示器件(如电视机显示屏)的性能评判是与人的主观感觉不可分离的,所以它的研发方向也应应以观察者的感受为指导,但由于不同文化背景的人的主观感觉有可能存在差异,因此研究这种差异对理解如何进一步改进显示器性能有着重要的指导意义。为了解不同观测者的视觉感知差异,通过对彩色电视机上显示的静态图片进行的主观视觉评价实验,研究了不同对比度和白场设置对图像色彩度视觉感知的影响^[1],并通过统计分析,发现了人们普遍喜好色彩饱和度大的图像这一结论,同时也得到了人们对不同白场设置和对比度等的喜好情况。实验中,首先将观察者分成专家(对显示器件原理以及色度学了解较多的人)和非专家两组进行评分,结果表明,专家评分的绝对值均值小于非专家的评分,这说明专家不能在大范围内区分不同的图像;最后将该结果与荷兰飞利浦研究所所做的相似实验作了比较,得到了东西方不同文化背景下视觉感知的差异的分析结果,但是对于CRT显示器件而言,高对比度将会产生较大的光点,而关于对比度与清晰度之间存在矛盾需要在以后的研究中进行证实。

关键词 色彩度 对比度 白场设置

中图分类号: TN873 O432.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2004)11-1309-05

Study on the Influence of the Contrast and White Point Setting to the Perceived Image Colorfulness

YIN Han-chun, XIA Jun, LIU Lu

(Information & Display Technology Center, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract The assessment of the performance of an display i. e. TV set strongly depends on human visual perception which directs. The research and development of the display. The visual perception is influenced by one's different culture background. Study on the difference helpful to understand how to improve the characters of display sets. In this paper, a special experiment is performed, in which, a set of still pictures is displayed on a pair of colour TV sets, and the are asked to assess the image colorfulness for different white point setting and different contrast. Analysis of the evaluation results, indicatis that most people like the more colour saturated picture. Then from the results, the preferred white point setting and contrast can be got. The evaluators are divided into two parts; expert and non-expert. The results shows that the mean value from experts is smaller than that from non-experts. Comparisons of the results with similar experiment done by Philips research. An analytical result is obtained for visual perception study on people of different cultural background between the east and the west countries.

Keywords colorfulness, contrast, white point setting

1 引言

在对各种显示器件的研究过程中,人们已经意

识到显示器件是一种特殊的器件,由于可通过人类主观视觉感受来评价其质量和性能,因此,结合人们在显示屏前的主观感觉来分析研究其质量,已成为判断显示器件性能指标的一种重要研究方法,而不

再是单纯盲目地提高其物理指标。荷兰飞利浦公司在这方面已经进行了不少研究,东南大学显示技术研究中心作为与飞利浦公司合作的国内唯一显示技术研究中心,与他们一起进行了一系列的视觉感知研究。这是一门包括心理学、统计学和工艺技术在内的新课题,即先由测试者对显示图像给出主观感觉评估,然后用统计学方法进行分析,把影响感知的因素分解成具体技术指标。

显示器显示图像的质量综合评价指标受诸多因素的影响。这些因素在一定分辨率下,最重要的有对比度和白场设置,本文就是研究对比度、白场设置以及它们之间的相互作用对图像色彩度视觉感知影响,而且在研究中把重点放在电视机上(面向休闲观赏的情况)。

2 实验方案

2.1 图像设定

本实验用屏中心相距 95cm 的同样性能的两台飞利浦生产的 32 吋 16:9 的超平彩色电视机。经过改造设置,其可以显示不同对比度和不同白场坐标的图像。其中一台用于显示参考图像作为评估基准,另一台显示请评估者评估的同一内容的图像。评估

者离电视机屏幕的距离是 2.25m,他与两台电视机屏幕中心组成一定视角。

设定的标准对比度 $C_{reference}$ (实验用参考值)为

$$C_{reference} = 57$$

另外设定了 3 个测试对比度

$$C_1 = 69$$

$$C_2 = 80$$

$$C_3 = 46$$

即两个高对比度,一个低对比度。图像的白场设置 $W_{reference}$ 用色度坐标 (x, y) 来表示,本文设定的标准白场坐标为

$$W_{reference} = (0.289, 0.299)$$

另外两个有偏差的测试白场坐标为

$$W_1 = (0.303, 0.314) \quad (\text{偏红})$$

$$W_2 = (0.270, 0.280) \quad (\text{偏蓝})$$

测试用的图像见图 1(a),图 1(b),图 1(c),图 1(d)。实验中,参考图像始终设在标准对比度和标准白场上,而被评估的图像则有 4 种对比度和 3 种白场坐标,共 12 种组合。若将 4 种对比度和 3 种白场作用于 4 幅图像,则共有 48 种不同条件的图像,随机取出其中 36 幅,并随机排列顺序。本文实验中的对比度和白场坐标取值都和飞利浦公司在荷兰的实验条件一致,图像的选取也与他们相同,以便有可比性。

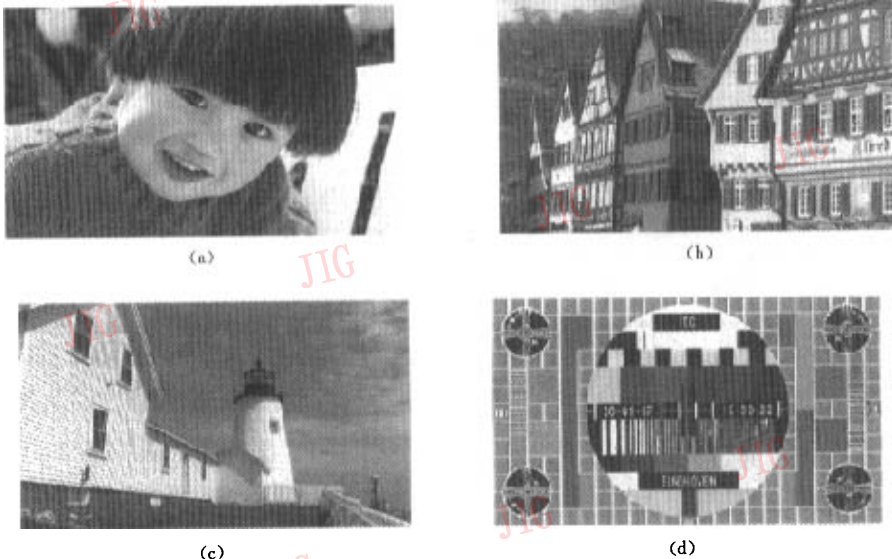


图 1 测试用图像

2.2 实验环境

实验室要求有特殊的灯光照明装置,即可以任意调节室内亮度和色温。为了使实验准确有效,实验

的照明条件要求与人们在日常生活中的情况一致。实验时,首先重复了飞利浦公司在荷兰做实验的条件,即屏前垂直方向亮度为 65lx(图 2 中 L_1),背景

亮度为 150 lx(图 2 中 L_1);但通过统计调查得出的中国家庭一般看电视的照明条件,相对前面的设置低许多,如屏前亮度为 20 lx(图 2 中 L_2),背景亮度

为 17 lx(图 2 中 L_2),因此实验采用上述荷兰与中国的两种环境光分别进行了测试。图 2 给出了实验条件的直观示意图。

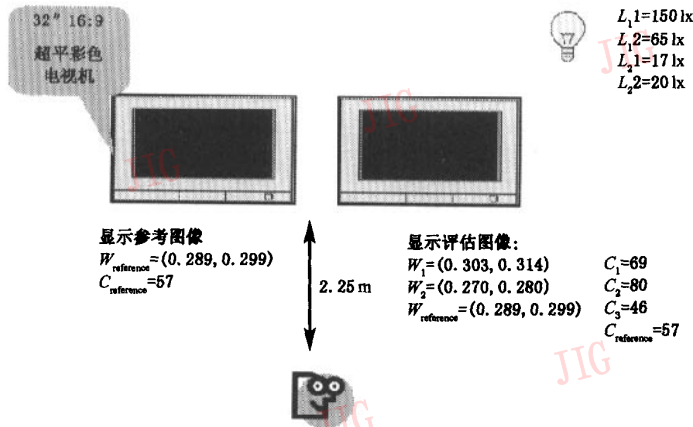


图 2 实验条件设定

2.3 评估者

为具有普遍性,本实验每次邀请的 20 位评估者分别具有不同的年龄、性别、职业和文化背景,他们年龄分布从 22 岁到 67 岁;男女各 10 位;文化程度从小学到博士。其中 8 位是“专家”,即有观察 CRT 图像再现的工作经验;12 位是“非专家”,他们工作各异,但都不熟悉评测图像。测试前,所有参加评估的人员都要通过视力测试和色盲检验。实验中,先请他们对比参考图像,为评估图像评分^[2],评分共分 11 级,感觉比参考图像好的按其好的程度分别给以 1 分至 5 分,感觉差的则分别给以 -1 分至 -5 分,感觉相同的给零分;然后用统计学方法对评估结果进行分析,最后得出结论。

实验共进行 3 组,评估者分别为评估图像的色彩度、清晰度和图像总体质量进行评分。而在每次正式开始实验并打分之前,评估者都要接受一个小训练,即将概括了参数范围的 4 幅图片展示给测试者,用以帮助他们区别图像,并学会如何使用打分表。

3 实验结果的统计分析

对于实验数据,首先用“单样本 t 检验”(single sample t-test)^[3]研究了对比度和白场设定对人们感觉到的图像色彩度视觉感知影响,设 α 为判定 p 值是否有统计意义的临界水平值,当设定的临界水平值 $\alpha=0.05$,即 $p<0.05$ 时,则表明人们对评估图像的感受与对参考图像的感受是不同的,或称该结果

有统计意义。本实验扩大了限制,如果 $0.05<p<0.1$,则认为具有近似统计意义;反之, $p>0.1$ 时,则表示这种对比度和白场坐标设定的变化,人们感觉不到。

分析结果见表 1。表中带阴影的数据是标准设定,即标准对比度和标准白场设定;黑体数字对应的 p 值小于 0.1。

表 1 “单样本 t 检验”结果的 p 值

白场坐标	对比度	图 像				测试图像
		小男孩	德国房子	灯塔		
(0.289, 0.299)	46	1.000	0.510	0.719	0.757	
	57	0.524	0.238	0.108	0.843	
	标准白场	69	0.068	0.015	0.045	0.189
	80	0.769	0.068	0.027	0.469	
(0.303, 0.314)	46	0.041	0.364	0.250	0.238	
	57	0.022	0.002	0.849	0.334	
	偏红	69	0.000	0.021	0.086	0.220
	80	1.000	0.025	0.016	0.264	
(0.270, 0.280)	46	0.607	0.764	0.872	0.000	
	57	0.573	0.433	0.132	0.116	
	偏蓝	69	0.512	0.629	0.034	0.052
	80	0.644	0.764	0.044	0.361	

* 黑体数字列出的 $p<0.1$

从表 1 可知,人们对对比度的变化感觉比较敏锐,特别是提高到一定值(如 $C_2=69$)时,人们的感受差异都比较大,其中对偏红的图像感觉更敏锐,但对对比度变低时,就不是那么容易分辨了,只有测试图像最容易感觉到。表 2 给出了表 1 中有意义的不同图像色彩度评估分的均值。表中黑体数字对应于 $p<0.05$ 的情况,其他数据的 $0.05<p<0.1$,表中没有给出 $p>0.1$ 时的均值,而用“-”表示,因为这时它与参考图像没有明

显差异。表中均值为正值的,表示评估者普遍认为它的色彩度好于参考图像,负值则相反。

表 2 不同图像色彩度评分的均值

白场坐标	对比度	图像			
		小男孩	德国房子	灯塔	测试图像
(0.289, 0.299)	46	—	—	—	—
	57	—	—	—	—
	69	-0.47	1.07	0.67	—
标准白场	80	—	0.80	0.87	—
	46	-0.80	—	—	—
	57	-0.80	1.03	—	—
(0.303, 0.314)	69	-3.07	0.93	0.67	—
	80	—	0.93	1.00	—
	46	—	—	—	-1.60
(0.270, 0.280)	57	—	—	—	—
	69	—	—	0.93	-0.73
	80	—	—	1.07	—

* 黑体数字对应于 $p < 0.05$, 其他 $0.05 < p < 0.1$, $p > 0.1$ 不列出

表 2 表明,人们对色彩的喜好强烈地依赖于图像内容,如对小男孩图像一般都不喜欢偏红,对德国房子又喜欢偏红的,对灯塔则无特殊的色彩要求,只要对比度高的都喜欢,而对测试图像又都不喜欢偏蓝的。

从表 2 中还可以发现,白场设定和图像内容有交互作用,对比度和图像内容也有交互作用,可通过进一步做“方差分析”(ANOVA)^[3]来了解它们的关系,这里设定的临界水平 $\alpha = 0.05$,如果某一个因素的 p 值小于等于 0.05,则认为这个因素对评估值的影响具有统计意义,可用来衡量一个评估值是否受到白场设定、图像内容、对比度、评估者等主要因素的影响,是否受它们之间的交互作用的影响。

从表 3 可见,对于人们感受到的色彩度,绝大部分因素对其都有影响,只有“白场设定与对比度的交互作用”没有影响,“白场设定、对比度与图像交互作用”稍有影响,而且“对比度与图像的交互作用”和“白场设定与图像的交互作用”对感受到的色彩度影响还很强烈。如果进一步用 Tukey 运算法则的 Post-hoc^[3]多重比较试验来分析这些因素之间相互

区别的程度,分析中把评估者取作随机因素,且实验在前面提到的两种照明条件下进行,不同的照明条件虽对以上的统计分析没有本质的区别,但这里它们的结果却显现出某些不同,两种照明条件下,对比度对色彩度影响的多重比较试验结果见表 4。

表 3 色彩度“方差分析”(ANOVA)的 p 值

影响源	p 值
白场设定	0.008
对比度	0.000
图像	0.000
评估人	0.000
白场设定与对比度的交互作用	0.237
白场设定与图像的交互作用	0.000
对比度与图像的交互作用	0.009
白场设定、对比度与图像的交互作用	0.059

* 黑体数字列出的 $p < 0.01$

表 4 两种照明条件下,对比度对色彩度影响的 Post-hoc 多重比较试验结果

	第 1 种照明条件		第 2 种照明条件	
	p	标准及测试对比度对色彩度影响程度	p	标准及测试对比度对色彩度影响程度
小男孩	0.001	69 < <u>46</u> < 57 < 80	0.004	69 < <u>46</u> < 57 < 80
德国房子	0.038	46 < 57 < 69 < 80	0.103	> 0.1
灯塔	0.000	46 < <u>57</u> < 80 < 69	0.002	46 < <u>57</u> < 69 < 80
测试图像	0.012	46 < 57 < 69 < 80	0.021	46 < <u>57</u> < 69 < 80

表 4 中下划线表示两种对比度之间的差异不具有统计意义。从表 4 可见,对小男孩,人们认为对比度 80 稍好于 57,57 稍好于 46,但它们之间没有显著不同,然而它们又显著好于对比度 69,其他类推,但对德国房子在稍暗的环境光下,人们无法明显区别对比度对其色彩度的影响。

对两种照明条件下,白场设定对色彩度的影响的 Post-hoc 分析比较如表 5 所示。

表 5 两种照明条件下,白场设定对色彩度影响的 Post-hoc 多重比较试验结果

	第 1 种照明条件		第 2 种照明条件	
	p	白场设定对色彩度的影响程度	p	白场设定对色彩度的影响程度
小男孩	0.000	偏红白场 < 标准白场 < 偏蓝白场	0.000	同左
德国房子	0.001	偏蓝白场 < 标准白场 < 偏红白场	0.001	同左
灯塔	0.338 > 0.1		$p = 0.423 > 0.1$	
测试图像	0.000	偏蓝白场 < 标准白场 < 偏红白场	0.000	同左

结果表明,在两个照明情况条件下,其结果没有明显区别,在第 2 种较暗的照明条件下,除了灯塔的 p 值更大一些外,其他都相同(见表 5)。

结论也与表 2 一致,即对小男孩,人们明显不喜

欢偏红的图像,而更喜欢偏蓝一些的;德国房子和测试图像则不喜欢偏蓝的,而更喜欢偏红的,其中测试图像的喜好更明显些,因为它的 p 值是 0;对于灯塔,人们对色彩的喜好不明显,或者说不一致,因 p

值很大,统计无意义。

如前面提到的评估者的因素对色彩度得分的影响是很显著的,因为不同的评估者对图像色彩度的喜好是非常个性化的,有时甚至往往是完全不同的。表 6 给出了这种影响。

表 6 不同白场设定下评估者对色彩度评分的均值

评估者	289/299 标准	303/314 偏红	270/280 偏蓝	年龄	性别
1	0.75	0.25	-0.17	67	男
2	0.17	-0.42	0.00	23	女
3	0.25	0.58	-0.33	57	男
4	-0.58	0.58	-1.00	26	女
5	0.20	0.04	-0.08	27	女
6	0.58	0.42	0.42	40	男
7	-0.08	-1.50	0.83	43	男
8	-0.08	0.08	-0.08	34	男
9	1.25	0.5000	0.83	23	男
10	0.17	-0.08	1.08	38	女
11	0.25	-0.33	0.17	44	男
12	-0.75	-0.92	-1.08	23	男
13	-0.08	0.17	-2.17	22	女
14	0.67	0.67	0.50	34	女
15	0.75	-0.17	-0.25	45	女
16	0.00	-0.08	-0.67	59	女
17	-0.25	0.08	-0.58	40	男
18	0.58	0.92	0.17	40	男
19	1.58	0.92	0.33	22	女
20	0.33	-0.25	0.33	38	女

* 黑体数字列出的是该评估者对不同白场设定给出的最高评分均值,用于显示他的喜好。

在这 20 个评估者中,13 个评估者喜欢标准白场(他们中的 2 个还喜欢偏红白场,1 个喜欢偏蓝白场);另外 7 个评估者中 5 个评估者喜欢偏红白场,2 个评估者喜欢偏蓝白场,从而可得出以下结论:大部分评估者喜欢标准白场设定,如果有偏差,则他们较喜欢偏红的白场设定。

4 结 论

通过前面的统计分析,本文可以得出以下结论:

(1)人们对白场设定和对比度的值的喜好受图像内容的影响。实验同时表明,人们普遍喜好色彩饱和度和大的图像,如对有较多红色结构的德国房子,喜欢偏红一些,对穿蓝毛衣的小男孩,喜欢偏蓝,对包含大片白色的灯塔图像则喜欢标准白场,并喜欢对比度高一些。由此可见,针对显示器件而言,不同的应用场合,需对白场和对比度进行不同的优化设置。

(2)实验表明,在白场设置方面,人们倾向于标准白场(0.289,0.299),而偏红和偏蓝的白场设置两者相比,人们稍喜欢偏红一些。这一结论与以前西欧公司的市场调查认为,亚洲人喜欢偏蓝的结论相悖。

(3)实验表明,人们喜欢高对比度。一般认为,对比度的提高可以提高感受到的色彩度,但是对于 CRT 显示器件而言,高对比度将会产生较大的光点,关于对比度与清晰度之间存在矛盾需要在以后的研究中进行证实。

(4)实验的参加人员被分成专家(对显示器件原理以及色度学了解较多)和非专家两组。结果表明专家评分的绝对值均值小于非专家组评分,这说明专家不能在大范围内区分不同的图像。这一结果与飞利浦研究所在荷兰做的实验的结果是一致的。

(5)实验结果表明,性别会影响到人们对色彩的喜好,男性更喜欢偏红图像,而女性稍喜欢偏蓝图像。

致谢 本实验得到荷兰飞利浦研究所 Ingrid 博士的指导和帮助,在此表示深深感谢。

参 考 文 献

- 1 Recommendation ITU-R. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures[S]. BT. 500-10. 2000.
- 2 David H A. The method of paired comparisons, chapter 3. 7 [M]. London: Charles Griffin & Company Ltd, 1963.
- 3 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京:电子工业出版社,2000.



尹涵春 1946 年生。现为东南大学教授,博士生导师。1969 年毕业于复旦大学物理系,1981 年于南京工学院获硕士学位,1985 年作为访问学者在英国阿斯顿大学英国皇家理事 T. Mulvey 教授指导下工作一年。目前研究方向为电磁场计算、显示技术和显示器的视觉感知研究。
E-mail:yhc@seu.edu.cn



夏 军 1974 年生。1996 年获南京航空航天大学自动控制系学士学位,1999 年获东南大学电子工程系硕士学位。2000 年到现在在东南大学电子工程系攻读博士学位。目前研究方向为数字视频处理和人眼视觉系统。



刘 璐 1964 年生,工程师。1985 年毕业于原南京工学院自动控制系工业自动化专业,同年留校,现在东南大学显示技术研究中心工作,负责计算机系统管理、网络管理,从事视觉感知研究。