

色错觉现象研究

王植恒 傅玉川 张奇志

(四川大学物理系, 成都 610064)

[摘要] 通过对彩色马赫带、侧抑制的滞后延时效应、麦克洛夫效应、色对比等色错觉现象的实验研究和有关理论研究的介绍, 从信息处理的观点出发, 认为视觉系统对空间信息和时间信息的处理具有对等的、同一的关系, 并提出了初级视觉信息处理的时变通带滤波模型。

[关键词] 色错觉, 视觉信息处理, 时空同一性

随着科学技术的日新月异和现代文明的高速发展, 人类对自身的认识也越来越深入。特别是计算机这一工具的出现, 使得人们对人类智能和思维本质的研究迈上了一个新的台阶。而人类智能和思维本身的复杂性已远远超出了研究初期的预想, 为许多的学科提供了极其广阔的研究天地。生理学、心理学、物理学、计算机科学等都通过不同的研究途径进行着相应的研究。

人类智力的基础在于感觉和知觉, 对于感知觉的本质的理解, 是揭示人类智力本质的重要途径。而对视觉的研究则是所有感知觉研究中一个非常重要的方面。关于视觉的研究包括许多的层次和方面, 从分子生物学水平到认知心理学实验, 都不断地为揭开视觉信息处理的奥秘提供着各方面的证据。我们认为, 视觉首先是一个信息处理任务。尽管我们的视觉系统在对外界的原始图像进行某种加工处理时, 努力保持忠实于现实世界, 但在我们的日常知觉中却存在着形形色色的错觉。错觉是指感知到的东西与客观存在的东西不一致, 而不是视网膜映像与客观存在的东西不一致。在某些特定条件下的图像刺激总能使我们产生错觉, 这种错觉是视觉系统本身对外界信息进行处理后的结果^[1]。虽然视错觉现象随处可见, 但对其产生的原因却较难完整地加以解释, 这是人类视觉系统和它对外界信息提取及处理过程的复杂性所决定的。通过研究这些现象能使我们了解到视觉系统的另一些在正常情况下不易表现出来的作用。

我们提出的色错觉研究的课题, 正是在上述认识基础上, 采用计算机显示技术和现代信息处理技术, 对彩色马赫带、霓虹错觉、麦克洛夫效应、色对比等色错觉现象进行了匹配测量, 并对有关的色错觉的产生条件进行了心理物理实验^[2], 建立了试验软件库; 从实验上, 确认了彩色马赫带现象的存在, 发现了侧抑制的滞后延时效应和色错觉对空间频率在一定程度上的依存关系; 同时明确提出了视觉信息处理的时空同一性理论和时变通带滤波模型^[3,4], 用广义伽波函数和变通带滤波方式对色错觉现象进行了计算机模拟^[5], 取得了较好的结果。本课题研究结果已涉及到视觉系统时空相关等重大基础问题, 下面将较详细地介绍主要研究内容

本文于1996年5月6日收到。

和研究成果。

1 主要的实验研究

1.1 彩色马赫带现象

马赫带效应是物理学家兼哲学家马赫于1865年首先说明的。它为主观的明度感觉(视亮度)与被视物体表面光亮度之间并不成简单的比例关系提供了一个基本的证明。关于非彩色马赫带已有了比较详尽的研究结果,而彩色马赫带的存在与否,则一直是一个尚无定论的问题。皮斯(P. L. Pease)提出对彩色马赫带应作三方面的区分,即明度马赫带、饱和度马赫带和色调马赫带,但也没有明确说明这三种区分下彩色马赫带是否都存在。事实上,如何在实际研究中真正做到这种区分也不是一件容易的事,因为严格地实验区分出明度、饱和度和色调是很困难的。

我们的研究表明,单一色调马赫图形存在明显的马赫带效应,并且用比较匹配法对单一色调马赫带的明带和暗带分别进行了定量的测定,测得了亮、暗带的变化量。在此基础上,我们对两种和两种以上颜色组成的刺激图形所引起的视觉效果进行了初步的探索,发现了一种颜色诱导现象。即,对客观刺激本是同一色调的区域,看上去色调分布并不均匀,而是呈现某种规律性的分布。如在红色背景上叠加蓝色单一色调时,对梯度不为无穷大的马赫图形可以感觉到一条红色的暗带和一条蓝色的亮带;对梯度为无穷大的马赫图形,每一色调本应是均匀的区域,看上去不像是红色和蓝色的混合色,却像是红蓝分层的几个小块的组合,上层的小块为蓝色,而下层的小块为红色。这些实验结果对有无彩色马赫带的争论提供了肯定的回答。

1.2 侧抑制的滞后延时效应

我们对亮暗带同时闪烁和交替闪烁的光栅的知觉对比度分别进行了测试。结果表明,交替闪烁下光栅的知觉对比度最大。由此可推论侧向抑制的最大强度相对于入射光刺激有一延时效应。从交替闪烁频率在6.4—5.4 Hz时知觉对比度极大这一事实,可以推测延时侧向抑制大约滞后入射光刺激0.15—0.2 s时达到其最大强度。

人眼的时空反差增强功能是人类视觉系统能快速敏锐地提取时空变化信息的基础。我们通过光栅的同时闪烁和交替闪烁,将空间域和时间域中的对比度增强效应巧妙地结合在一起。正如空间域中的侧向抑制的最大值不处在最邻近的那些神经细胞上一样,时间域中的侧向抑制的最大强度相对于入射光刺激亦有一延时过程,使得在交替闪烁条件下的光栅的知觉对比度远大于在同时闪烁条件下的光栅的知觉对比度。因为交替闪烁条件下的光栅的知觉对比度不仅由于空间马赫带效应而增强,而且在一定的闪烁频率范围内还叠加了时间域中的这种对比度增强作用,从而使得它的知觉对比度既高于静止光栅,也高于同时闪烁光栅的知觉对比度。

1.3 利用反诱导消除 McCollough 效应

McCollough效应是指在观察黑色色条与有色色条相间的条栅图形一定时间后,再注视与前者有相同取向和间距的黑白条栅,后一条栅中的白色色条看起来就好像是带上了前一条栅颜色的补色。McCollough效应与条栅的取向和间距有关,只有当黑白条栅的取向和间距与彩色诱导条栅相同时才能观察到。正是这种将颜色和空间频率相联系的机制引起了人们对Mc-

Collough 效应的极大兴趣。

McCollough 效应在完全黑暗和自然视觉条件下的消退过程很缓慢,这说明 McCollough 效应不是由视网膜感色细胞疲劳引起的,导致其恢复平衡的主要因素不是自发的消除疲劳过程,而与网膜刺激有关。为进一步探讨 McCollough 效应的消退过程与网膜刺激方式的关系,我们在利用彩色条栅诱导产生显色效应后,用颜色为诱导光栅补色的彩色光栅刺激网膜,通过设置反诱导条栅的亮度、间距等参数来考察条栅型单一色调的网膜刺激对显色效应消退过程的影响。试验结果表明,利用同频补色条栅来进行反诱导,能在十几分钟内消除显色效应,消除时间与反诱导条栅的亮度、颜色和栅条间距(空间频率)有关。这进一步证明了视觉系统中颜色信息与空间频率信息之间存在某种依赖关系,并非完全独立。

2 理论研究

2.1 视觉信息处理中时空特性的同一性理论

长期以来,人们一直认为视觉系统对空间信息和时间信息的处理是两个互不相关的过程,并且习惯于将时间特性和空间特性分离开来进行研究,很少把它们联系在一起。我们在有关的色错觉实验的基础上,提出了视觉信息处理中时空特性的同一性理论,认为空间特性和时间特性在信息处理方面具有对等的、同一的关系。

随着神经网络及认知科学研究的进一步深入,任何一个系统对空间信息和时间信息进行处理是否遵循两套完全不同的规律等问题,亦日益突出起来。某些神经网络模型的研究结果也表明,一个同时具有并行处理和串行处理双重性质的系统,具有极强的计算能力。

同时,颜色对比和相继颜色对比、延时侧向抑制的时空特性以及感受野的广义 Gabor 函数模型中的时空对等性,都从不同的角度显示出这样的一种特征,即影响视觉信息处理的时间因子和空间因子常常具有十分相似的行为,并以这种方式表现出它们之间的同一性;从信息处理角度来说,则是视觉系统以同一套规则处理着空间信息和时间信息。我们认为,正是因为空间域信息和时间域信息的巧妙结合和相互制约,才使人类的视觉系统具有如此强大的功能。将时间参量和空间参量结合起来,平等地参与视觉信息处理过程,很可能是探索人类视觉信息处理奥秘的一条极有价值的新途径。

2.2 视觉系统初级信息处理的时变通带滤波模型

在对视觉信息处理过程中时间、空间信息的依存关系进行研究的基础上,我们认为视觉信息的处理过程是一个时变的通带滤波过程,明确提出了视觉系统初级信息处理的时变通带滤波模型。通过随时间变化的 $\sigma^2(t)$ 因子描写的时变通带高斯函数,将空间信息的处理与时间因子紧密地联系起来,其中时变通带高斯函数为:

$$gt(x, y, t) = \frac{1}{2n\sigma_x(t)\sigma_y(t)} e^{-\{x^2/\sigma_x^2(t) + y^2/\sigma_y^2(t)\}}$$

它所对应的空间频率特性为:

$$GT(u, v, t) = e^{-u^2 \cdot \sigma_x^2(t) - v^2 \cdot \sigma_y^2(t)}$$

其中: x, y 分别为二维空间坐标; u, v 分别为 x, y 方向上的空间频率; $\sigma_x^2(t), \sigma_y^2(t)$ 为方差。这一模型从数学上证明了时变通带滤波函数的微分正好实现了空间域中的 $\nabla^2 G$ 滤波,也从数学上具体描述了视觉信息的提取过程是一个分时分频的提取过程的思想,从而为统一地描述视觉

系统对外界信息的空间特征、空间频率特征的提取特性及其时间特性做了一种初步的尝试。

2.3 马赫带效应和霓虹错觉的计算机模拟

我们利用汪云九等人提出的广义 Gabor 函数的感受野模型,很好地描述了马赫带效应,为这一错觉现象提供了较为合理的解释。另外,还用不同带宽的滤波器对霓虹错觉进行了计算机模拟,比较成功地模拟了霓虹错觉的亮度规律,说明视觉系统中可能存在不同的亮度通道。

3 结语

虽然色错觉研究只是研究视觉系统信息处理过程的一个方面,然而它所涉及到的问题及研究成果对深入研究视觉的智能特性是很有价值的。我们提出的视觉信息处理中的时空同一性理论和时变通带滤波模型,也在一定程度上为揭示人类智力的本质提供了有益的参考。我们相信,对色错觉现象的进一步研究将为人类揭开智力的奥秘提供更多的启示和帮助。

参 考 文 献

- [1] 傅玉川,王植恒. 视错觉现象研究. 自然杂志, 1992, 15 (5): 348—350.
- [2] 王植恒,张奇志. 利用反诱导消除 McCollough 效应. 心理学报, 1994, 26 (2): 136—140.
- [3] 王植恒,傅玉川,万海峰等. 模式识别与人工智能, 1993, 6 (1): 55—58.
- [4] 王植恒,万海峰,傅玉川. 视觉系统初级信息处理的时变通带滤波模型. 生物物理学报. 1993, 9 (4): 605—610.
- [5] 傅玉川,王植恒,万海峰. 用广义 Gabor 函数的感受野模型描述的马赫带. 生物化学与生物物理进展, 1993, 20 (6): 478—479.

RESEARCH ON COLOR ILLUSION

Wang Zhiheng Fu Yuchuan Zhang Qizhi

(Physics Dept., Sichuan Univ., Chengdu 610064)

Abstract In this paper, the researches on some color illusions, which include color Mach bands, the effect of postponed lateral inhibition, McCollough effect and color contrast are introduced. Based on the concept of information processing, the theory of spatial and temporal identity of vision information processing and the temporal varying band-pass filtering model of elementary vision information processing are proposed. It is elaborated that as an important fundamental theoretical subject, color illusion research can effectively reveal the essence of human intelligence.

Key words color illusion, visual information processing, spatial and temporal identity