

两种互相独立的深度信息

姚国正 程立海 刘 磊 金贵昌

(中国科学院生物物理研究所, 北京)

长期以来, 人们认为双眼视差是体视(相对深度)的主要信息来源。虽然视差的概念在不断地发展, 但深度知觉由双眼视差决定这一观念一直不变^[1-5]。我们曾观察到一种新的体视现象: 在随机点立体图对中, 只要投射在两眼视网膜上的图像有一部分相同就能产生深度知觉, 相同部分总是离观察者近, 不同部分总是离观察者远。这种深度知觉的大小和方向与视差无关, 即使视差等于零, 深度知觉也照样能发生。我们把它叫作“双眼透视”^[6]。

双眼透视和双眼视差是两种不同的深度线索。 本工作试图分析它们引起深度知觉的条件, 从而得出视差深度知觉和透视深度知觉之间的过渡特性, 进一步证实这是两种相互独立的深度线索。

一、方法与结果

1. 深度位置交变现象的观察 假定在随机点立体图对(RDS)中既有双眼视差线索, 又有一定的双眼透视线索, 而且它们的作用方向相反, 那么究竟会发生什么深度知觉呢?

例如图 1, 两个图像正中的正方形区域(图形)完全一样, 而四周(背景)是不同的, 其中有 30% 的对应点黑白互补。同时右图的正方形区向外侧移动了两个图像元素, 引入不交叉视差。如果双眼视差起作用, 正方形将落在背景后面; 如果双眼透视起作用, 正方形就会在背景的前面浮出。



图 1

正中方块的不交叉视差使它落在背景下面, 而双眼透视线索又使它浮在背景上面, 结果形成深度上的交变

在立体镜下观察图 1。一开始正方形浮现在背景之前, 然后它就落到背景后面去了(或相反)。观察几次以后, 正方形的位置或前或后就能随意地翻转。注视远处, 正方形在后面; 注视

本文 1982 年 12 月 24 日收到。

近处,则正方形在前面。这一现象与观察 Necker 立方体的感觉是相似的。

这一观察表明: 双眼视差和双眼透视都是深度知觉的信息来源, 因为它们都能产生深度知觉。在一个立体图对中究竟是视差起作用还是透视起作用, 这与一定的条件有关。从立体图对的结构方面考虑, 如果背景和图形都相同, 那就只有双眼视差起作用^[2]; 如果不同部分(背景或图形) 全然不一样, 那就只有双眼透视起作用^[6]。因此, 双眼视差和双眼透视引起体视的条件是由刺激的特性决定的。

2. 视差体视和透视体视的过渡特性 显然, RDS 不同部分的相差程度可以作为 RDS 的一个结构特性参数。为了方便起见, 我们规定随机点的大小和形状完全一样, 而且只取黑白两种亮度; 所谓不同, 仅指两图对应位置上的点黑白相对, 因此不同部分的相差程度可用互补点的百分数来表示(参考图 1)。这种规格的 RDS 用微型计算机就能方便地打印出来。

用 TRS-80 计算机产生 RDS, 每个图像由 66×45 个图像元素构成。先做一个 Julesz 型的立体图对, 其中除右图正中一正方形区域(42×28)向外侧移动两个图像元素外, 两图完全一样^[2]。然后在这个 RDS 中逐步引入双眼透视线索。保持正方形区不变(即正方形图形相同), 把背景区原来是黑对黑、白对白的点逐步变成黑白相对。被改变的点的取样是随机的, 每一次改变 5%, 直到背景区的点全部互补为止。这样一共得到一组 20 个图形相同、背景不同的 RDS。原图经照相翻拍缩小成 5.5×5.5 厘米的照片。

两个有观察 Julesz 型 RDS 经验的受试者对这些立体图对做了观察。观察次序是随机的, 结果如图 2a 所示。

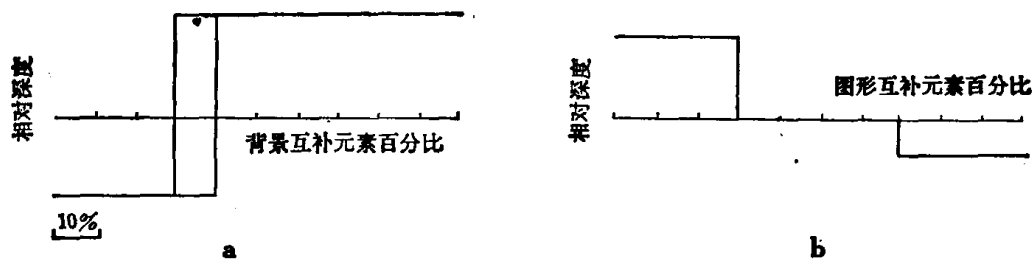


图 2 双眼视差体视和双眼透视体视的过渡特性
a. 正中的正方形图形相同, 背景不同; b. 背景相同, 图形不同

由图 2a 可见, 双眼视差体视和双眼透视体视的过渡特性是一条磁滞迴线。在背景区互补点数小于 30% 时, 双眼视差起决定的作用, 正方形在背景后面; 大于 40% 时, 双眼透视起决定的作用, 正方形在前面; 在 30% 到 40% 之间, 这两个深度线索都起作用, 但它们相互抑制, 正方形的深度位置是交变的。在 30% 附近视差占优势, 在 40% 附近则透视占优势。

同样, 如果背景区保持不变, 而在正方形中逐步引入双眼透视线索, 也可以得到一组 20 个背景相同、图形不同的 RDS。这时, 过渡特性是一个有不灵敏区的开关, 不灵敏区从 30% 到 70% (图 2b)。在不灵敏区的低端(靠近 30%)和高端(靠近 70%), 可以看出正方形模式, 在不灵敏区的中间部分(50% 附近), 正方形模式消失。

3. 双眼视差和双眼透视作用的独立性 由过渡特性可以看到: 当立体图对的一个图形兼有双眼视差和双眼透视线索时, 这两种线索所引起的深度知觉——除在一小区域内有互相竞争外——是分开的, 或者双眼视差起作用, 或者双眼透视起作用。据此可以推测: 在复杂的 RDS 中, 如果图形的不同部分分别具有双眼视差和双眼透视线索, 使它们都起作用, 那么深度

知觉将是它们按照各自产生深度知觉的规律所产生的深度的综合结果。这一推想的正确性可由图3得到证实。

图3(这种图形质地满足双眼透视的条件^[6])由一个正方形和两个正方形环组成。两个图像的外层环形区是一样的,正中的正方形区也一样,但在它们之间的正方形环则是不同的。左图的正方形向内侧移动一小段距离,引入 0.5° 交叉视差,中层环对外层环的视差等于零。因此,在正方形和中层环及外层环之间有双眼视差作用,而在中层环和外层环及中层环和正方形之间有双眼透视作用。

在立体镜下观察图3,结果是:中层正方形环离观察者最远,外层环次之,正中的正方形在最前面。对调两图位置,结果便是:外层环在最前面,正中的正方形次之,中层环仍离观察者最远。因此,双眼视差和双眼透视的作用是相互独立的。

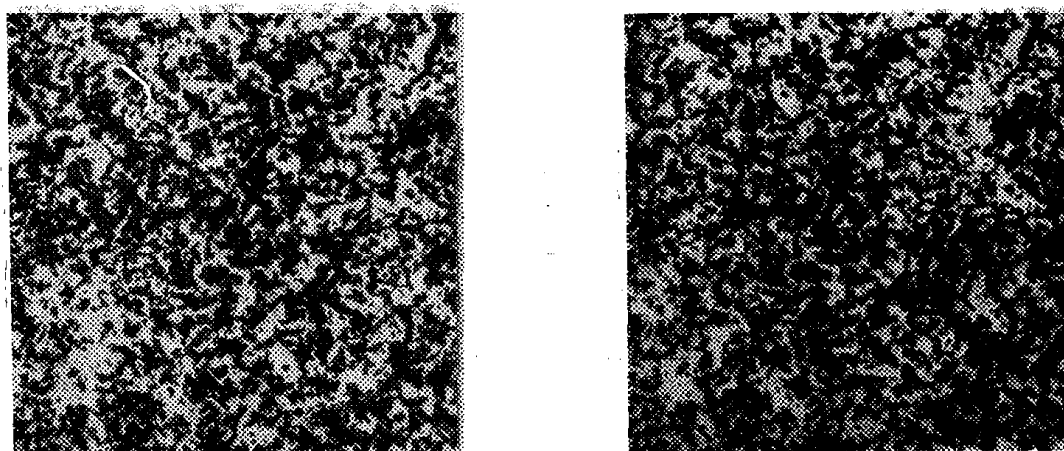


图 3

该图由一个正方形和两个环组成。正中的正方形和中层环及外层环之间有双眼视差作用;在中层环和外层环及中层环和正方形之间又有双眼透视作用。深度层次是按视差和透视独立作用的原则划分的

二、讨 论

由上述结果得出的结论是:

(1) 双眼透视和双眼视差是两种不同的深度线索,它们引起深度知觉的条件是互相排斥的。对应点黑白互补对双眼视差是干扰因素,但对双眼透视却是有用的信息。

(2) 双眼透视和双眼视差的作用互相独立。在一定的条件下,它们都有抑制对方的作用。因此双眼透视和双眼视差是两个分开的深度信息通道。

(3) 双眼视差体视和双眼透视体视的过渡特性与 RDS 的不同部分的位置有关。

不同部分在图像四周,过渡特性是一条磁滞迴线。互补点小于 30%, 双眼视差起作用;大于 40%, 双眼透视起作用;在 30% 到 40% 之间是竞争区。

不同部分在图像中央,过渡特性是一个有不灵敏区的开关。互补点小于 30%, 视差起作用;大于 70%, 透视起作用;在 30% 到 70% 之间是不灵敏区。

(4) 双眼透视一旦起作用,其深度知觉的大小即与 RDS 不同部分互补点数的多少无关。

双眼视差作为深度线索是很直观的,因为它直接反映了空间物体在深度位置上的差别。但双眼透视作为一种深度线索则并不直观,它与左右两眼图像的相同部分由融合形成的清晰

像及不同部分由抑制(或竞争)形成的模糊像之间的对比有关,因此它是由两眼看到的图像的性质决定的。

双眼透视在很大程度上依赖于人的主观的视觉经验。在一定的照明情况下,比较远的物体看上去是模糊暗淡的,比较近的物体看上去则是清晰明亮的。但是只有当明暗对比(或清晰—模糊对比)到达一定的界限时,这种对比才成为一种深度信息。对这种深度信息所产生的深度知觉进行定量描述看来是困难的,因为我们无法确切地说出与一定的深度位置相对应的图像有多暗。在各个有透视深度的立体图对中,我们也看不出它们的深度位置有什么差别。

图 2a 和 b 的差别可能与人眼视网膜的分辨本领有关。人眼的分辨率随偏离中央凹的距离的增加而下降。投射到中央区的像显得清晰,周边区的像则显得模糊。单眼视网膜不同部位的像的清晰度不同势必会影响双眼透视的效果。在背景区保持不变而在图形部分逐步引入透视因素的情况下,单眼周边区模糊会抑制双眼透视的作用,使双眼的背景和图形之间的对比下降,从而扩大了不灵敏区(b)。在相反的情况下,单眼中央区清晰会加强双眼透视的效果,使不灵敏区变小以至消失(a)。

致谢: 承郑竺英教授对本工作提出有益的建议并仔细修改文稿,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Ogle, K. N., *The Eye* (Ed. Davson, H.), Vol. 4, chap. 15, Academic Press, New York and London, 1962.
- [2] Julesz, B., *Science*, **145** (1964), 356—362.
- [3] Kaufman, L., *Amer. J. Psychol.*, **77** (1964), 393—402.
- [4] Lawson, R. B. and Kulick, W. L., *Vision Res.*, 1967, 7: 271—297.
- [5] Ramachandran, V. S. et al., *Nature*, **242** (1973), 411—414.
- [6] 姚国正等, *科学通报*, **28**(1983), 4:248—250.