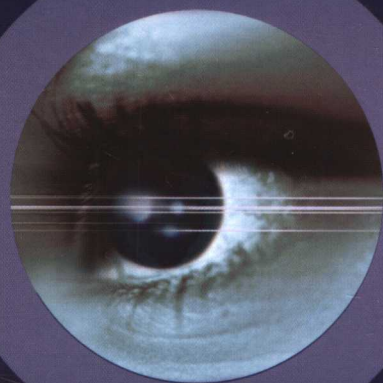


Digital Video Processing

数字视频处理

黎洪松 主编



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

数字视频处理

黎洪松 主编

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书从数字视频处理的基本理论出发,以“理论到实用”为主线,介绍了国际上最新、最前沿的数字视频处理领域中的相关技术。主要内容包括:数字视频处理基础、运动估计、数字视频编码、三维视频处理、数字视频水印等。

本书可作为高等院校理工科通信、电子、信息、信号处理、计算机等相关专业研究生(硕士、博士)和高年级本科生教材,也可作为从事通信、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书。

图书在版编目(CIP)数据

数字视频处理/黎洪松主编. —北京:北京邮电大学出版社,2006

ISBN 7-5635-1235-7

I. 数… II. 黎… III. 视频信号—数字技术 IV. TN941.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 020153 号

书 名: 数字视频处理

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

北方营销中心: 电话 010-62282185 传真 010-62283578

南方营销中心: 电话 010-62282902 传真 010-62282735

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 16

字 数: 407 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1235-7/TN·447

定价: 26.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系 ·

前 言

“百闻不如一见”深刻地揭示了视觉信息的重要性。在人类所接收的信息中,通过视觉获取的信息约占外界信息的 80%以上。“面对面”沟通是一种最直接、最直观、最生动、最有效的信息交流方式,视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”的美好愿望。

以视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与应用领域之一。一方面,人们对获取视频图像信息的执著和对视频图像信息的需求将会越来越强烈;另一方面,通信、计算机、广播电视技术的发展,特别是微电子技术的进步,为视频信息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上 10 种视频压缩编码国际标准,这有力地促进了视频技术的普及和视频信息的传播。

本书定名为《数字视频处理》,主要讨论视频信息的获取、处理、编码、传输和显示等,由以下 5 部分内容组成。

第 1 部分是数字视频基础,主要介绍人类视觉特性、彩色模型、多维随机信号与系统、模拟视频信号数字化、视频质量评价和视频模型等。

第 2 部分是运动估计,包括二维运动估计(第 2 章)和三维运动估计(第 3 章)。运动分析与估计是在图像处理的基础上发展起来的一个分支,它是运动图像处理的重要组成部分,并得到了广泛的应用。如工业过程的动态检测、机器人视觉、视频信号压缩编码、交通检测、气象云图跟踪、军事侦察与目标跟踪、运动目标识别与检测等。

第 3 部分是数字视频编码,主要内容包括:视频编码理论基础、数字视频编码技术、数字视频编码标准和立体视频编码等。

第 4 部分是三维视频处理,主要内容包括:立体视觉、立体成像原理、视差估计、三维变换编码、基于对象的三维编码、基于模型的三维编码、立体视频显示技术等。

第 5 部分是数字视频水印,主要内容包括:信息隐藏概述、数字水印原理、视频水印技术等。

数字视频处理需要用到大量与数学、信息理论、信号处理、生理、心理等相关的基础知识,为此,本书选编了一些有代表性的习题,列出了主要参考文献,供读者理解、巩固和拓展知识。

全书由黎洪松统稿及定稿,李达、许保华参加了部分编写工作,邵小珍、刘波、徐金东和潘珍燕参加了部分校对工作。本书既是作者十多年来从事视频信号处理研究和教学工作的小结,同时更包括了很多人的贡献。作者要特别感谢北京邮电大学全子一教授的指导,感谢美国

Yahoo 公司高级研究员 Sharon Wan 提供的宝贵建议,感谢北京邮电大学出版社徐夙琨老师的真诚帮助。在此,还要向本书附录参考文献的作者一并致谢。

由于视频图像处理技术发展很快,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。

电子信箱:hongsongli@vip.sina.com。

黎洪松
2006 年 7 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 人眼的构造	1
1.1.2 可见光谱与视觉	2
1.1.3 亮度、颜色与立体感觉	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 HIS 模型	16
1.3 视 频	17
1.3.1 视频表示	17
1.3.2 视频信息和信号的特点	18
1.3.3 模拟视频	18
1.3.4 数字视频	23
1.4 多维随机信号分析	25
1.4.1 多维信号与系统	25
1.4.2 二维离散傅里叶变换	26
1.4.3 随机图像	27
1.4.4 平稳随机图像通过线性移不变系统	29
1.5 视频信号数字化	30
1.5.1 模拟视频数字化模型	30
1.5.2 视频信号取样	31
1.5.3 图像量化	34
1.6 数字视频质量评价	40
1.6.1 视频图像主观评价	40
1.6.2 视频图像客观评价	40
1.7 视频模型	41
1.7.1 照明模型	41
1.7.2 摄像机模型	42

1.7.3 物体模型	45
习 题	46
参考文献	46
第2章 二维运动估计	48
2.1 概 述	48
2.1.1 几个基本概念	48
2.1.2 二维运动估计	50
2.1.3 二维运动模型及估计方法	52
2.2 基于光流的运动估计	53
2.2.1 光流方程	53
2.2.2 多点邻域约束	54
2.2.3 运动平滑约束	54
2.2.4 有向平滑约束	56
2.3 基于像素的运动估计	56
2.3.1 位移帧差	56
2.3.2 多点邻域约束	57
2.3.3 像素递归法	57
2.3.4 基于贝叶斯准则的方法	59
2.4 基于块的运动估计	60
2.4.1 概 述	60
2.4.2 相位相关法	61
2.4.3 块匹配法	62
2.4.4 降低计算复杂度的方法	64
2.4.5 可变形块匹配法	68
2.5 基于网格的运动估计	71
2.5.1 概 述	71
2.5.2 基于网格的运动估计方法	72
2.6 基于区域的运动估计	74
2.6.1 概 述	74
2.6.2 区域分割与运动估计	74
2.7 全局运动估计	76
2.7.1 概 述	76
2.7.2 直接估计法	76
2.7.3 间接估计法	76
2.8 多分辨率运动估计	77
2.8.1 概 述	77
2.8.2 分层块匹配法	78
习 题	79

参考文献	79
第3章 三维运动估计	81
3.1 概 述	81
3.2 基于特征对应的运动估计	81
3.2.1 概 述	81
3.2.2 最小二乘估计	82
3.2.3 正交投影下的运动估计	82
3.2.4 透视投影下的运动估计	84
3.2.5 平面模型下的运动估计	87
3.3 基于光流的运动估计	89
3.3.1 概 述	89
3.3.2 正交投影下的运动估计	90
3.3.3 透视投影下的运动估计	91
3.3.4 平面模型	92
3.4 直接运动估计	92
3.4.1 概 述	92
3.4.2 平面模型	93
3.5 运动目标分割	94
3.5.1 概 述	94
3.5.2 直接分割法	94
3.5.3 基于光流的分割法	96
3.5.4 同时进行运动分割和运动估计的方法	99
3.6 运动目标跟踪	101
3.6.1 概 述	101
3.6.2 Kalman 滤波器	102
3.6.3 二维运动跟踪	103
3.6.4 三维运动跟踪	106
习 题	108
参考文献	108
第4章 视频编码基础	110
4.1 概 述	110
4.2 视频编码的理论基础	111
4.2.1 无失真编码理论基础	111
4.2.2 有损编码理论基础	114
4.2.3 视频压缩的途径	115
4.3 离散信源的无失真编码	116
4.3.1 霍夫曼编码	117

4.3.2 算术编码	118
4.3.3 游程编码	119
4.4 视频编码系统的组成	120
习题	121
参考文献	122
第5章 数字视频编码	123
5.1 预测编码	123
5.1.1 预测编码原理	123
5.1.2 帧内编码	125
5.1.3 帧间编码	125
5.2 变换编码	127
5.2.1 变换编码原理	127
5.2.2 离散余弦变换编码	127
5.2.3 小波变换编码	130
5.3 基于内容的视频编码	140
5.3.1 分形编码	140
5.3.2 纹理编码	142
5.3.3 二维形状编码	143
5.3.4 基于区域的视频编码	146
5.3.5 基于对象的视频编码	146
5.3.6 基于知识和语义的视频编码	147
5.4 分级视频编码	148
习题	150
参考文献	150
第6章 数字视频编码标准	152
6.1 概述	152
6.1.1 视频图像编码的国际标准	152
6.1.2 视频编码标准化组织	153
6.2 JPEG 与 JPEG 2000	154
6.2.1 JPEG 简介	154
6.2.2 JPEG 2000	159
6.3 H.26X	163
6.3.1 H.261	163
6.3.2 H.263	166
6.3.3 H.264	170
6.4 MPEG	175
6.4.1 MPEG-1	175

6.4.2 MPEG-2	178
6.4.3 MPEG-4	184
习 题	195
参考文献.....	195
第7章 三维视频处理	197
7.1 立体视觉	197
7.1.1 单眼立体信息	197
7.1.2 双眼立体信息	198
7.2 立体成像原理	200
7.2.1 平行摄像机配置	201
7.2.2 会聚摄像机配置	202
7.3 视差估计	203
7.3.1 视差场分析	203
7.3.2 视差估计方法	204
7.3.3 视差估计的快速算法	209
7.3.4 视差估计残差图像的编码	211
7.4 三维变换编码	214
7.5 基于对象的三维编码	217
7.6 基于模型的三维编码	218
7.7 立体视频显示技术	218
7.7.1 借助辅助工具的立体显示技术	218
7.7.2 自由立体显示技术	220
7.7.3 真三维立体显示技术	221
习 题	222
参考文献.....	222
第8章 数字视频水印	224
8.1 信息隐藏概述	224
8.1.1 信息隐藏定义	224
8.1.2 信息隐藏原理	224
8.1.3 信息隐藏系统组成	224
8.1.4 信息隐藏分类	225
8.1.5 信息隐藏系统特性	225
8.1.6 信息隐藏应用	225
8.2 数字水印原理	226
8.2.1 研究背景	226
8.2.2 数字水印与信息隐藏	226
8.2.3 数字水印系统组成	227

8.2.4 数字水印系统特性	227
8.2.5 数字水印技术分类	228
8.2.6 水印信号的生成	229
8.3 视频水印概述	230
8.3.1 视频水印的定义	230
8.3.2 视频水印的特点	230
8.3.3 视频水印的模型	230
8.3.4 视频水印的分类	231
8.3.5 视频水印的主要应用领域	232
8.4 视频水印关键技术	232
8.4.1 视频水印生成	232
8.4.2 视频水印嵌入	233
8.4.3 视频水印检测与提取	233
8.4.4 视频水印攻击	235
8.5 视频水印算法	236
8.5.1 概述	236
8.5.2 原始视频水印	236
8.5.3 压缩域视频水印	240
习 题	243
参考文献	243

第 1 章 数字视频基础

1.1 人类视觉系统

人类视觉系统(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,一方面人类视觉机理非常复杂,另一方面研究人的视觉特性对于视频图像处理具有重要的指导意义。人类视觉系统的研究包括光学、色度学、视觉生理学、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的研究相对成熟,而视觉心理学却是一个有待进一步研究的课题。

1.1.1 人眼的构造

光和人类的活动有着十分密切的关系。人的视觉离不开光,景物反射的光作用于人脑后,经过复杂的生理和心理过程,才感觉到景物的存在。人眼是一个构造极其复杂而精密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,它主要起保护眼球的作用。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2~8 mm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,可以通过调节曲率来改变焦距,使不同距离的景物在视网膜上成像。正常人在完全放松的自然状态下,可以使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上。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。

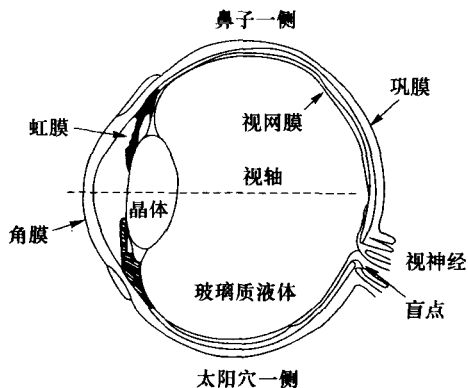


图 1-1 人眼的构造

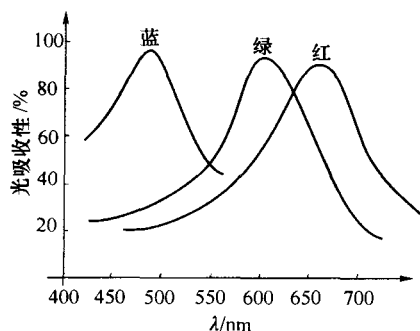


图 1-2 锥状细胞光谱敏感曲线

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

色彩缤纷的自然界通过可见光的传播映入人眼产生了视觉。光源可分为自然光源和人工光源。自然光源有太阳和其他恒星等。人工光源的范围很广,火焰、火花、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光谱,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 380~780 nm,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。

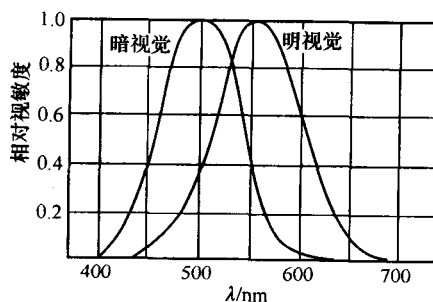


图 1-3 明视觉与暗视觉的光谱效率曲线

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。

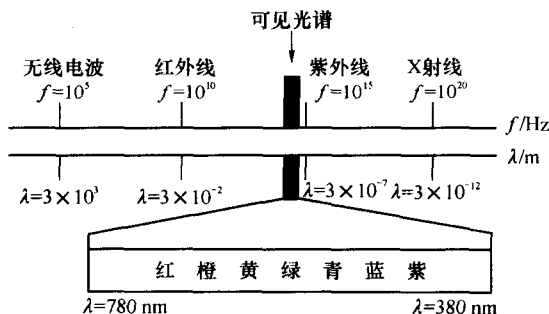


图 1-4 可见光在电磁波谱中的位置

1.1.3 亮度、颜色与立体感觉

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,感受到的亮度越亮。与人眼对不同波长的光的亮度感觉有关的主要参数有: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:

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

式中, 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。

- 光通量是用人的感觉来度量的光的辐射功率,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特消耗功率所发出的光通量。例如,蜡烛火焰的发光效率约为 0.1~0.3 lm/W,钨丝灯泡的发光效率大约为 12 lm/W,低压钠灯的发光效率可达 180 lm/W。
- 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 1 m² 的面积上均匀分布 1 lm 的光通量。例如,一般阅读及书写照明的照度为 50~75 lx,晴朗夏日采光良好的室内的照度约为 100~500 lx 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/m²。

2. 彩色与视觉

彩色是一种视觉信息。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。若光的强度相同而波长不同,则引起的视觉效果也不同。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,光的颜色与波长是一一对应的。而物体的颜色通常是指在日光下物体所呈现的颜色,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的感觉,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的光源的辐射功率。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;照射物体的辐射功率越大,物体就越明亮。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、绿色。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、色调和饱和度这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,灰色处于黑色和白色之间。

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,由于两眼相距一定的距离(约为58~72 mm),使得同一物体在左、右两眼视网膜上的成像存在着一定的差异,这种差异形成了人眼对宽、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. 人眼觉察亮度变化的能力

人眼亮度感觉差别取决于相对亮度的变化,但人眼觉察亮度变化的能力是有限的。人眼可分辨的最小亮度差别 $\Delta L_{\min}$ 称为可见度阈值。显然,低于可见度阈值的干扰是觉察不出来的。

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视频图像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的感觉,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

人眼对景物和图像上不同空间的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、低频率成分的响应较低,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,短暂的光刺激比长时间的光刺激更显目。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的这一特性,采用多帧连续图像序列(视频)在一定时间内的连续播放,则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的重复频率,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。

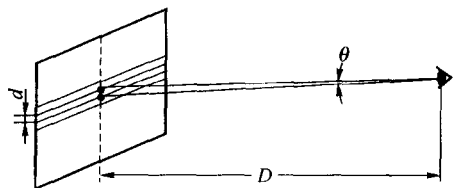


图 1-5 人眼的分辨力

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。人眼对被观察物体上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。图中, 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

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

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 $1' \sim 1.5'$ 。

影响人眼分辨力的主要因素有:环境照度、景物的相对对比度、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因素之一。景物的相对对比度定义为

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

其中, L 为景物亮度; L_0 为背景亮度。 C_r 的值越大,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,当波长在 580~640 nm 范围内,对应于红、黄之间的彩色, $\Delta\lambda$ 较小,这说明在该波长之间,人眼的色调