

高等学校数字媒体专业规划教材

数字视频与音频技术



黎洪松 陈冬梅 编著



YZLI0890121998

TN941.3

版社

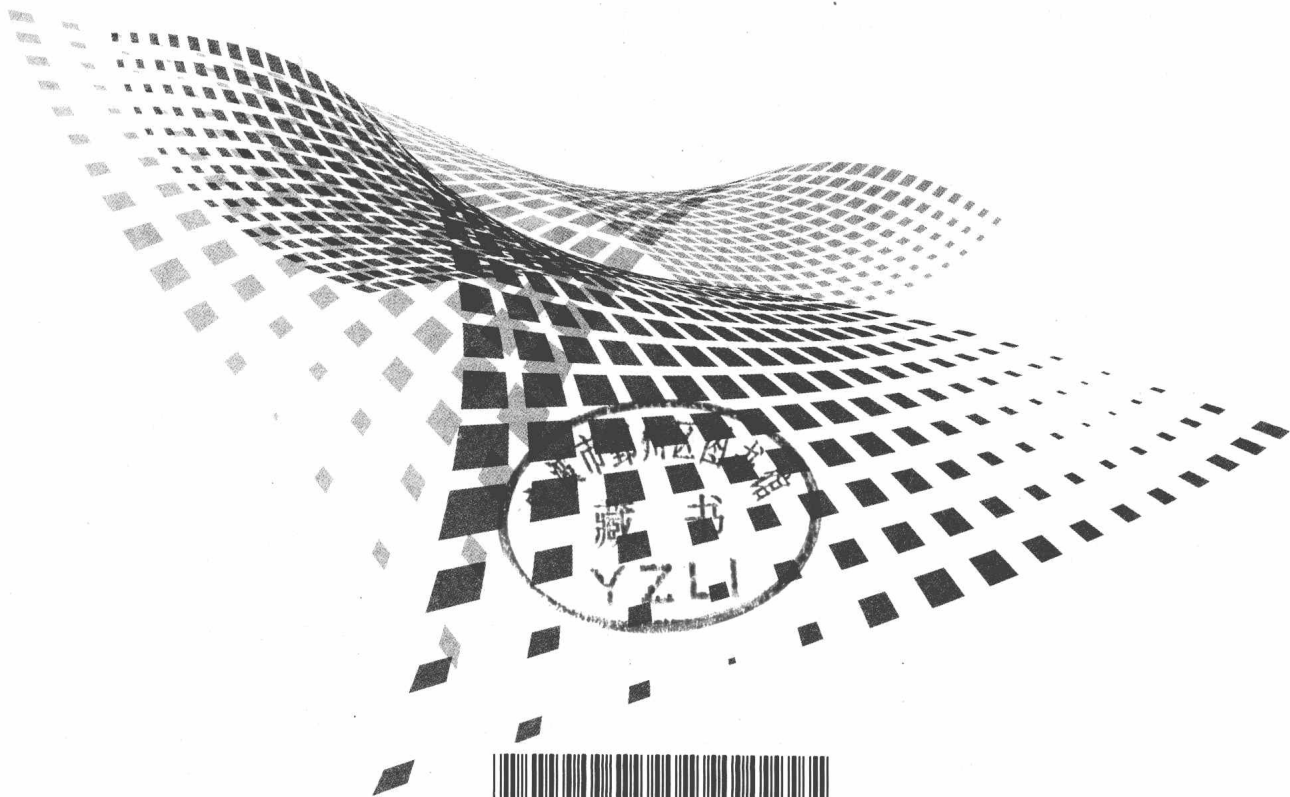
清华大学出版社

高等学校数字媒体专业规划教材

数字视频与音频技术



黎洪松 陈冬梅 编著



YZLI0890121998

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书从数字视频和音频处理的基本理论出发,以“理论到实用”为主线,论述了国际上最新、最前沿的数字视频与音频技术。全书共6章。主要内容包括数字视频基础、数字视频处理、数字视频系统、数字音频基础、数字音频处理和数字音频系统等。

本书可作为高等学校数字媒体、通信工程、电子工程、信息工程、计算机应用等相关专业的教材,也可供从事通信、广播电视、电子、信息、计算机和自动控制等相关专业的科研人员和工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字视频与音频技术/黎洪松,陈冬梅编著. —北京:清华大学出版社,2011.11
(高等学校数字媒体专业规划教材)

ISBN 978-7-302-24764-7

I. ①数… II. ①黎… ②陈… III. ①视频信号—数字技术 ②数字技术—应用—音频设备 IV. TN941.3 ②TN912.271

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第026140号

责任编辑:焦虹 徐跃进

责任校对:李建庄

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62795954,jsjjc@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15

版 次:2011年11月第1版

印 数:1~3000

定 价:26.00元

字 数:373千字

印 次:2011年11月第1次印刷

产品编号:039834-01

前 言

在人类所获取的信息中,通过视觉和听觉获取的信息约占外界信息的 90% 以上。“见其人,闻其声”是人类最直接、最直观、最生动和最有效的信息交流方式。视频通信和音频通信能实现人们在任何时候、任何地方、以任何方式与对方相“见”和知“音”的美好愿望。

以视频信息和音频信息为主的多媒体技术是 21 世纪最具时代特征和最富有活力的研究和应用领域之一。一方面,人们对获取视频信息和音频信息的执著,对视频信息和音频信息的需求将会越来越强烈;另一方面,通信、计算机、广播电视和因特网技术的发展,特别是微电子技术的进步,为视频与音频信息的处理和通信提供了实现的可能。同时,针对不同应用,目前国际上已经规范了十多种视频与音频压缩编码和通信国际标准,这有力地促进了音视频技术的普及和音视频信息的传播。

本书定名为《数字视频与音频技术》,内容主要有两部分组成,主要论述视频信息和音频信息的获取、处理、编码、传输、存储和播放等。

第 1 部分是数字视频技术,主要包括数字视频基础、数字视频处理和数字视频系统。第 1 章数字视频基础,主要介绍人类视觉系统、彩色模型、视频模型、视频表示、运动视觉、立体视觉、数字视频质量评价、视频节目源和数字电视基础等;第 2 章数字视频处理,主要介绍视频信号的数字化、运动估计基础、数字图像压缩编码原理、静止图像压缩编码标准、视频压缩编码标准、数字视频传输、数字视频水印和视频与音频的同步等;第 3 章数字视频系统,主要介绍卫星电视广播系统、有线电视系统、数字电视系统等。

第 2 部分是数字音频技术,主要包括数字音频基础、数字音频处理和数字音频系统。第 4 章数字音频基础,主要介绍音频基本概念、音频声学基础、人耳听觉特性、室内声学、电声器件、音频放大器、数字音频质量评价、音频节目源等;第 5 章数字音频处理,主要介绍数字音频技术、数字音频编码、频率均衡、音频处理设备、音频控制设备和数字音频多声道环绕声等;第 6 章数字音频系统,主要介绍扩音系统、语言学习系统、数字音频广播系统(DAB)、高保真重放系统、家庭影院系统、无线音频传输系统和多声道环绕声系统等。

数字视频与音频处理需要用到大量与电子、通信、信息理论、信号处理和生理心理等相关的基础理论,为此,本书选编了一些习题,供读者理解、巩固和拓展知识。

本书可作为大专院校数字媒体技术、通信工程、电子工程、信息工程、计算机等相关专业的教材,也可供从事通信、广播电视、电子、信息、计算机和自动控制等相关专业的科研人员和工程技术人员参考。

本书既是作者十多年从事音视频处理研究和教学工作的小结,也包括了很多人的贡献。全书由黎洪松统稿并负责第 1 章至第 3 章,陈冬梅负责第 4 章至第 6 章。刘俊、陈颖光参加了部分编写工作。作者感谢所在单位同事们的大力支持。在此,还要向本书附录参考文献的作者一并致谢。

由于音视频技术发展很快,限于作者的视野和水平,书中难免会存在错误和不足,真诚欢迎广大读者予以批评指正。电子邮箱:hongsongli@yahoo.cn,cdm2000@guet.edu.cn。

作 者

2011年9月

目 录

第 1 章 数字视频基础	1
1.1 人类视觉系统	1
1.1.1 人眼构造	1
1.1.2 可见光谱与视觉	2
1.1.3 亮度、颜色与立体视觉	3
1.1.4 视觉特性	4
1.1.5 视觉系统模型	7
1.2 彩色模型	9
1.2.1 三基色原理与相加混色	9
1.2.2 彩色色度学模型	10
1.2.3 工业彩色模型	15
1.2.4 HSI 模型	17
1.3 视频	18
1.3.1 视频表示	18
1.3.2 视频信息和视频信号特点	18
1.3.3 模拟视频	19
1.3.4 数字视频	23
1.4 数字视频质量评价	26
1.4.1 视频图像主观评价	27
1.4.2 视频图像客观评价	27
1.5 视频模型	28
1.5.1 照明模型	28
1.5.2 摄像机模型	29
1.5.3 物体模型	31
1.6 视频信号记录	32
1.6.1 模拟磁带录像机	33
1.6.2 数字录像机	33
1.6.3 硬盘录像机	33
1.6.4 VCD 光盘机	33
1.6.5 DVD 光盘机	33
1.6.6 DVD 光盘录像机	34
习题 1	34

第 2 章 数字视频处理	35
2.1 视频信号数字化	35
2.1.1 模拟视频数字化模型	35
2.1.2 视频信号取样	36
2.1.3 图像量化	39
2.2 视频编码基础	45
2.2.1 概述	45
2.2.2 视频编码理论基础	46
2.2.3 视频压缩的途径	50
2.2.4 离散信源的无失真编码	51
2.2.5 视频编码系统组成	55
2.2.6 数字视频编码	56
2.3 视频压缩编码标准	83
2.3.1 概述	83
2.3.2 视频编码标准化组织	84
2.3.3 JPEG	85
2.3.4 JPEG 2000	91
2.3.5 H. 261	95
2.3.6 H. 263	98
2.3.7 H. 264	102
2.3.8 MPEG-1	107
2.3.9 MPEG-2	111
2.3.10 MPEG-4	117
习题 2	128
第 3 章 数字视频系统	130
3.1 卫星电视广播系统	130
3.1.1 概述	130
3.1.2 卫星电视广播系统组成	130
3.1.3 卫星电视接收系统	132
3.1.4 数字卫星电视	135
3.2 有线电视系统	135
3.2.1 概述	135
3.2.2 CATV 系统的主要特点	136
3.2.3 CATV 系统分类	136
3.2.4 有线电视系统频道段和频道	137
3.2.5 有线电视系统组成	138
3.2.6 前端	140
3.2.7 同轴电缆传输	143

3.2.8 光缆传输	145
3.3 数字电视系统	155
3.3.1 概述	155
3.3.2 数字电视系统组成	156
3.3.3 信道编码技术	157
3.3.4 调制技术	165
3.3.5 数字电视传输方式	176
3.3.6 数字电视传输标准	176
习题 3	177
第 4 章 数字音频基础	178
4.1 声学基础	178
4.1.1 声学的概念	178
4.1.2 声音的传播	179
4.1.3 声波的度量	180
4.1.4 室内声学	181
4.2 人类听觉系统	182
4.2.1 人耳的构造	182
4.2.2 听觉特性	183
4.2.3 立体声的听觉机理	186
4.3 电声器件	188
4.3.1 传声器	188
4.3.2 扬声器	189
4.3.3 音频放大器	190
4.4 音质评价	191
4.4.1 客观评价与主观评价	191
4.4.2 主观评价的基本方法	191
4.5 音频节目源	193
4.5.1 概述	193
4.5.2 调谐器	193
4.5.3 电唱机	194
4.5.4 模拟磁带录音机	194
4.5.5 CD 唱机	194
4.5.6 数字磁带录音机	194
4.5.7 MP3	194
4.5.8 磁光碟	195
4.5.9 数码录音笔	195
4.5.10 激光视唱机	195
习题 4	195

第 5 章 数字音频处理	196
5.1 数字音频技术	196
5.1.1 音频信号数字化.....	196
5.1.2 数字音频格式.....	197
5.1.3 数字音频接口.....	198
5.1.4 数字音频存储.....	199
5.2 数字音频编码	200
5.2.1 音频压缩编码的必要性.....	200
5.2.2 数字音频编码的基本方法.....	201
5.2.3 数字音频编码的基本原理.....	201
5.2.4 常用的音频编码方法.....	202
5.2.5 MPEG-1 音频标准.....	203
5.2.6 MPEG-2 音频标准.....	204
5.2.7 AC-3 环绕立体声编码	206
5.3 音频信号处理与控制	208
5.3.1 滤波器.....	208
5.3.2 分频器.....	208
5.3.3 频率均衡器.....	209
5.3.4 调音台.....	209
5.3.5 其他音频信号处理设备.....	211
习题 5	212
第 6 章 数字音频系统	213
6.1 扩声音响系统	213
6.1.1 概述.....	213
6.1.2 扩声音响系统的基本组成.....	213
6.1.3 扩声音响系统的分类.....	213
6.1.4 典型扩声音响系统.....	214
6.2 立体声系统	215
6.2.1 双声道立体声系统.....	215
6.2.2 多声道环绕声系统.....	217
6.2.3 家庭影院系统.....	217
6.3 无线音频传输系统	218
6.4 会议系统	219
6.4.1 概述.....	219
6.4.2 会议同声传译系统.....	219
6.4.3 会议讨论系统.....	220
6.4.4 会议表决系统.....	221
6.5 公共广播系统	221

6.6 音频节目制作播出系统	223
6.6.1 节目信号录制系统.....	223
6.6.2 节目信号播出系统.....	223
6.6.3 数字音频工作站.....	224
6.7 数字音频广播系统	225
6.7.1 概述.....	225
6.7.2 Eurcka-147 DAB	225
6.7.3 IBOC DAB	226
6.7.4 世广卫星多媒体广播系统.....	226
习题 6	227
参考文献.....	228

第 1 章 数字视频基础

1.1 人类视觉系统

人类视觉系统(Human Vision System, HVS)是人类获取外界图像视频信息的工具。光辐射刺激人眼时,将会引起复杂的生理和心理变化,这种感觉就是视觉。视觉是人类最重要、同时也是最完美的感知手段。人类视觉机理非常复杂,研究人类视觉特性对于图像视频处理具有重要的指导意义。人类视觉特性的研究包括光学、色度学、视频生理学、视觉心理学、解剖学、神经科学和认知科学等许多科学领域。目前在视觉生理学方面研究相对成熟,而视觉心理学仍然是一个有待探索的课题。

通常,视觉包括感觉(perception)和知觉(cognition)。感觉就是对视觉信息数据的传感、采集、转换和变换;知觉就是对视觉信息内容的处理(processing)和推理(reasoning),处理包括对感兴趣信息的提取和求解等,推理则主要是根据已有的和新获取的信息和知识所进行的高层次逻辑推理等智力活动。

1.1.1 人眼构造

光与人类的活动有着十分密切的联系。人类视觉离不开光,景物反射光作用于人眼后,经过复杂的生理心理过程,才能感觉到景物的存在。人眼是一个构造极其复杂、精密和高度智能的光学信息处理系统,如图 1-1 所示。

从解剖学看,人类视觉系统由眼球和视神经系统组成。巩膜是一种不透明的膜,它的主要作用是巩固和保护眼球。角膜是一种坚硬而透明的组织,它覆盖着眼睛的前表面,光线从这里进入眼内。角膜的后面是不透明的虹膜,虹膜随不同的种族有不同的颜色,例如黑色、蓝色和褐色等。虹膜中间有一小孔称为瞳孔,在虹膜环状肌的作用下,瞳孔的直径可在 2~8mm 间调节,从而控制进入人眼的光通量,类似照相机光圈调节的作用。瞳孔后面是扁球形的晶体,它的作用相当于照相机的镜头,它在睫状肌的作用下,可以调节曲率来改变焦距,使不同距离的景物可以在视网膜上成像。正常人在完全放松的自然状态下,可以将无限远的景物成像在视网膜上。在观察近距离景物时,人眼晶体两旁的睫状肌收缩,使晶体前表面半径减小、焦距变短、后焦点前移,从而使物体在视网膜上清晰成像。这种对观察距离的调节称为视度调节。视网膜由大量的光敏细胞(视细胞)和神经纤维组成,为人眼的感光部分。光敏细胞通过视神经纤维连接到大脑的视觉皮层。人们观察某一物体时,物体通过人眼的晶体在视网膜上形成一个清晰的图像,光敏细胞受到光的刺激引起了视觉,于是人们就看清了该物体。其中黄斑区是视网膜上视觉最敏感的区域,即视觉最清楚的区域。

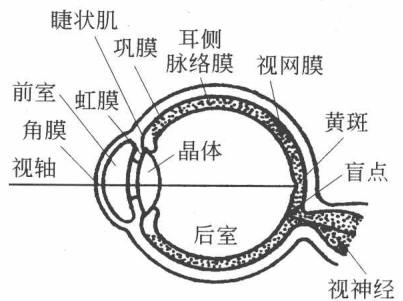


图 1-1 人眼的构造

光敏细胞按其形状分为锥状细胞和杆状细胞。锥状细胞分布在视网膜中心部分,它既能辨别光的强弱,又能辨别颜色。杆状细胞分布在视网膜的边缘部分,具有比锥状细胞更高的光灵敏度,在低照度时,主要依靠它来辨别明暗,只能产生灰度感觉,但它不能分辨彩色,这就是为什么人眼在夜晚看到的物体都是灰色的。人在观察明亮景物时,主要依靠锥状细胞工作。图 1-2 给出了锥状细胞光谱敏感曲线,锥状细胞有 3 种类型,它们具有不同的光谱特性,它们对光的吸收特性随光波长的变化而变化,将可见光谱划分为红、绿、蓝 3 个子频段,在每个子频段内有不同的峰值吸收点,如图 1-2 所示,它们为彩色视觉的三基色理论提供了视觉生理上的依据,红、绿、蓝也因此称为人类视觉的三基色。

1.1.2 可见光谱与视觉

色彩缤纷的自然界是通过可见光的传播映入人眼从而产生了视觉。光源可分为自然光源和人工光源。自然光源是物体依靠本身发光,例如太阳。人工光源的范围很广,例如蜡烛、电灯、发光管、激光器等都是人工光源。光源的一个重要特性是辐射功率波谱,即光谱分布。对于人类来说,太阳是最重要的自然光源,也是最大的自然光源,它的辐射范围很广。

自然界的不同景物,在太阳光(日光)的照射下,由于物体反射(或透射)了可见光谱中的不同成分而吸收其余部分,从而引起人眼的不同彩色感觉。实验发现,人眼对光的敏感程度与光的波长 λ 和光辐射功率有关。可见光的波长范围为 380~780nm,超出这个范围,无论怎么增加光的辐射功率,人眼都感觉不到。为了衡量人眼对不同波长的光的敏感程度差别,可以用光谱光效率函数 $V(\lambda)$ 来表征。明视觉也称为日间视觉,是指人眼白天对各种波长的光的敏感程度,即白天人眼视网膜的锥状细胞对光的响应,可用明视觉光谱效率函数 $V(\lambda)$ 来描述。暗视觉也称为夜间视觉,是人眼在夜晚或微弱光线下对光的敏感程度,即人眼视网膜的杆状细胞对光的响应,可用暗视觉光谱效率函数 $V'(\lambda)$ 来描述,图 1-3 分别给出了明视觉与暗视觉的光谱效率曲线 $V(\lambda)$ 和 $V'(\lambda)$ 。通过光谱效率函数就能比较两种不同波长的光对人眼产生的亮度感觉。

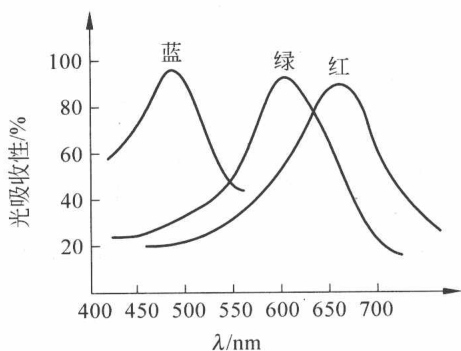


图 1-2 锥状细胞光谱敏感曲线

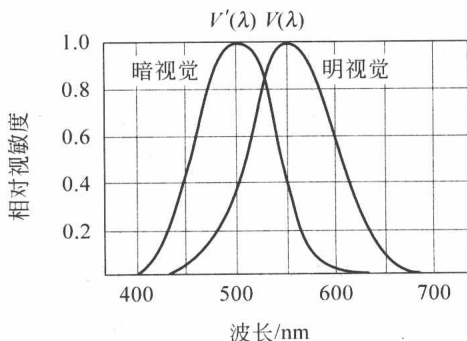


图 1-3 明视觉与暗视觉的光谱效率曲线

在可见光范围内,不同波长的光产生不同的颜色感觉,如图 1-4 所示。随着波长的缩短,呈现的颜色依次为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。单一波长的光只有一种颜色,称为单色光,由两种或两种以上波长的光混合而成的光称为复合光,复合光给人眼的感觉是混合色。例如人们日常生活中看到的自然光,它的波长范围就是在可见光谱范围,它给人以白光的综合感觉。

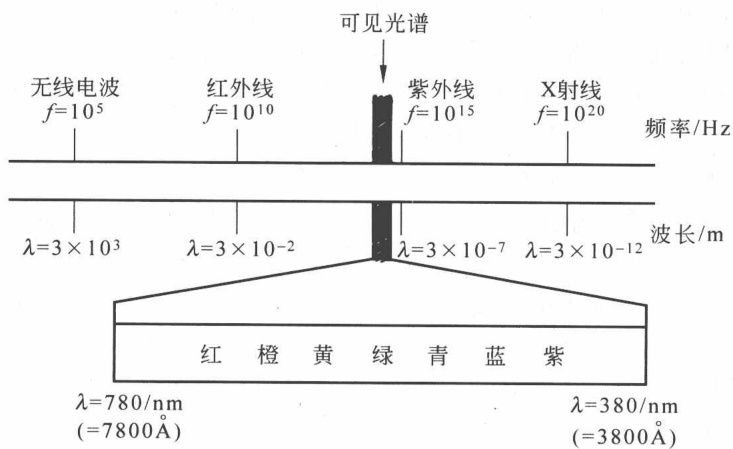


图 1-4 可见光在电磁波谱中的位置

1.1.3 亮度、颜色与立体视觉

1. 亮度视觉

亮度视觉也称为明暗视觉。辐射光或反射光的强度对应于光的能量,直接反映在人眼对辐射或反射光物体的亮度感受上,光的能量越大,感受到的亮度就越强。与人眼对不同波长的光的亮度感觉有关的几个主要参数有光强、光通量、发光效率、照度和亮度。

光强是发光强度的简称,是光度学中的一个基本的量,单位为 cd(坎[德拉]),它与光谱光效率函数 $V(\lambda)$ 有如下关系:

$$I_v = 683V(\lambda) \cdot I_e \quad (1-1)$$

其中, I_e 为人眼观察方向上波长为 λ 的单色光的辐射强度,单位为 W/sr(瓦/球面度)。

光通量是用人的感觉来量度的光的辐射功率,即能为人眼所感受到的那部分光的辐射功率,单位为 lm(流明)。

发光效率定义为每瓦消耗功率所发出的光通量数。例如蜡烛火焰的发光效率约为 0.1~0.3lm/W,钨丝灯泡的发光效率大约为 12lm/W,而低压钠灯的发光效率可达 180lm/W 等。

照度表示被照明的物体表面单位面积上所接收的光通量,单位为 lx(勒[克斯])。1 勒[克斯]定义为 1m^2 的面积上均匀分布 1lm 的光通量。例如一般阅读及书写明的照度为 50~75lx,而晴朗夏日采光良好的室内照度约为 100~500lx 等。

亮度表示发光面在不同位置 and 不同方向的发光特性,单位为 cd/m^2 。

2. 彩色视觉

彩色是一种非常重要的视觉信息。彩色刺激与彩色感觉不是一种简单的因果关系,人眼彩色感觉取决于可见光谱中的不同成分和光照环境。若光照强度相同而波长不同,则引起的彩色视觉效果也就不同。改变光的波长,不仅颜色感觉不同,而且亮度也不相同。例如,人眼感到最暗的是红色,其次是蓝色和紫色,而最亮的是黄绿色。

在自然界中,物体的颜色与光的波长是密切相关的。物体的颜色通常是指在日光下物体所呈现的彩色。它与物体对光的反射特性、透射特性有关。表示人眼视觉对颜色感觉的

参量主要有亮度(luminance)、色调(hue)和饱和度(saturation)。

亮度是指人眼对光的明亮程度感觉,光源的亮度正比于光通量,而物体的亮度不仅取决于物体反射(或透射)光的能力,也取决于照射该物体光源的辐射功率。反射(或透射)光的能力越强,即反射(或透射)系数越大,物体就越明亮;照射物体的光辐射功率越大,物体就明亮。通常彩色光越强,则感觉就越明亮;反之,则越暗。

色调表示颜色的类别,例如红色、蓝色和绿色等。彩色物体的色调取决于物体在光照下所反射的光谱成分,不同波长的反射光使物体呈现不同的色调。对于某些透光的物体(例如玻璃等),其色调取决于透射光的波长。彩色物体的色调既取决于物体的吸收特性和反射或透射特性,也与照明光源的光谱分布有关。

饱和度是指彩色光所呈现彩色的深浅程度(或浓度)。通常,对于同一色调的彩色光,其饱和度越高,它的颜色就越深,例如深绿色等;反之,它的颜色就越浅。

色度是指色调和饱和度的合称,它既反映了彩色光的颜色,也反映了颜色的深浅程度。用亮度、色调、饱和度这3个参量就能准确描述彩色光。

非彩色光由于没有色度,故只用亮度来描述,例如白、灰、黑,它们之间只有亮度的差别。灰色处于黑色、白色之间。

3. 立体视觉

人眼看到的自然界景物都是具有宽度、高度和深度的立体图像。当人们观察某一景物时,由于两眼球之间有一定距离(约为58~72mm),使得同一物体在左、右两眼视网膜上成像存在着一定的差异,这种差异形成了人眼的宽、高、深的立体视觉。

通常,立体视觉分为双眼立体视觉和单眼立体视觉。形成双眼立体视觉的主要因素是双眼视差和辐辏。当被观察景物未能在左、右两眼相应点上成像时,看到的会是二重像,此时眼球需要做旋转运动,即辐辏。由于辐辏时,眼外肌的运动使景物能在视网膜上将二重像变为单像,因此,辐辏也是产生立体视觉的重要因素之一。单眼立体视觉是指用单眼观察景物时可分辨景物深度信息所产生的立体感觉。产生单眼立体视觉的因素很多,例如,为了使不同距离的景物能在视网膜上清晰成像,需要适当调节睫状肌,以适应眼睛与景物之间的距离变化,从而产生不同的深度感觉等。

1.1.4 视觉特性

1. 亮度适应性

当人眼由光线很强的环境进入光线很暗的环境时,开始会感到一片漆黑,什么也看不见,但经过一段时间的适应后就能看清物体,这称为暗适应,暗适应过程大约需要30~45分钟。人眼由暗环境中进入亮环境时,视觉可以很快恢复,这称为亮适应性,该过程大约需要2~3分钟。

2. 人眼感知亮度变化的能力

人眼亮度感觉差别取决于相对亮度的变化,但人眼感知亮度变化的能力是有限的。人眼可分辨的最小亮度差别 ΔL_{\min} ,称为可见度阈值。显然,低于可见度阈值的亮度变化是觉察不出来的。

在一个均匀背景亮度 L_0 下, $\Delta L_{\min}/L_0$ 为一个常数。但大多数景物和图像的背景亮度是复杂而不均匀的,背景的亮度随时间和空间的变化而变化,此时可见度阈值将会增大,这

种现象称为视觉掩盖效应。

可见度阈值和视觉掩盖效应对图像视频编码量化器的设计有重要作用。利用这一视觉特性,在图像的边缘区域可以容忍较大的量化误差,因而可减少量化级数,以降低数码率。

3. 色调对比效应

面积、色度和亮度相同的两个橘红色区域分别处于黄色和红色背景包围下,相比之下人眼会感觉黄色背景包围的橘红色偏红,而红色背景包围的橘红色偏黄,这种现象称为色调对比效应。

4. 饱和度对比效应

面积、色度和亮度相同的两个红色区域分别被亮度相同的灰色和红色背景包围,人眼会得到不同饱和度感觉,其中红色背景包围的区域饱和度较低,这种现象称为饱和度对比效应。

5. 面积对比效应

色度、亮度相同,不同面积的两个彩色区域,面积大的一块会给人以亮度和饱和度都较强的感觉,这种现象称为面积对比效应。

6. 马赫效应

人眼对于景物和图像上不同空间频率成分具有不同的灵敏度。实验表明,人眼对中频成分的响应较高,对高低频率的响应较低,这是由于侧抑制特性对图像边缘有增强作用,因此在观察亮度发生跃变时,会感觉到边缘侧更亮,暗侧更暗,这种现象称为马赫效应。所谓侧抑制是指相邻神经元之间的互相抑制的现象。

7. 视觉惰性

人眼的亮度感觉有一个短暂的过渡过程,当一定强度的光突然作用于视网膜时,不能在瞬间形成稳定的主观感觉,而需要一定的时间,主观亮度感觉由小到大,达到最大值后又降低到正常值。当重复的频率较低时,短暂的光刺激比较长时间的光刺激更明显。当光消失后,亮度感觉也不是立即消失,而是按指数函数的规律逐渐减小,这种现象称为视觉惰性。电视和电影充分利用了人眼这一特性,采用多帧连续图像序列(视频)在一定时间内的连续播放,就能给人以较好的连续运动景物的感觉。

8. 闪烁感觉

当人眼受到周期性光脉冲照射时,若重复的频率不太高,则会产生忽明忽暗的闪烁感觉。若将重复频率提高到某一定值以上,人眼就感觉不到闪烁了,而形成均匀的非闪烁光源的感觉。不引起闪烁感觉的光脉冲最低重复频率,称为临界闪烁频率。

影响临界闪烁频率的因素有很多,光脉冲的亮度越高临界闪烁频率也越高,亮度变化幅度越大临界闪烁频率也越高。此外,明亮时间的占空比、相继两幅画面本身的亮度分布和颜色、观看者到画面的距离以及环境等,也都对临界闪烁频率有影响。人眼的闪烁感觉特性是设计电视系统的重要依据。例如目前电视技术中广泛采用“隔行扫描”方式,是将一幅画面分成两场来传送,这既能有效克服大面积闪烁现象,也能显著节省传输频带宽度。

9. 视野与视觉

所谓视野是指头部不动、眼球转动时所能观察到的空间范围。人眼的综合视野可分解为水平视野和垂直视野。通常,正常人眼的最大范围约为左右 35° 和上下 40° ,最佳视野范围约为左右 15° 和上下 15° ,最大固定视野范围约为左右 90° 和上下 70° ,头部活动时视野可扩展到左右 95° 和上下 90° 。实验表明,色觉视野还受背景色彩的影响,例如黑色背景上的

彩色视野范围小于白色背景上的彩色视野范围。

10. 人眼的分辨力

人眼的分辨力是指在观察景物时人眼对景物细节的分辨能力。人眼对被观察物体能分辨的相邻最近两点的视角 θ 的倒数称为人眼的分辨力,如图 1-5 所示。 D 为人眼与画面之间的距离, d 为能分辨的相邻两点之间的距离,即

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2\pi D}{360 \times 60 \times d} \quad (1-2)$$

通常,具有正常视力的人,在中等亮度和中等相对对比度下观察静止景物时,视角 θ 约为 $1' \sim 1.5'$ 左右。

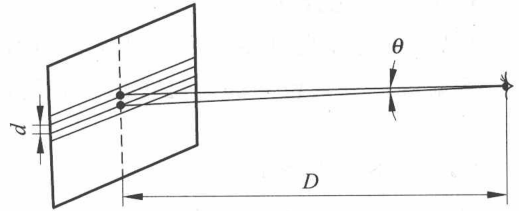


图 1-5 人眼的分辨力

影响人眼的分辨力的主要因素有环境照度、景物的相对对比度和被观察物体的距离及运动状态等。

当环境照度较低时,人眼的光敏细胞受到光的刺激的强度小,且只有杆状细胞起作用,分辨力就会下降。当照度太高时,人眼会因产生“眩目”而导致分辨力下降。

通常把景物和图像中的最大亮度 L_{\max} 与最小亮度 L_{\min} 的比值称为对比度,即 $C = L_{\max} / L_{\min}$ 。对比度是描述景物和图像特征的重要参数之一。景物的相对对比度定义为:

$$C_r = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

其中, L 为景物亮度, L_0 为背景亮度。 C_r 值越大,分辨力也就越高。

被观察景物的位置越近,其分辨力就越高。人眼对于静止物体的分辨力高,对运动物体的分辨力低。运动速度越快,分辨力就越低。对于水平方向的平移运动和垂直方向的平移运动,前者的分辨力高,这是因为眼球左右移动方便,容易跟踪物体的运动。对于物体的旋转运动,由于眼球不易跟踪,因此分辨力较低。

11. 人眼的彩色分辨力

1) 人眼对彩色细节的分辨力

人眼对彩色细节的分辨力要远比对黑白细节的分辨力低,例如用白粉笔在黑板上写字看得清楚,而用蓝粉笔在黑板上写字就看得不那么清楚。实验还表明,人眼对不同彩色细节的分辨力也不相同。若人眼对黑白细节的分辨力定为 100%,则对其他彩色细节的分辨力如表 1-1 所示。

表 1-1 人眼对彩色细节的分辨力

彩色细节	黑白	黑绿	黑红	绿红	黑蓝	红蓝	绿蓝
分辨力	100%	94%	90%	40%	26%	23%	19%

2) 人眼对彩色色调的分辨力

对不同色调,人眼的分辨力不同。通常,人眼能分辨 100 多种色调。人眼对色调细节的分辨能力可用色调分辨阈值来表征。所谓色调分辨阈值是指当人眼观察某一波长 λ 的彩色时,将波长改变为 $\lambda + \Delta\lambda$,这时人眼刚好能分辨出这两种彩色色调的差别,称 $\Delta\lambda$ 为色调分辨阈值。实验表明,在可见光范围内,对于不同的波长 λ ,其 $\Delta\lambda$ 是不同的,如图 1-6 所示。例

如,当波长为 580~640nm 范围内,对应于红、黄之间的彩色, $\Delta\lambda$ 较小,这说明在该波长之内,人眼的色调分辨力最高。若彩色饱和度较低或亮度较低,则人眼的色调分辨力将下降。

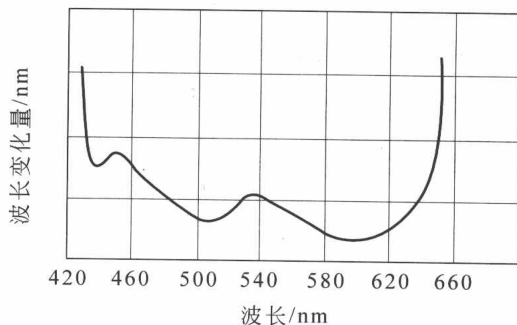


图 1-6 色调分辨阈值 $\Delta\lambda$ 与波长 λ 的关系

3) 人眼对彩色饱和度的分辨力

人眼能分辨同一色调的不同饱和度的彩色。实验表明,人眼对不同色调的饱和度变化的敏感程度不同。例如,人眼对于黄光,能分辨出的饱和度变化只有 4 级,最不敏感。而对红光和蓝光,人眼能分辨的饱和度变化达 25 级。

1.1.5 视觉系统模型

人眼类似于一个光学信息处理系统,但由于它具有生物调节的自适应能力,因此,它不是一个普通的光学信息处理系统。人眼这种特殊的智能光学信息处理系统具有非常复杂的特性,根据视觉生理学的研究成果,可以建立视觉模型来模拟人类的某些视觉特性。建立视觉模型就是试图用光学系统的概念来模拟某些视觉特性。

1. 视觉信息处理模型

从物理结构看,人类视觉系统由光学系统、视网膜和视觉通路组成,图 1-7 给出了人类视觉系统的视觉信息处理模型,它简单模拟了人类视觉系统信息获取、传输和处理的基本过程。眼球包括屈光系统和感光系统,屈光系统由角膜、晶体和玻璃体等组成,感光系统即视网膜。视网膜可将输入的光信号转换为生物电脉冲信号,电脉冲信号沿着神经纤维传递到视神经中枢。由于各视细胞产生的电脉冲不同,从而使大脑形成了景象的感觉。

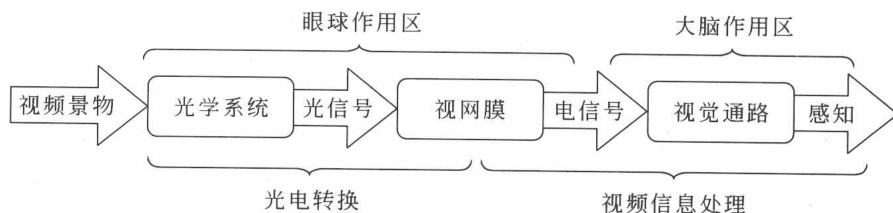


图 1-7 视觉信息处理模型

2. 黑白视觉模型

图 1-8 给出了黑白视觉模型。低通滤波器模拟人眼的光学系统,高通滤波器反映了侧抑制引起的马赫效应,对数运算器反映了视觉的亮度恒定现象,所谓亮度恒定现象是指当景物对背景的亮度和对比度保持一定时,即使景物和背景的亮度在很大的范围内变化,人眼对景物的亮度感觉也仍然保持不变。