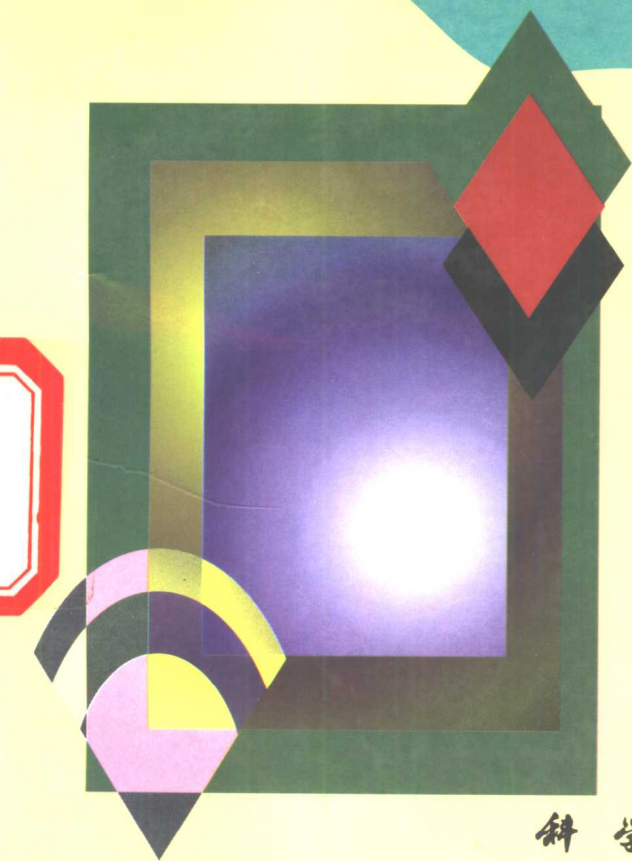
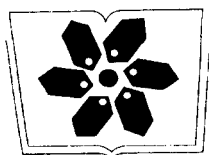


双眼立体视觉 的信息加工

郑竺英 著



科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

双眼立体视觉的信息加工

郑竺英 著

科 学 出 版 社

内 容 简 介

并列的双眼赋予了人类能观察到三维空间的视觉功能,这在日常生活和理论上都具有重要意义。本书结合国内外对此研究的进展,详细阐述了作者及其同事们在双眼立体视觉方面的研究结果及心得。分别介绍了双眼立体视的生物学基础(第一章),可能机理(第二、四、五和七章),神经生理学上的研究情况(第三章),模型(第六章)以及意义和应用(第八章)。这给了解人类视觉对客观世界形象的辨识方面提出了一个新的途径,同时将对设计航测自动化、机器人视觉、弱视筛选、医学生物学中的三维重建和立体电影及电视研究工作等有所启发。本书可供有关眼科、航测自动化、机器人视觉等研究人员和大中专院校感知心理学、神经科学以及人工智能等有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

双眼立体视觉的信息加工/郑竺英著.-北京:科学出版社, 1998.8

ISBN 7-03-006425-9

I. 双… II. 郑… III. 立体视觉-图像处理-计算机应用
IV. TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 26805 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1998年8月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1998年8月第一次印刷 印张: 6 1/4 插页: 2

印数: 1-1500 字数: 131 000

定价: 22.00 元

序 言

人和高等动物都具有一双并列的眼睛，这是历史上许多著名科学家如达芬奇、笛卡儿和牛顿等人都对之感兴趣的问题，并也都对其功能作过许多猜测，直到 1838 年惠斯登发明了立体镜，才真正清楚了双眼最主要的功能在于使人有真实的深度立体感（即体视）。并且知道是由于物体像落在稍有不同角度的两眼的投影具有“双眼视差”所引起的，从此开拓了一个崭新的空间视觉的研究领域。一个半世纪以来，随着其它科学技术的发展，立体视觉的研究也经历了许多不同的阶段。

20 世纪 50 年代以前，体视的研究工作都偏重于根据几何光学原理，对双眼的视差范围和网膜的体视区域进行划分。很少涉及网膜以上的视觉系统，以及体视的内在成因或双眼的信息匹配。信息时代的来临给这个古老的问题赋予了新的研究内容。60 年代美国贝尔实验室的 Julesz 利用计算机产生了随机点立体图对，证明了双眼体视是一种完全不需要任何先验知识或单眼线索的视觉功能，只要有“双眼视差”即可形成，而双眼视差又是一个客观的物理现象，因此被认为这是视觉系统图形识别中与生俱来的、最初级的功能，是视觉图形识别研究中的一个突破口。由于双眼立体视觉具有这样一些特点，因此倍受瞩目；利用随机点立体图对进行的心理物理学实验或用微电极进行单细胞记录寻找对双眼视差敏感细胞，或进行体视的脑诱发电位等大量工作不断涌现出来。体

视的数学模型亦屡见不鲜。70年代受到傅里叶光学信息加工的影响,体视的研究也逐渐远离了几何光学上的“视差”这个焦点,进入到物理光学空间频率的领域。尤其是从人工智能的角度赋予了立体视觉崭新的研究方法——视觉计算理论。80年代美国麻省理工学院人工智能实验室的马尔(Marr)提出了一种视觉计算理论,首先成功地应用在双眼匹配上,使两张有视差的平面图完全由计算机根据视觉计算理论产生有深度的立体图形。它为今后机器人的立体视觉指引了方向。一些新的学科如计算机视觉、机器人学等对双眼立体视觉有新的要求,使这一课题更为蓬勃发展。

作者于1973年开始从事双眼立体视觉的信息加工的研究。由于众所周知的原因,一直断断续续无法作系统的开展。1978年后仰仗一些年轻同志和研究生们做了一些工作,虽然远远谈不上系统全面,但自己认为有了和国外完全不同的思考途径。作者不论是计算分析、心理物理实验或是模型设计等研究都是沿着体视的空间频率通道的思路去探索、以双眼频差为基元作出发点。这和Marr或Frisby等人从完全空间域的双眼匹配是不一样的。因此很希望能总结出来,为以后这方面的工作者提供一些参考。承中国科学院出版基金委员会给予出版基金,得以将双眼立体视国内外的一些最新研究情况,包括作者个人的工作一并写出,为我国在这方面的一本参考书,实是作者数十年研究工作之愿望。

本书共分8章,第一章系双眼立体视觉的生物学基础,该章主要是给一些非生物学专业但对双眼立体视感兴趣的人员,尤其是工程技术人员阅读,以期对双眼立体视觉的基本神经结构等有一个初步的了解。第二章为随机点立体图对,主要介绍Julesz的工作,因为这是双眼立体视觉开始走向信息

科学研究的一个里程碑。第三章为双眼立体视觉的神经生理学研究。第四章为频差和双眼立体视觉，本章分二部分，第一部分介绍空间频率及其在视觉系统中的通道，而后一部分主要是作者及其研究组的工作。其中频差作为双眼融合配基元是作者的一种设想，在该章中作了详细介绍。第五章为双眼融合的时空特性，主要系作者和研究组内年轻同志共同完成的一系列实验结果，希望对时空特性的了解上推出双眼匹配的机制。第六章为双眼匹配的模型，主要介绍三个方面：Julesz 从协同现象出发的偶极子模型；Marr 从他的计算理论出发实现的双眼匹配过程以及作者本人从频差出发的一个分段匹配模型。第七章介绍一些经典视觉现象，如几何错觉等在体视水平的新情况。第八章则从双眼立体视觉的重要性出发，介绍一些在日常生活中的应用（如立体电影、电视等），以及和科技（航测、三维重建等）的密切关系，也介绍了立体视觉的检查方法和立体图对的计算机产生方法。

为使读者更好地体会双眼立体视觉的功能，我们选了文中部分立体图对插图，制成红蓝双色图版附于书末。读者利用红蓝双色滤光眼镜来观察，可明显感知到图像的三维深度。

本书得以问世首先感谢我的老师贝时璋教授，对我这项研究工作的支持和鼓励。感谢国家自然科学基金会以及中国科学院对作者从事“双眼立体视觉研究”所给予的资助和出版基金。也感谢生物物理所王书荣所长对我研究工作的支持和资助。对于本研究组的金贵昌同志和周桂荣同志在实验工作中的协助并设法拓展研究内容，在本书撰写过程中协助查找资料、提供图片等表示衷心感谢。我还要感谢吴家龙同志，他为我提供了有关资料。有了他们的帮助才使本书得以公诸于世。

由于作者重点在双眼信息的匹配方面,对于 50 年代前的一些研究并未详述,又由于从各种不同角度出发研究双眼立体视的文献十分庞杂,不可能全面一一综述,望读者见谅。也望读者提出宝贵意见。

郑竺英

1997. 6

目 录

序言

第一章 双眼立体视觉的生物学基础	1
1.1 人和哺乳动物视觉系统的解剖通道	1
1.1.1 眼球	1
1.1.2 视交叉	3
1.1.3 外侧膝状体	5
1.1.4 视皮层	6
1.2 各核团视细胞的感受野及其信息加工	9
1.2.1 视网膜神经节细胞的感受野	9
1.2.2 视网膜的信息加工	10
1.2.3 外侧膝状体细胞的感受野及外侧膝状体的功能	12
1.2.4 初级视皮层的视细胞感受野及细胞功能柱	13
1.3 双眼立体视的几何光学上的特征	15
1.3.1 双眼视差	17
1.3.2 双眼单视区 (Panum 区)	20
1.3.3 等视差圆 (Horopter) 和 Vieth-Mueller 圆	22
1.3.4 各种动物的双眼视场及立体视	23
1.4 眼肌在立体视中的作用	24
1.4.1 支配眼球运动的眼外肌	24
1.4.2 辐合运动在立体视中的作用	25
1.4.3 斜视	26

1.5	双眼立体视的发育	27
1.5.1	视锐度的发育	27
1.5.2	立体感知觉的发育	28
1.5.3	视觉剥夺对双眼立体视的影响	29
1.5.4	敏感期	32
第二章	随机点立体图对	34
2.1	什么是随机点立体图对	34
2.2	随机点立体图对和经典的线条立体图对的差别	38
2.3	随机点立体图对的贡献	40
2.4	动态随机点立体电影	42
2.5	图像识别的三个等级	43
2.6	大脑对体视的可塑性	45
2.7	Julesz 协同模型的根据	48
2.8	Julesz 在深度知觉研究上给人的启示	49
第三章	双眼立体视觉的神经生理学研究	51
3.1	纹状视皮层的双眼驱动细胞	51
3.2	双眼视差敏感细胞的发现	52
3.3	对双眼视差敏感细胞研究的质疑	55
3.4	从清醒猴子上测得的对视差敏感的皮层细胞	56
3.5	立体视觉诱发脑电的研究	61
3.6	和两眼联系有关的神经组织对立体视的影响	68
3.6.1	视交叉	68
3.6.2	胼胝体	68
第四章	频差和双眼立体视觉	71

第一部分

4.1	空间频率.....	71
4.2	人眼的调制传递函数 (MTF) 和反差敏感性函数 (CSF)	72
4.3	视觉系统的空间频率通道.....	76

第二部分

4.4	一种新的体视——频差所引发的体视.....	83
4.5	深度倾斜和频差之间的关系, “频差率” 的提出	84
4.6	频差和视差的关系.....	88
4.6.1	立体图对的频率分析	88
4.6.2	频差克服视差	96
4.7	频差引发的思考.....	97
4.7.1	双眼立体视和激光全息术有类似之处吗? ...	97
4.7.2	生物视觉神经系统中存在对频差敏感的细胞吗?	99
4.7.3	可以从频差出发建模吗?	99

第五章 双眼融合的时空特性

		100
--	--	-----

5.1	双眼融合允许的延迟时限.....	100
5.2	交替呈现给左右眼静态随机点立体图对的时间特性.....	104
5.3	深度感知和图像元素的数量关系.....	105
5.4	双眼匹配中二图尺寸的最大差别.....	109
5.5	图像滤波后的匹配.....	110
5.5.1	光学滤波	111
5.5.2	数字滤波	113
5.6	深度感知和图像质地的关系	114

5.7	图像噪声对双眼匹配的影响	115
5.7.1	儿童和成人对噪声耐受容限不同	115
5.7.2	视差大小在噪声耐受容限上的差别	116
5.7.3	深度上图形大小对双眼融合抗干扰的影响	117
5.7.4	深度上图形结构对抗干扰力的影响	118
5.7.5	背景质地和抗干扰能力的关系	118
5.7.6	在不同空间频率通道中噪声对体视匹配的影 响	118
第六章	一些体视模型	120
6.1	Julesz 的协同模型	120
6.1.1	立体视觉中的协同现象	120
6.1.2	弹簧偶极子协同模型	122
6.1.3	模型对体视现象的解释	125
6.2	Marr 的视觉计算理论及其在双眼匹配中的应 用	126
6.2.1	Marr 其人	127
6.2.2	Marr 提出视知觉计算理论的背景	127
6.2.3	Marr 对感知觉计算研究的三个层次	128
6.2.4	Marr 的视觉计算理论的框架	131
6.2.5	应用计算理论于双眼匹配	134
6.2.6	对计算理论的一般评价	139
6.3	双眼频差平行加工深度的模型	140
6.3.1	双眼频差平行加工的设想	140
6.3.2	计算机模拟及结果	142
6.3.3	讨论	144
第七章	用立体技术观察一些经典视觉现象	146
7.1	几何错觉	146
7.2	立体运动检查器	149

7.3	正方体的翻转·····	149
7.4	Pulfrich 现象 ·····	150
7.5	主观轮廓·····	150
7.6	视觉后效应·····	152
7.7	小结·····	154
第八章	双眼立体视觉的重要性及其应用 ·····	155
8.1	进化赋予了动物和人类视觉的特殊功能·····	155
8.2	双眼立体视对日常生活的重要性·····	156
8.3	双眼立体视的检查·····	158
8.3.1	深经觉计 ·····	158
8.3.2	TNO 的测试 ·····	159
8.3.3	Titmus 的测试 ·····	160
8.3.4	Frisby 的测试板 ·····	161
8.3.5	我国第一本双眼立体检查图册 ·····	162
8.3.6	SVT 软件 ·····	162
8.3.7	对婴幼儿体视的客观评估 ·····	163
8.3.8	立体检查所存在的问题 ·····	164
8.4	双眼立体视的具体应用·····	165
8.4.1	立体图对在生物学上的应用 ·····	166
8.4.2	三维生体测量学 ·····	171
8.4.3	在航测中的应用 ·····	173
8.4.4	在电影、电视以及其它文化艺术上的应用 ···	173
8.5	三维物体的显示·····	175
8.5.1	深度转换为二张平面图的规律 ·····	176
8.5.2	书本上的显示法 ·····	177
8.5.3	手制随机点立体图对 ·····	179
8.5.4	计算机产生随机点立体图对 ·····	179
8.5.5	立体艺术画的制作原理 ·····	180

参考文献	184
图版	189

第一章 双眼立体视觉的生物学基础

1.1 人和哺乳动物视觉系统的解剖通道

1.1.1 眼球

眼球是视觉系统的感受器官，外界的光线信息进入眼球后由它将光信号转变为电信号再传输到脑中。因此它的功能好像是一个摄像机。过去都愿意将它和照相机作比较。的确，眼睛和照相机以及摄像机的结构有很多类似的地方，都可以分成聚光和感光两大部分。图 1-1 是一个人的切面图。从图中可以看到整个眼球包裹在一层巩膜内，好像是照相机的黑箱。眼球的聚光部分是由水晶体和玻璃体来组成，像照相机或摄像机的透镜，它的功能是将外界的光线聚到后面的视网膜上，而由于有睫状肌的拉伸，使水晶体可以变形，以调节水晶体的屈光度使光线能正巧聚焦到网膜上。这样，像就更清晰了，这就如同变焦距摄像机的镜头那样。一般水晶体的聚焦能力为 2m 距离内可以调节。

眼球的后端是由三层细胞（视感受细胞、中间联系细胞以及神经节细胞）所组成的视网膜，也是眼球的感光部分，等于照相机的底板或是更像摄像机的靶，是将光线转变成电信号然后向脑中传输的主要部分（图 1-2）。但是它比摄像机的靶要复杂得多。在这网膜中除了信息的形式作了光电转换外，也经过了信息加工，并非是一点光转成一个电信号似的向上级传递，这在 1.2 中将会较详细的介绍。总之，加工后的信

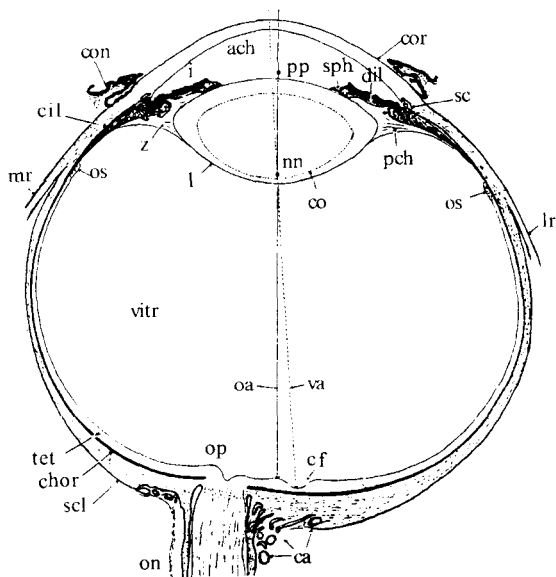


图 1-1 成人眼球横切面。右侧为颞侧，左侧为鼻侧。ach. 前房；ca. 睫状动脉；cf. 中央凹或黄斑；chor. 脉络膜；cil. 睫状体；con. 结膜；cor. 角膜；dil. 瞳孔扩张肌；i. 虹膜；l. 晶体；ir. 外直肌（睫）；mr. 内直肌（睫）；nn. 眼睛的双节点；oa. 光轴；on. 视神经；op. 视神经乳头；os. 锯齿缘；pch. 后房；pp. 双主点；tet. 网膜；sc. 静脉巩膜窦；scl. 巩膜；sph. 瞳孔括约肌；z. 睫状小带；va. 视轴；vitr. 玻璃室或玻璃体。

视轴，从角膜的最前表面至网膜的最后面，其真实长度为 21mm。从网膜至网膜的横断面的长度为 21.5mm。注意三层外包被厚度的变化；它们最厚部分都是位在后边；巩膜最薄处是沿着鼻侧的赤道；脉络膜则最薄是沿了眼球的赤道；网膜最薄处则在锯齿缘；角膜是越到端顶部越薄；巩膜其曲率半径则是逐点不同，鼻侧和颞侧亦不同，因此使眼球的形状不对称。

息将由网膜最后一层神经节细胞的轴突以电脉冲的形式向脑中传输。

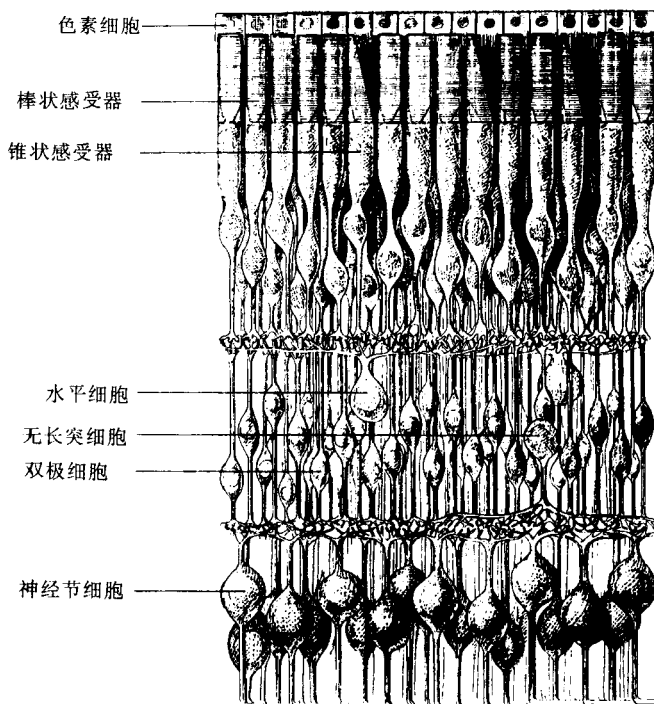


图 1-2 网膜结构示意图。网膜共分三层细胞：感受细胞层、中间联系细胞层及神经节细胞层。神经节细胞的轴突（输出）构成视神经纤维。（引自 Hubel, D. H.）

1.1.2 视交叉

神经节细胞的轴突合起来组成视神经。双眼来的二条视

神经在到达脑之前有一个交叉，即左边来的视神经纤维有一部分通向右边，右边来的则有一部分通向左边。这一交叉部位称之为视交叉。交叉纤维的多少往往和双眼在头上的位置有关。双眼愈在两侧交叉纤维愈多，直到两眼逐渐向前移，当并列排在前面时，其交叉正好是一半到同侧，一半到对侧，交叉纤维为 50%。像兔子眼睛分在两侧，它的视交叉是左边来的纤维全部到了右边，而右边来的纤维则全部去到了左边，为 100% 交叉，这样兔子左侧的景像就全部到了右脑，而右边的

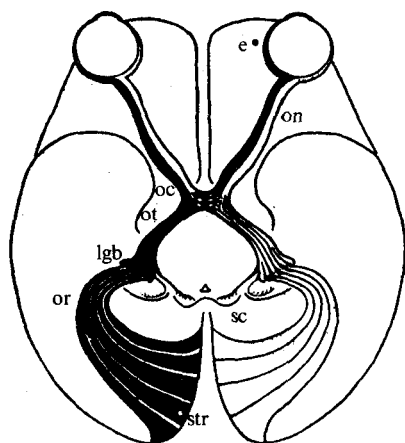


图 1-3 较高等哺乳类动物的视网膜-外侧膝状体-皮层通道图解。是从下面观察脑子的；通过一定技巧的手术，把眼球和视神经从眼窝中剥离出来，保持与脑的正常位置关系。这个图的上方代表前面。每个视网膜的右半边用黑色表示，它们投射到皮层右半球（对应图上的左边，因为这个图是从下面观察的），因此皮层右边所接受的两个眼的输入同左半视野相联系。e. 眼球；on. 视神经；oc. 视交叉；ot. 视束；lgb. 外侧膝状体；Sc. 上丘脑；or. 视放射；str. 纹状皮层。（引自 Polyak, 1957）

1957)