

颜色适应对比中等效颜色刺激的研究

张 军

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文从背景颜色变化对颜色感知的影响出发,对颜色适应对比问题进行了研究。依据大量的彩色与无色背景、彩色与彩色背景间的适应对比实验,发现了颜色外貌随背景颜色变化的规律,根据颜色视觉理论对这些规律进行了解释,并利用 Lu'v' 匀色空间理论和数学回归处理,建立了一个实验数学模型,该实验模型能很好地预测颜色在不同颜色背景下所产生的等效颜色刺激。

1 引 言

颜色适应是指颜色刺激本身没有变,只是由于所处的环境或状态不同,颜色的感觉发生变化的现象;颜色对比是对不同环境或状态下的两个颜色进行比较。颜色适应对比的研究有两方面意义,一方面,对于探讨颜色视觉传输问题,解释颜色视觉的特点和现象,进而发展颜色视觉理论,有重要的科学意义;另一方面,颜色适应对比中等效颜色刺激的数学模型的研究,对于预测不同适应状态下的颜色感知,用以预防颜色污染,获得颜色和谐、颜色增强的领域有指导作用和应用价值。例如,纺织、印染、彩色印刷、及二色彩色电视等应用领域。相同的颜色,当其背景颜色不同时,颜色的感觉也不相同。那么,颜色在不同的背景环境下的变化规律如何?在不同的背景上如何产生相同的颜色感知?要想使得两个颜色的颜色知觉相同,即所谓等效颜色刺激如何选择背景的颜色?这些正是本文所要研究的问题。

由于颜色适应具有广泛的应用价值,国际上大的颜色研究中心都投入较大的力量进行研究。国外工作者的研究,大多数是把样品放在中性色环境中,通过改变照明光源而研究颜色适应的变化,对于彩色背景适应问题研究的很少。而且现有的研究结果无不与特定的实验、几个特定的光源相联系,只在特殊情况下能提供较好的预测结果,通用性较差。因此,本文将从颜色背景对颜色感知的影响角度出发,对颜色适应对比进行研究,并建立简单、可普遍使用的实验数学模型,既可以用以预测颜色感知,又可为颜色视觉传输提供数学依据。

2 实验系统和方法

随着计算机的普遍应用,人们越来越趋向于利用计算机控制的彩色显示器进行颜色视觉

研究。例如日本东京大学、美国麻省眼睛研究所、英国 LUCTHI 研究中心等。^[1,2]。我们已经完成《物体色与荧屏色间的主观评价差异的研究》国家自然科学基金课题,该项研究的结果表明荧屏上两个颜色的主观评价差异与物体色之间的主观感知差异是一样的。因此,本实验在计算机控制的彩色显示系统上进行。

计算机控制的彩色显示系统的硬件部分主要有:1. IBM PC 计算机;2. 1024×1024 高分辨率彩色显示器;3. MAG108 高分辨彩色图形控制板。软件部分为:C 语言编译环境;以工作站方式工作,系统在标准图形软件上开发,采用模块设计方法,运行反应速度快。

编制实验程序控制计算机显示系统在显示器上同时并排显示两个视场(如图 1),A 是比较场背景色,B 是匹配场背景色,在两个视场中间的对应区域,给出样品颜色 C 与匹配颜色 D。程序框图如图 2,该程序可通过人机对话随时增加或减少颜色的 R、G、B 刺激值,可随时改变两个背景视场的间距、样品色和匹配色块的大小和间距,随意改变调色步长,随时显示各颜色区域的色度值。

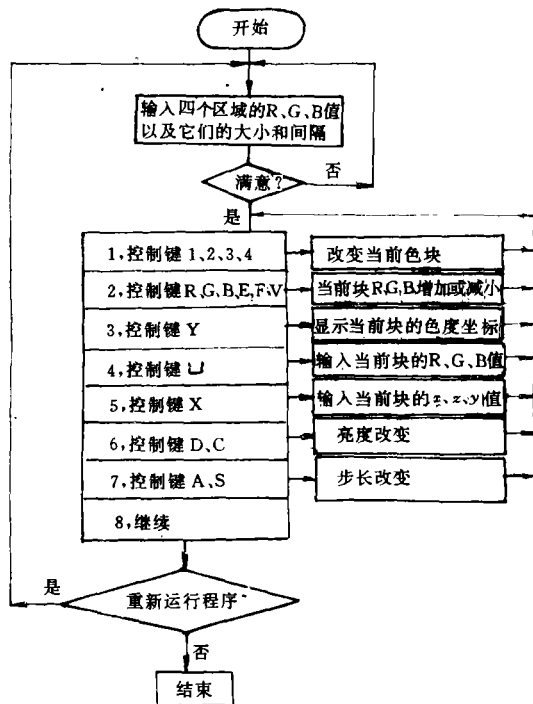


图 2

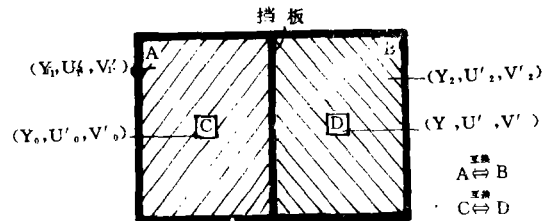


图 1

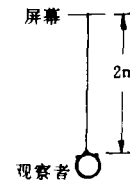


图 3

实验在暗室中进行,实验观察者三人,均为正常三色感觉者。实验时,在荧光屏中间垂直于屏幕放置挡板,观察者在距荧光屏 2m 处进行观察,以满足 2°或 10°视场需要(如图 3),观察者的左眼只能看到视场 A 和色块 C,右眼只能看见视场 B 和色块 D。每次实验,观察者都经过充分的暗适应,左眼适应视场 A 的颜色,右眼视场 B 的颜色,颜色适应后,调节 C 或 D 的刺激值,使 C 和 D 有相同的视觉感知,测出此时 C 和 D 的三刺激值和色度坐标。

在国际上较为流行的颜色外貌系统中,Munsell 颜色系统是一个颜色差异系统,而且 Munsell 颜色样品均给出了相应的色度坐标和亮度因子。因此,为了便于与使用表面色样品进行的研究及其他人的类似研究相比较,我们系统地选择各种明度、色调、彩度的 Munsell 颜色

作为被研究颜色。

为了全面研究各种背景的影响,共进行了 1300 多组实验,实验分为:

1 彩色与无彩色背景间的适应对比实验

无彩色背景的色度坐标是(0.313,0.329),明度分别取 9.6 和 3。样品包括 5 种主色调和 5 种次色调,即:R(红)、YR(黄红)、GY(绿黄)、G(绿)、BG(蓝绿)、B(蓝)、PB(紫蓝)、P(紫)和 RP(红紫),选择每种色调上可能的 4 个彩度中的两个,明度选择小于、等于和大于背景的本种可能的明度。

2 彩色与彩色背景间的适应对比实验

- (1)V(明度)不同,H(色调)和 C(彩度)相同的两种颜色做背景。
- (2)C 不同,H、V 相同的两种颜色做背景。
- (3)H 不同,V、C 相同的两种颜色做背景。
- (4)H、V、C 相同的两种颜色做背景。
- (5)明度不同的三对互补色做背景。

3 实验结果与分析

在实验中我们发现这样一些规律:

1 背景的色温相同(色度坐标相同)时,如果明度适应由大到小,颜色的色调基本上不变,而饱和度减小,明度升高;如果明度适应由小到大,颜色样品的饱和度增加,明度降低,色调不变。图 4 是实验结果在(x,y)色度图上的情况,箭头是匹配颜色的色度坐标,箭尾是样品的色度坐标。

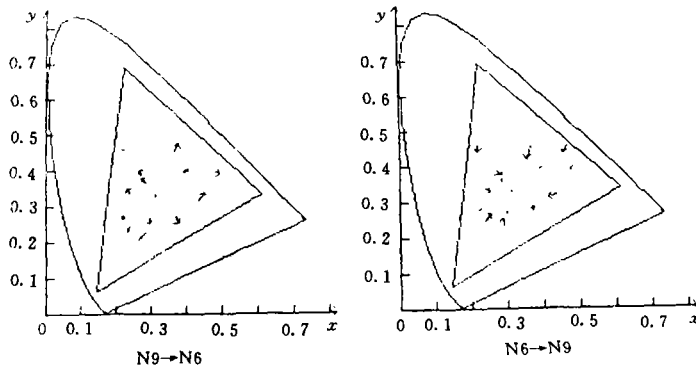


图 4

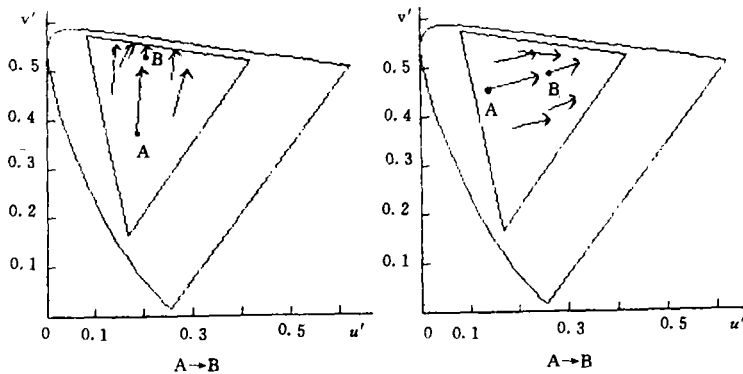


图 5

2 当背景的色度坐标不同时,匹配颜色相对于样品颜色普遍发生移动,移动的方向与背景颜色坐标移动的方向相同。图 5 是两组实验结果的 (u',v') 图。在实验中还发现,有色背景上样品的颜色感觉是在样品本身颜色上加上背景的补色的综合结果。

总结实验经验并对实验结果进行了统计分析,利用 1976Lu'v'匀色空间理论,通过一系列的假设、推导、检验,本论文导出了下面简单的线性形式的实验数学模型:

$$\begin{aligned} Y - Y_0 &= Y_2 - Y_1 X \\ u' - u'_0 &= a(u'_2 - u'_1) \\ v' - v'_0 &= a(v'_2 - v'_1) \end{aligned} \quad (1)$$

式中 Y 为亮度, u' 、 v' 为色度坐标, (Y, u', v') 是匹配颜色的色度值, (Y_2, u'_2, v'_2) 是样品的色度值, (Y_1, u'_1, v'_1) 是样品所在背景的色度值, (Y_0, u'_0, v'_0) 是匹配颜色所在背景的色度值。 a 是一个比例系数, 它表示匹配颜色和样品颜色的差与背景颜色差之间的比例, 同时本文经过分析认为 a 是代表适应水平的参量。在本论文中, a 的统计结果为 0.68。

得到了(1)式后,本文用一组匹配背景颜色的实验结果来验证它。表(1)中列出当两个样品 C 和 D 以及一个背景 A 的颜色已知,匹配背景 B 的颜色使得色块 C 和 D 的颜色感觉相同时的实验测试结果和用(1)式计算的预测结果以及实验结果与预测结果间的差。从表 1 可以看出,(1)式的预测结果是比较准确的。

4 结束语

本文利用在世界上较为先进的计算机控制的彩色显示系统,从不同于以往只研究照明光源适应的角度出发,对不同彩色背景的颜色适应对比问题进行了研究。文中由实验结果导出的实验模型形式简单,预测结果较为准确,而且能够很好地解释实验现象。

表一

	u'	v'	Y	u'	v'	Y	u'	v'	Y
C	0.271	0.445	0.198	0.170	0.421	0.573	0.183	0.509	0.591
D	0.232	0.435	0.195	0.166	0.371	0.525	0.177	0.522	0.617
A	0.261	0.481	0.592	0.135	0.479	0.634	0.227	0.423	0.429
实验结果 B	0.197	0.468	0.585	0.123	0.397	0.579	0.213	0.444	0.463
预测结果 B	0.204	0.466	0.589	0.128	0.406	0.587	0.217	0.441	0.455
误差	0.007	0.002	0.004	0.005	0.009	0.008	0.004	0.003	0.008

参 考 文 献

- [1] M. R. Luo, A. A. Alarke, P. A. Rhodes, A. Schappo, S. A. R. Scrivener, C. J. Tait, Quantifying color appearance part 1 LUCTHI color appearance data. *Color. Res. Appl.*, 1991, 16:166-180
- [2] M. R. Luo, A. A. Alarke, P. A. Rhodes, A. Schappo, S. A. R. Scrivener, C. J. Tait, Quantifying color appearance part 2 test colour models performance using LUCTHI color appearance data. *Color. Res. Appl.*, 1991, 16:181-197

The Reserch on Equivalent Color Stimuluse in Color Adaptation and Contrast

Zhang Jun

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

The effect of background color on color adaptation and contrast was studied in this paper. Some regularities have been summarized from a lot of experiments on different background colors. An experiment model on equivalent color stimulus has been deduced according to the experiment data. The model is simple and can be used to prrdict precisely equivalent color stimulus.