

高等院校规划教材

VISION

Information and Applications

视觉信息应用技术

◎ 章海军 编著



高等院校规划教材

视觉信息应用技术

章海军 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

视觉信息应用技术 / 章海军编著. —杭州: 浙江大学出版社, 2013. 8
ISBN 978-7-308-11926-9

I. ①视… II. ①章… III. ①视觉信息 IV.
①B842. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 176096 号

视觉信息应用技术

章海军 编著

责任编辑 杜希武
封面设计 刘依群
出版发行 浙江大学出版社
(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 浙江时代出版服务有限公司
印 刷 富阳市育才印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 11.25
彩 插 1
字 数 273 千
版 次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-11926-9
定 价 25.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

序 言

人类社会已经进入信息时代,为了接收周围世界的大量信息,人类进化出了多种多样的感觉和知觉功能,包括视觉、听觉、味觉、嗅觉和肤觉等。而在这五大知觉中,视觉信息占全部信息的80%以上,尤其是在高度信息化的今天,视觉信息所占的比例更是有增无减。视觉,作为人类最重要的知觉功能,正越来越发挥着更重要的作用。

人们对视觉的认识可以追溯到远古时代,而对视觉的系统研究则始于19世纪末期。近几十年来,视觉研究得到了快速的发展,产生了视觉生理学、视觉心理学、心理物理学、生理光学、视觉光学、视觉认知学、视觉仿生学等新兴学科,形成了视觉科学研究及其应用的完整体系。全面了解和学习视觉及其信息处理功能的知识,揭示视觉的奥秘,掌握视觉信息的应用技术,不仅有助于全面认识人类自身的视觉系统及功能,提高日常生活和工作的质量,同时可将这些知识应用于现代工业、现代农业、科学技术、国防及国民经济与社会发展的其他重要领域,更好地为人类服务。

为了适应有关视觉奥秘与视觉信息应用技术的教学、科研及知识普及等方面的新要求,我们编著了《视觉信息应用技术》一书。本书既涵盖了现有的视觉及其应用技术、视觉光学及其他视觉著作的主要内容,又充实了最新的视觉信息研究及应用成果,拓展了教学内容和研究应用范畴。其特色是全面阐述视觉系统的结构及信息处理与感知功能方面的基础知识、先进方法和应用技术,与信息时代紧密结合。通过本书的学习,可掌握人与动物的眼球与视觉系统的结构及功能,全面了解视觉系统的秘密;掌握视觉的空间分辨能力、时间分辨能力、视觉暂留、运动视觉、图形与图像识别等,揭示奇趣视错觉的机理;全面学习掌握立体视觉与三维(3D)立体成像原理;学习与揭示颜色视觉、色弱、色盲的机理及奥秘;学习掌握3D立体成像技术、视觉仿生技术及视觉应用技术,包括视力测试及验光配镜技术、色盲检查、立体图对/图像与3D立体图制作技术、立体照片制作技术、3D立体影视拍摄与制作技术,以及复眼与晶体眼的视觉仿生技术、鱼眼及全景成像技术、蛙眼的仿生技术、萤眼图像增强器、鸽眼仿生技术等。总之,这是一本集科学性、知识性、趣味性、启迪性和应用性于一体的专业图书和教材。

本书的主要内容包括三大部分:第一部分第一章至第四章分别为视觉概述、视觉光学系统及屈光学、视觉生理学系统和视觉的基本功能;第二部分第五章至

第八章阐述视觉的高级功能,分别为形状与图形视觉、视错觉、立体视觉、颜色视觉、运动视觉等;第三部分第九章至第十一章阐述视觉信息应用技术,主要包括光学仪器及检测技术、各类3D立体成像技术及立体影视技术、视觉仿生技术等。

由于作者水平所限,撰写书稿时间上也略显仓促,书中不足或不当之处在所难免,敬请广大读者指正。

作 者

2013年6月于浙大求是园

目 录

第一章 视觉概述	(1)
1.1 感觉和知觉	(1)
1.2 人类的视觉系统和视觉功能	(2)
1.3 视觉的研究成就及应用	(5)
第二章 视觉光学系统	(9)
2.1 视觉研究简史	(9)
2.2 眼球的结构	(10)
2.3 眼球的光学系统	(15)
2.4 屈光学概述	(20)
2.5 眼的调节及信息处理机制	(21)
2.6 屈光不正的类型及矫正	(26)
2.7 屈光不正的检查	(30)
第三章 视觉神经生理学系统	(33)
3.1 人和动物的眼睛概述	(33)
3.2 视网膜的结构	(34)
3.3 视网膜的感光机制	(38)
3.4 视觉通路	(39)
3.5 视觉信息的处理	(41)
3.6 视觉电生理与感受野	(42)
第四章 视觉的基本功能	(47)
4.1 视觉的光刺激	(47)
4.2 空间辨别能力	(50)
4.3 时间辨别能力	(52)
4.4 明视、暗视和间视	(53)
4.5 眼球运动	(55)

第五章 视觉对图形图像的识别	(60)
5.1 形状与图形视觉	(60)
5.2 视觉对图像的识别	(66)
5.3 视错觉	(69)
5.4 图形后效现象及其机制	(75)
第六章 立体视觉	(77)
6.1 视觉与空间环境	(77)
6.2 双眼视觉与双眼视差	(79)
6.3 立体视觉机制	(81)
6.4 环境与心理暗示对立体视觉的影响	(84)
第七章 颜色视觉	(89)
7.1 光与颜色	(90)
7.2 颜色视觉现象	(95)
7.3 颜色视觉理论	(98)
7.4 色觉缺陷	(103)
第八章 运动视觉	(107)
8.1 运动视觉概述	(107)
8.2 运动视觉的物理刺激和功能特征	(113)
8.3 运动视觉的机制与模型	(116)
8.4 深度方向运动及其视觉检测机制	(118)
8.5 表观似动的对应匹配法则	(120)
第九章 视觉仪器及检测技术	(125)
9.1 视觉仪器概述	(125)
9.2 视觉检测技术及仪器	(125)
9.3 视觉光学治疗仪器与技术	(131)
9.4 视觉功能测试技术及仪器	(134)
9.5 其他视觉检查仪器	(141)
第十章 三维立体成像技术	(143)
10.1 三维立体成像技术概述	(143)
10.2 立体图对与立体图片制作技术	(144)
10.3 立体镜	(150)
10.4 立体摄影及立体照片制作技术	(151)
10.5 3D 立体影视及制作技术	(155)

10.6	三维投影显示技术	(158)
第十一章	视觉仿生技术及其应用	(160)
11.1	视觉仿生学简介	(160)
11.2	人类视觉的仿生技术	(161)
11.3	复眼及其仿生学应用	(164)
11.4	视觉仿生学的其他应用	(165)
参考文献		(169)

附图

1.1 感觉和知觉

人类社会已进入信息时代,日常生活和工作中的信息量正在爆炸性地增大。对信息的接收和处理,人们可以借助于越来越发达的计算机及其相关技术;但就人类个体而言,对外界信息的接收和感知仍依靠自身的五大感觉或知觉系统,即肤觉、味觉、嗅觉、听觉和视觉(Vision)。当然,随着时代的发展,人类的感受和知觉功能也在不断进化,或者可借助于现代的技术手段与仪器使自身的感觉或知觉功能得到增补和拓展。唯其如此,世界也正变得越来越丰富多彩。

肤觉是触、温、冷、酸、痛等感觉的统称。人的肤觉器官是皮肤,它是人体表面面积最大的结构,成人的皮肤面积约为 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}^2$ 。皮肤感受器的细胞体位于对侧脊髓的后根。肤觉的神经通路有两种:一种是脊髓丘脑通路,传递轻微触觉、痛觉和温度觉的信息;另一种是后索通路,传递精细触觉如两点辨别及复杂的触觉等的信息,此外还传递本体觉如肌、腱、关节等感觉的信息。传递肤觉信息的脊髓丘脑通路和后索通路最后都投射到大脑皮质的中央后回,这里是肤觉的皮质中枢。

味觉与嗅觉并称为化学感觉,引起这些感觉的刺激是盐、酸、糖、香料等化学物质。味觉是用来辨别食物和药物的味道的,味觉的基本种类有四种:咸、甜、苦、酸。味感受器是舌头上的众多味蕾,由味觉细胞与支持细胞组成。味觉细胞与来自皮下神经丛的神经纤维相连。所有味觉神经纤维在延髓中组成孤束并终止于孤束核,味觉信息由孤束核换神经元进入丘脑。在丘脑的弓状核中,味觉神经从丘脑进入皮质的颞叶区。

嗅觉是另一种化学感觉。负责嗅觉的器官是鼻子,其中分布着上亿个嗅觉感受细胞。嗅感受细胞的轴突通过筛骨和二级嗅神经元的树突在嗅球中连接,二级神经元的轴突形成嗅束,嗅束再在嗅结节换成三级神经元到达大脑的边缘系统,这是嗅觉的最高中枢。

听觉的刺激是周围媒质(主要是空气)的振动。人耳所能听到的声波频率范围大约在 20 Hz 到 2 万 Hz 之间,低于 20 Hz 的声波称为次声波,高于 2 万 Hz 的称为超声波。听觉是人类的重要感觉功能。借助于听觉,人与人之间可以进行语言交流,欣赏优美动听的音乐,享受丰富多彩的现代生活。但听觉系统也存在明显的局限性,因为人耳并不是一个“高传真”的频率分析系统,容易产生升沉、失真和掩蔽等现象。人耳的这些局限性,降低了它作为完善的频率分析系统的功能。此外应该指出,人类的听觉功能在某些方面远远不及蝙蝠和海豚等动物。即使不用视觉,这些动物也能够有效地利用听觉定位、导航和捕捉猎物,蝙蝠甚至可凭听觉在一米远处发现直径为 $70 \mu\text{m}$ 的金属丝。这些听觉功能为人类所不及。幸

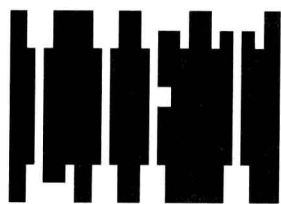
好,人类具备十分完善的视觉功能和极高的智能。

视觉是人类及高等动物最重要的知觉功能。人类社会已进入信息时代,人们在日常生活和工作中接收的外界信息,正呈爆炸性增长的趋势,而这些信息有 80% 以上来自视觉。视觉,不仅是多数生物赖以生存的手段,也是人类学习、工作及享受现代生活所不可或缺的知觉功能。

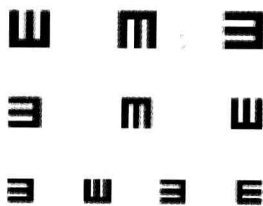
人的视觉感受器是双眼。视觉的刺激是周围世界中丰富多彩的光学信息,包含光波长、光强度、对比度及颜色等特征。人眼的光学系统将景物清晰地成像在视网膜上,视网膜上的视细胞把光信号转变成电信号,再通过由逐级的神经细胞和神经纤维组成的视觉通路,将信息传递到位于后脑的视觉皮层(视中枢),最终形成视觉。与其他的感觉器官不同,人眼的视网膜上就分布有各种神经细胞,实际上,可以认为视网膜就是大脑的一部分,是人类千万年进化过程中大脑向前的延伸。因此,视觉系统不仅具有感觉功能,它还是一种更高级的知觉和认知系统。这种结构和功能仅为视觉所特有,也足以说明视觉对于人类的特殊地位。有关视觉系统的结构和功能的详细情况,正是本书在以后的章节中所要具体介绍的内容。

1.2 人类的视觉系统和视觉功能

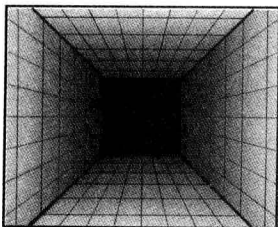
在日常生活和工作中,人们常常用各种赞美的语言来描述和形容自身的眼睛或视觉。如水汪汪的大眼睛、眼睛是心灵的窗户、要像爱惜自己的眼睛那样爱惜珍贵的物品、眉清目秀、眉目传情、目光炯炯、目光如炬,以及一目了然、一目十行等。足见眼睛及视觉对人类的重要性。人眼为什么能从不完整的轮廓中识别出有意义的图案;能够分辨微小的细节;能够感知各种绚丽的颜色;可以获得空间立体知觉?又为什么能够看到钟表秒针的运动而分针和时针看起来不动?这些问题,涉及人眼的轮廓与形状视觉、图形视觉、视敏度、颜色视觉、立体视觉、运动视觉等功能,参见图 1-1。



轮廓与形状 (字形为LIFT)



视觉分辨



空间深度



静止与运动

图 1-1 人眼的各种视觉功能

图 1-2 所示的辐射状图案,无论怎样聚精会神去观察,整个图案看起来总是不稳定的,或晃动,或闪烁,或沸腾。这是因为眼睛总是在不断地搜索和微调。注视图 1-3 的灯丝图形约一分钟,然后将目光快速移开到旁边的白纸上,又是另外一幅奇妙的景象:原来白色的灯丝变成了黑色,而黑色的地方却变成了白色背景。稍后我们会知道,这种黑白或彩色反转的像称为视觉后像,将在以后的章节中讨论后像产生的原因。

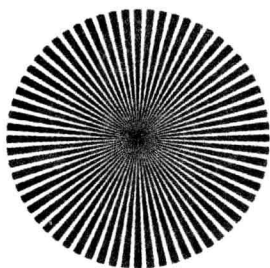


图 1-2 视觉不稳定图案

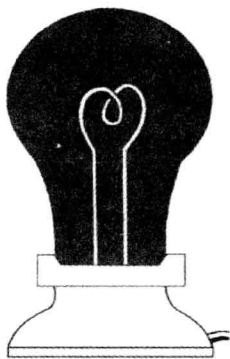


图 1-3 奇妙的后像

俗话说,“耳听为虚、眼见为实”,指的是听到的不一定准确,而亲眼看到的才是真实可信的。而事实上,眼睛感觉到的也不一定都是准确无误的。请看图 1-4 所示例子,左边的图形看起来歪歪扭扭,其实每一条横线都是平行线,此类错觉是由背景的干扰而引起的,这也提示我们在作装潢与工程设计时必须充分考虑视觉的特点和规律。在注视右图中心黑点的同时,将身体以一定速度向前倾或向后仰,可以感觉到内外两个圆环在转动,而且转动的方向相反,这一现象可以归类为一种特殊的运动视错觉。

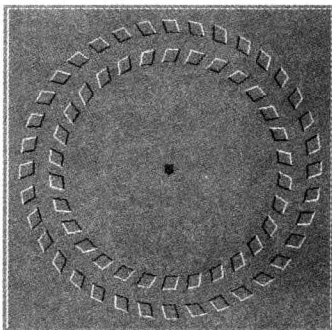
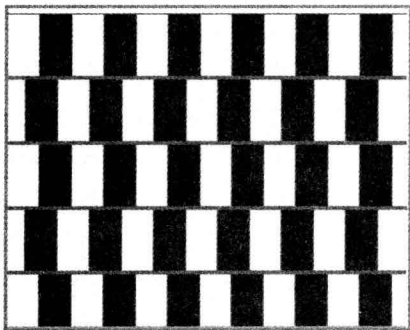


图 1-4 图形视错觉与运动视错觉

视觉系统在结构上可分为视觉光学系统和视觉神经系统两部分。视觉光学系统指的是从角膜到视网膜的眼球光学系统,包括角膜、房水、晶状体和玻璃体等光学元件。此外还有一个可迅速改变直径的瞳孔,用以调节进入眼球的光通量,相当于照相机的光圈,位于眼底的视网膜的作用则相当于照相底片。整个视觉光学系统类似于一架照相机,但前者的功能又远非照相机可比拟。视觉光学系统的作用并不仅仅是将周围景物如实地成像到视网膜上,而且具有更高级的信息接收、转换、传递和分析功能。视觉神经系统则包括从视网膜到大脑视皮层的视觉通路的各级神经元。这些神经元的轴突或树突在纵向形成复杂的突触结构,将视觉信息逐级向上传递和处理,同时在横向也形成一定的突触连接,以利于信息的整

合,使人眼感知的景物构成完整的整体,并使我们获得立体视觉、运动视觉等高级视觉功能。事实上,即使在大脑视皮层,视觉信息也存在由低到高、由简单到复杂的逐级传递、整合和处理的过程。比如,位于大脑功能定位区的17、18和19区的视皮层中,存在简单型神经细胞、复杂型神经细胞、超复杂型神经细胞乃至“教皇”细胞等层次。借助于复杂和完善的视觉系统,我们获得了无与伦比的视觉功能。

人眼能接收的光亮度(Brightness)具有很大的动态范围。研究发现,一个光子的强度即可引起视觉系统的反应;而在夏日正午炽热的阳光下,我们依然具有良好的视觉。在光度学上,往往采用绝对黑暗、一个光子、星光、月光、月面、白昼、日光到日面等来描述亮度的不同等级。人眼可以在其中的绝大部分亮度下均获得适宜的视知觉,亮度值跨越从 10^{-6} mL(毫朗伯, $1\text{mL}=3.183\text{cd}/\text{m}^2$)到 10^8 mL的广阔区域,即100万亿倍。视觉的这种接收和分辨能力,是听觉等其他感觉所不能比拟的。在不同的光亮度下,我们拥有不同的视觉。从 10^{-6} mL(绝对刺激阈)到1 mL(月光下的白纸)表现为暗视觉,在1 mL和 10^7 mL之间为明视觉,暗视觉和明视觉之间由间视或混合视觉过渡。超过 10^7 mL的亮度,如中午的日面,可能对视觉系统造成损伤,不过,那已经是自然界所存在的个别极端亮度。在现实生活和工作中,人眼对光亮度的动态接收范围,已经足以保证我们观察和欣赏这个生机勃勃的世界了。

我们生活在一个色彩斑斓的世界中,为此拥有十分完善的颜色视觉功能。人眼可见的光谱范围大约在波长 $380\sim 780\text{nm}$ (纳米, $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)之间,虽然这一范围在整个电磁波谱(从 10^{-14}m 的宇宙射线到 10^6m 的无线电波)中显得微不足道,但却包含了太阳光谱中最主要的波长范围,因此已足以感受日常生活和工作中的几乎全部颜色。如波长 $380\sim 400\text{nm}$ 的光被感知为紫色,435nm的光为蓝色,此外还有蓝绿色或青色(500nm),绿色(540nm),黄色(590nm),橙色(620nm),红色(700nm)等。其中红、绿、蓝为一切色光的基本色,称为三原色,利用不同比份的三原色可以混合匹配出任何颜色。据计算,人眼可以区分数百万种不同的颜色,或者说能够区分出它们之间的差别,在现实中,大多数人大约能分辨数万种颜色。

根据大爆炸理论,宇宙是一个四维的时空,其中的一维是时间,空间是三维的。为了适应这个三维的立体世界,人眼不仅具有明暗、颜色及形状视觉功能,而且还进化形成了良好的空间知觉和立体视觉功能。立体视觉功能得益于我们的双眼,它们在各自的位置同时观察周围的景物,获得两幅相同而又略有差别的视网膜像,这些差别称为双眼视差。大脑根据视差的大小将来自双眼的图像信息重新整合,使我们获得与实际景物一样的深度感。可见,大脑并不是将来自双眼的图像作简单的叠加,而是经过了光学、生理学乃至心理学的处理,最终形成立体视觉。尽管单眼利用景物的亮度、阴影、大小、颜色等暗示也可获得立体视觉,但这是日常经验型的立体视觉。真正的立体视觉,其基础是双眼视觉所包含的双眼视差,这已被随机点立体图对所证明。当双眼同时观察随机点立体图对时,只要左右图对中存在视差,同样可获得逼真的立体效果。而用单眼分别观看这些图形时,只能看到成百上千个毫无规律的随机点。

运动视觉是人类的另一种高级视觉功能。运动是自然界一切事物的永恒主题,世界总是处于不断的运动和变化之中,运动视觉也是动物为适应自然而不断进化的结果。对于某些动物如蛙类、猎鹰、蜜蜂及苍蝇而言,运动视觉是它们赖以生存和繁衍的最重要手段。实际上,蛙类几乎没有静止视觉,即使在它们的周围布满了昆虫,如果昆虫一直静止不动,蛙类也可能因看不见食物而饿死。与此相比,人类不仅具有完善的静止视觉,而且还具备良好的

运动视觉,拥有对空间、时间、运动速度、运动方向的快速分辨和响应能力。也许人们都有这样的体会,在一片沙子中找一只静止的蚂蚁十分困难,而一旦蚂蚁爬动,我们就能立刻发现它。因为在这种情况下,我们仅需提取有用的运动信息,而对静止的目标视而不见,从而大大节约信息的处理量,保证我们能迅速找到它们的位置,并判断其运动速度和方向。在这些场合,运动目标的结构细节并不重要,只要能分辨它们的大致轮廓即可,重要的是它们的运动速度和运动方向信息。运动视觉的这种功能在军事上尤为重要,如我方飞机从空中搜索地面上的敌方坦克,如果坦克经过伪装且静止不动,就很难被发现;而当坦克移动时,就可轻而易举地发现并摧毁它。此外对于驾驶员等特殊职业的人员,运动视觉的作用也远远超过静止视觉。

人眼接收的光学信息中所存在的运动变化的物理刺激可以引起运动视觉,此时运动信息在空间和时间上均是连续的,所产生的运动视觉是真实的。但运动视觉的产生并不一定需要存在真实的运动物理刺激。空间上离散的目标,只要它们在适宜的时间内依次连续出现,同样可引起运动感。最典型的例子是城市中的霓虹灯。当一串灯泡被依次点亮时,在人们看来似乎是一个灯泡在向前运动;当两个间隔不远的灯泡被轮流点亮和熄灭时,其视觉效果似乎是一个灯泡在作往复运动,这种运动视觉称为表观似动或视在运动(Apparent motion)。此外,人眼还能产生许多运动视错觉。当一片云彩从月旁飘过时,我们往往认为云彩不动而月亮在动;理发馆门前旋转的彩条招牌,明明是在作水平旋转,看到的却是彩条在垂直方向运动;当你坐在静止的列车上通过车窗观察另一列从旁边缓缓驶过的火车时,可以明显感到是自己的列车在作反方向的运动而窗外的火车不动。运动视错觉有时可加以利用,如地面上的航空模拟器,只要在封闭的机舱前面设置一个显示屏作为观察窗,就可模拟飞机起飞、降落时的跑道情况及飞行时的飞行姿态,从而大大节约飞行员的培训费用,并降低危险性。但在某些场合,视错觉是又有害的,有些飞行员在云层间飞行时,明明飞机处在正常姿态,却常常发生飞机在倒飞的错觉,最终可能导致飞机失事。有关运动视觉的研究,将在第八章详细介绍。

在运动视觉中,还存在许多有趣的现象。当转动头部扫视周围景物时,尽管景物的视网膜像在作相应的移动,而在人眼看来景物并没有动,因为大脑已经对眼球的运动信息作出补偿。与之相反,尽管图 1-5 所示的图形及其视网膜像并不存在转动,但当扫视该图形时,似乎感觉到其中的圆环在慢速转动。这种转动现象在图形为彩色时尤为明显。这可能是由于眼球的不经意扫视运动造成的,这种扫视运动使图形的像在视网膜上改变位置,但视觉系统并没有意识到这种改变,也不对此进行补偿,从而产生旋转的视知觉。如果双眼注视图形中央的黑点,使眼球保持不动,转动的现象就会基本消失。

1.3 视觉的研究成就及应用

生理光学(Physiological Optics)的研究最早开始于法国。近年日本和美国都投入大量的人力物力开展这方面的探索,在人眼的结构和功能的研究中取得了显著进展,并已将这些研究成果广泛应用于日常生活、工业生产、科学技术、军事国防及仿生学等领域。视觉的主要研究成就有以下几个方面。

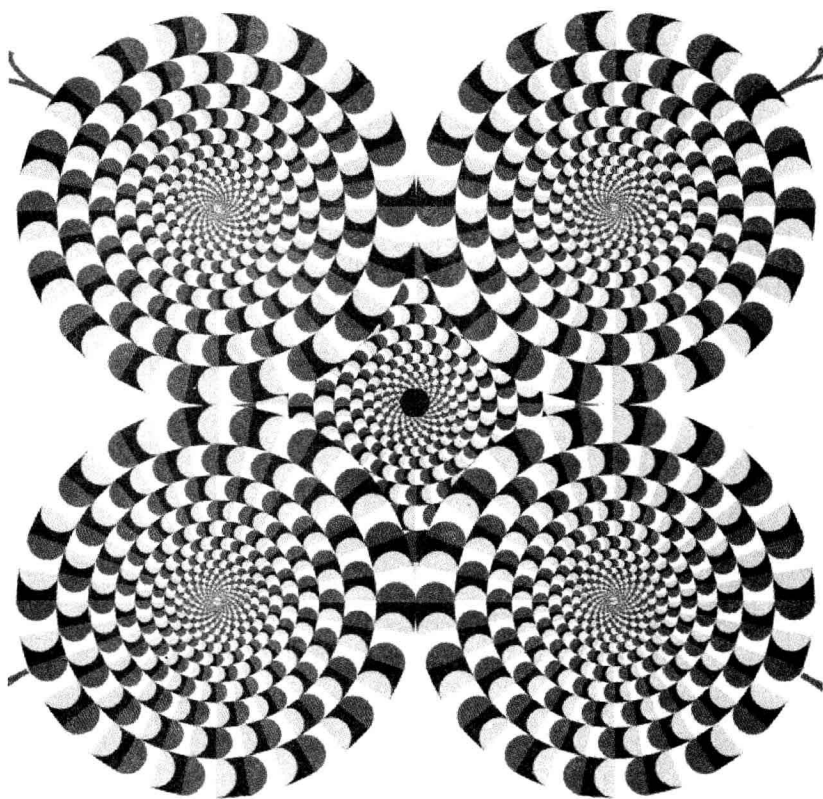


图 1-5 看似转动的图案

1. 眼球光学系统的构造。利用解剖学和光学方法揭示了眼球光学系统的结构及光学参数,以此为基础,对眼球光学系统的几何光学特性和光度学特性等有了深入而全面的了解。已经掌握眼球光学元件的光学常数,如角膜、房水、晶状体、玻璃体的曲率半径和折射率,瞳孔的直径等。这些参数决定了眼球光学系统的光学成像特性和调节特性。眼睛的光度特性则包括视网膜的感光 and 感色性能,瞳孔对光的反应速度,眼睛的各种阈限,包括最小视认阈、最小分离阈、最小符合阈、最小辨认阈等。这些特性为光学仪器的设计及视觉光学和眼科学的临床应用提供了依据。

2. 视觉的神经生理学基础。借助神经生理学与解剖学的知识和技术,深入研究了从视网膜到视皮层的整个视觉通路的构造和主要功能,已经完全掌握视网膜上的两种光感受细胞的构造和机能,并对更高级的视皮层的结构和功能有相当的了解。采用解剖学和电生理方法,掌握了视觉通路各级神经元的结构和相互间的连接,揭示了各级神经元的电响应及其在视网膜上的感受野区域。结合生物化学、扫描电子显微术、显微分光光度计、X 射线衍射、激光和超微探针的新技术,为阐明整个视觉神经系统的构造和全部视觉过程奠定了基础。

3. 视觉的基本功能。包括视觉的时间和空间响应特性,对光亮度的接收范围,对光频率(颜色)的敏感特性,明视、间视和暗视,以及眼球运动等。

4. 视觉的高级功能。如形状与图形视觉、图像识别、图形后效,以及联想、匹配、学习、记忆和认知。

5. 视觉的特殊功能。包括立体视觉、颜色视觉、运动视觉等。已经对立体视觉和空间视觉的机制作出全面的揭示。对于颜色现象和颜色视觉机制,提出了较为完善的理论解释。有关运动视觉和运动视错觉的研究,已经初步掌握了视觉的空间和时间分辨特性,运动速度和运动方向感知特性等。

视觉研究相关应用例证不胜枚举。近年来迅速发展起来的视觉光学,正是基于视觉光学系统的结构与功能研究的成果。在我国,青少年的近视发病率居高不下,近视的防治和矫正十分迫切。根据视觉光学系统的特点,人们发展了多种近视防治仪器及防治方法,以及用于测定眼睛屈光能力的各种主观和客观的验光仪器。正是因为对视觉光学系统的结构和功能有了深入了解,人们才采用凹透镜、凸透镜、柱面镜来分别矫正近视、远视和散光,后来还进一步发明了接触眼镜即隐形眼镜。近来,采用激光角膜手术方法矫正近视,也取得了相当的成功。白内障手术后植入的人工晶体,是根据人眼晶状体的结构与屈光特性而设计的。为了使这类病人获得更好的视觉,研究者在普通人工晶体的基础上发展出多焦人工晶体,植入眼内后,病眼可以完全像正常眼一样对远近不同的目标成清晰像,避免了普通人工晶体植入后需配戴高度远视镜的不便。

视觉系统的结构和功能研究及其仿生学应用,对现代工业、军事、国防和科学技术的各个方面起到了借鉴和推动作用。人们根据视觉神经系统的结构与功能,发展了多种神经网络技术,而计算机视觉和机器人视觉,则大多借鉴了视觉系统对信息的接收、编码、传输与处理方法。在仿生学方面,科学家根据蛙眼只对运动目标敏感而对静止目标熟视无睹的特点,发明了蛙眼雷达,大大节省了信息处理量,提高了反应速度,从而可以迅速地发现敌方飞机的入侵。参照蜜蜂和苍蝇的跟踪方式发展起来的导弹制导寻的系统,能够紧紧咬住敌方目标而一举摧毁它。此外,在工业流水线上,根据鸽眼对特定目标的识别能力特别强的特点而研制的工件识别系统,可以快速地发现不合格的产品,保证工件的质量。

在日常生活中,视觉研究成果的应用也比比皆是。照相机的原理,实际上与眼球光学系统完全一致,照相机的镜头相当于晶状体,镜头后面设置的光圈,对应于人眼的瞳孔,照相底片相当于视网膜。所不同的是,照相机是将目标机械而静止地记录在底片上,而眼睛则将周围世界的景物动态地反映到大脑,从而引起大小、远近、颜色及运动等视知觉。因此,照相机的结构和功能远远不及眼球光学系统那么完善。电影、电视的发明,其基本依据就是视觉系统对时间频率和空间频率的响应特性,通俗而言是基于对视觉残留现象的研究。电影的帧频是每秒 24 幅,按照这一速度放映的不连续画面,在人眼看来在时间上是连续的。当然,相邻画面中对应目标之间的空间变化间隔也应按照一定的规律变化,即应考虑人眼的空间分辨特性。画面的间隔太大,在人眼看来空间上仍不连续,而是呈跳跃状态,如某些制作质量不好的动画片。

由于视觉系统是大部分光学仪器的最终接收端,因此光学仪器的设计几乎都需要考虑视觉系统的结构与功能参数。放大镜和显微镜是为了把微小的物体放大到能符合眼睛固有分辨率的程度;望远镜是将远处目标对眼睛所张的视角放大到眼睛能清晰而舒适观察的程度,即将不能直接用肉眼观察到的远处目标的细节视角放大到人眼的极限分辨角以上。此外,水准仪、经纬仪、光度计、色度仪等传统光学仪器的研制,都考虑了视觉光学系统的视敏度、光度、色度及体视等功能特征。

借助于颜色视觉,我们看到了一个色彩缤纷的世界。同时,根据颜色视觉的原理,人们

发展了各种各样的造福于人类、给人以美的享受的方法与技术。绘画中的颜料配置,是基于颜料三原色的相减匹配原理;彩色电视上合成的彩色,则是根据色光三原色的相加匹配原理。彩色电影与彩色照片技术的发明,同样考虑了它们的最终接收终端是视觉特别是颜色视觉的事实。在临床上,色觉研究的成就还为色盲的防治提供了依据。虽然目前要彻底矫正色盲还比较困难,但随着颜色视觉机制研究的深入,总有一天色盲者眼前那片灰蒙蒙的世界会变得一样色彩斑斓。

立体镜、立体照片、立体电视和立体电影等的发明,都是基于立体视觉的研究成果。当我们观察具有三维形状和深度的实际目标时,在双眼视网膜上可形成两幅基本相同的目标图像,这两幅图像之间存在一定的差别,即双眼视差。当图像信息传递到大脑视皮层时,大脑即可将这两幅图像融合成一幅完整的目标图像,并且从双眼视差信息中恢复出三维形状和深度信息。这就是立体视觉的机制。反过来,只要双眼同时看到同一目标的两幅有视差的图像,即使原来并不存在实际的目标,视觉系统仍然能够恢复并观察到立体的目标。这正是上述立体显示技术的基本原理,也是立体视觉的典型应用。

如前所述,对运动视觉的研究促进了在航空航天、交通及军事等领域的仿生学应用。目前,有关运动视觉的研究方兴未艾,随着视觉科学的发展,人们必将开拓出越来越多的视觉研究的应用领域。

2.1 视觉研究简史

视觉的感受器是眼睛。从某种意义上说,人眼同时具有“成像光组+光电变换系统”的作用,可比拟为一架照相机,更确切地说类似于一架数码摄像机。它的屈光成像装置主要是晶状体,相当于照相机的镜头,瞳孔的作用与可变光圈(光阑)类似,眼球壁相当于暗箱,而视网膜相当于彩色感光胶片或 CCD 与 CMOS 等光电接收器。

其实,人眼的结构、机理和功能,绝非任何照相机所能比拟。当人们用眼睛观察周围的景物时,瞳孔自动调节直径以适应外界光线的强弱,晶状体则将光线清晰聚焦到视网膜上。对于照相机而言,必须采用由多个透镜组成的镜头组才能实现清晰调焦,每实现一次调焦都需要耗费一定的时间,而眼睛的单个晶状体功能就等同于照相机的镜头组,甚至功能更加完善,而且整个调焦过程几乎瞬间完成。外界景物经眼球光学系统成像后,视网膜上的感光细胞将这些光信号转变成生物电信号,由神经系统逐级传递至大脑;大脑再依据经验、记忆、分析、判断和识别等极为复杂的过程,最终产生视觉(图 2-1)。

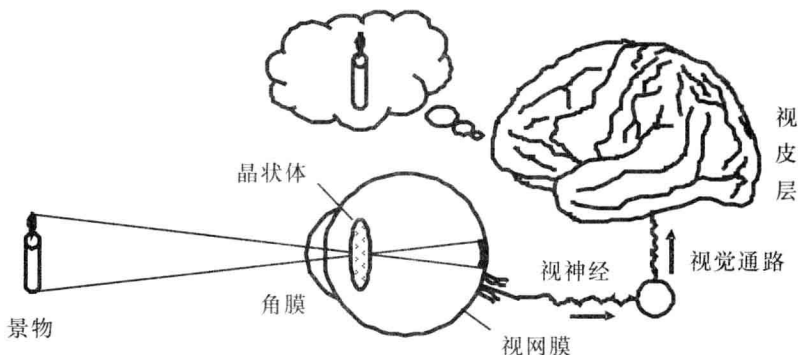


图 2-1 视觉的形成过程示意图

自古以来,科学家们就一直在探究“眼睛是怎样工作的?”这一使人迷惑不解的问题。早在公元前 500 年,古希腊医师希波克拉底(Hippocrates)和亚里士多德(Aristotle)就已经开始研究眼睛的构造,并得到了眼睛结构相当精确的知识。据说,古希腊的医生们还能对眼睛施行精细的外科手术,但是,他们并不了解“视觉”这个基本事实。

加伦(Galen,129—201)对动物的眼睛进行了观察,并提出了自己的学说。他对视觉的观点在 15 世纪前一直得到广泛的信奉。但是他的观点有两大错误,其一,以为眼睛的光感受器不是视网膜而是晶状体;其二,认为视觉是借助于晶状体辐射的光而完成的。按照这一