

# 数字图像通信原理与技术

王汇源 编著

国防工业出版社

73.812  
117

# 数字图像通信原理与技术

王汇源 编著

国防工业出版社  
5011022  
·北京·

图书在版编目(CIP)数据

2775/09  
数字图像通信原理与技术/王汇源编著. —北京:国防工业出版社, 2000.9

ISBN 7-118-02348-5

I. 数… II. 王… III. 数字图像-图像通信 IV. TN919.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 37230 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 14½ 329 千字

2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:22.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

# 前 言

进入 80 年代末以来,随着微电子技术、计算机技术、现代通信技术和网络技术的飞速发展,人类社会正健步迈入信息化时代,这使图像通信这一以前尚不为世人熟知的技术领域,进入了一个革命性的发展时期。突出表现在以下几个方面。

- 信息化社会对图像信息的处理、传输、传播和交换的需要越来越迫切,这使图像通信技术面临着巨大的市场需求,孕育着丰富的商业机会;

- 电子器件和设备处理能力和处理速度的大幅度提高,使图像的实时数字化处理和传输成为可能,从而使以前提出的许多方法得以实现并有了实际用途;

- 图像通信的关键技术,例如图像压缩编码技术、交换技术和现代数字调制技术等,已经成为异常活跃的研究领域,吸引了越来越多研究工作者和企业家的兴趣,小波变换、分形和基于模型的编码方法等相继问世,新理论、新方法和新技术层出不穷;

- 由于其传输质量高、处理方便、易于集成化和频带利用率高,数字化的图像通信已成为当前和未来图像通信的主要发展方向,这一点从 VCD、DVD、新型会议电视系统和高清晰度电视的发展过程可见一斑;

- JPEG、H.261、H.263 和 MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4 等一系列国际数字图像压缩编码和传输标准或建议已制订出来并得到越来越广泛的应用, JPEG-2000 和 MPEG-7 等正在制订之中。

在此背景下,本书作者所领导的研究小组从 1993 年起,开展了图像编码和传输方面的研究,并为通信工程专业的本科生开设了图像通信课程,本书就是在这些工作的基础上完成的。

全书共分为十章。

第一章到第六章主要论述数字图像通信中所涉及的图像压缩编码的基本理论和基本方法。第一章对全书所涉及的基本问题和有关概念进行简要介绍;第二章是全书的数学基础,主要讨论二维线性系统的基本理论和几种主要的图像变换方法,包括连续的和离散的正交变换等;第三章主要讨论信息熵编码的基本理论和具体方法,信息熵编码是图像编码和其它所有信源编码方法的基本组成部分之一;第四章主要讨论图像的无失真编码方法,包括二值图像和灰度图像的无失真编码,同时介绍了二值图像编码的典型应用——传真的有关国际标准;第五章讨论有失真图像编码的基本方法,这里所涉及的主要是静止的灰度图像,该章对国际静止图像编码标准 JPEG 进行了较详细的介绍,这一标准是目前几乎所有国际视频编码标准的基础;在第六章中,讨论了活动图像编码的基本方法,这里所涉及的,同时也是灰度图像的有失真编码方法。在这一章中,我们对影响最大的国际活动图像编码方法 MPEG 作了介绍。

本书的第七章对近 10 年来图像编码方法的新进展进行了讨论,主要有子带编码、小波变换编码、分形编码和基于模型的编码,如果本书用作本科生的教材,讲课中可跳过。

第八章和第九章主要论述数字图像通信中所涉及的图像传输问题。其中,第八章对主要的通信网络作了较简略的介绍,包括计算机网络,国际互连网(Internet),综合业务数字网(ISDN)和

ATM 网等。本书用作本科生或研究生的教材时,如果先修课程已经包括了该章的内容,则可跳过。第九章主要讨论数字图像通信中特有的两个通信问题,即图像传输的质量和传输比特率的控制,这属于较为深入一些的讨论,本书作为教材时可根据学时和具体的教学要求决定取舍。

本书的最后一章介绍了几种典型的数字图像通信系统,包括会议电视、可视电话、高清晰度电视(HDTV)、卫星数字电视系统和视频点播(VOD)等。

实际上,一个数字图像通信系统,还涉及到信道编码和调制等许多通信方面的问题,但限于篇幅,并考虑到一般通信系统方面的内容往往在其它有关教科书或文献中有专门的介绍,所以本书只好忍痛割爱了。

本书从有利于教学、自学和参考使用出发,讲述力求由浅入深,理论上自成体系,注重讲清基本原理和基本方法,配以应用实例、图表、曲线、实际图像和部分 C 语言实现算法,材料组织上以实用性和先进性为主,精选材料,避免冗长、陈旧和无实用价值的内容,适量充实国际最新研究成果,并强调在工程应用中的参考价值,在附录部分列出了部分算法的 C 语言程序和最新国际标准的数据资料等。

在本书即将完成之际,作者衷心感谢曾对本书的写作给予各种鼓励、支持和帮助的山东工业大学电子工程系的各位同仁,感谢作者的研究生在本书的写作过程中所做的大量具体工作。

由于作者水平所限,书中谬误在所难免,不当之处,恳请读者指正。

王汇源  
2000年6月

## 内 容 简 介

本书较全面系统地讲述了数字图像通信的基本理论、方法、技术及其应用。全书分为十章,讨论静止图像和活动图像的有失真和无失真编码、图像编码方法的新进展、图像通信网络、图像通信质量分析、比特率控制问题、图像通信的典型应用系统和图像通信的有关国际标准等内容。

全书讲述力求由浅入深,理论上具有完整性和系统性,强调基本原理和基本方法,配以大量应用实例、图表、曲线和实际图像等。书中内容以实用性和先进性为主,适量充实国际最新研究成果,并注重工程应用。在附录部分列出了部分算法的 C 语言程序和最新国际编码标准的数据库等。

本书可作为高等学校通信、电子、计算机和自动控制专业本科生高年级和研究生的教科书,也可供从事这些专业的工程技术和研究人员参考使用。

# 目 录

第一章 图像与数字图像通信 .....	1
1.1 图像及其表示 .....	1
1.2 数字图像的输入和输出方法 .....	3
1.2.1 数字图像的输入 .....	3
1.2.2 数字图像的输入 .....	4
1.3 图像信息的接受与质量测度 .....	5
1.3.1 图像信息的接受 .....	5
1.3.2 图像的质量测度 .....	8
1.4 数字图像处理 .....	9
1.5 数字图像通信系统的基本结构 .....	9
第二章 图像分析与正交变换 .....	11
2.1 二维线性系统的基本理论 .....	11
2.1.1 线性位移不变系统 .....	11
2.1.2 图像系统的点扩展函数 .....	12
2.2 图像的二维傅里叶变换 .....	13
2.3 数字图像的产生 .....	15
2.3.1 二维信号取样定理 .....	15
2.3.2 图像的量化 .....	18
2.4 二维离散线性变换 .....	20
2.4.1 变换式与变换核 .....	20
2.4.2 变换的矩阵形式 .....	20
2.4.3 变换的矢量形式 .....	21
2.4.4 正交变换 .....	22
2.5 二维离散傅里叶变换 .....	22
2.5.1 定义 .....	22
2.5.2 性质 .....	23
2.6 二维离散余弦变换 .....	24
2.6.1 一维 DCT .....	25
2.6.2 二维 DCT .....	26
2.7 图像统计特性 .....	27
2.7.1 图像的空间域统计特性 .....	27
2.7.2 图像的频率域统计特性 .....	28
第三章 信息熵编码的基本理论 .....	29

3.1	图像压缩编码系统的基本构成	29
3.2	信源模型及其熵	30
3.2.1	独立信源	30
3.2.2	马尔可夫信源	30
3.2.3	无失真编码定理与最佳编码	31
3.2.4	编码器的性能	33
3.3	霍夫曼编码	33
3.4	改进的霍夫曼编码	35
3.5	算术编码	36
3.5.1	基本编码原理	36
3.5.2	Q-编码器	39
<b>第四章</b>	<b>图像的无失真编码方法</b>	<b>41</b>
4.1	二值图像编码	41
4.1.1	一维游程长度编码	41
4.1.2	二维游程长度编码	43
4.2	比特平面编码	46
4.2.1	灰度图像的比特平面分解	46
4.2.2	比特平面的格雷码表示	46
4.3	二值图像编码的国际标准—JBIG	47
4.3.1	编码方案概述	47
4.3.2	分辨率减小模块	48
4.3.3	差分层编码模块	50
4.3.4	最低分辨率层的编码	53
4.3.5	自适应算术编码器	54
4.4	无失真预测编码	54
4.4.1	理论分析	54
4.4.2	DPCM 预测编码器	55
4.4.3	预测误差的熵编码	56
<b>第五章</b>	<b>图像的有失真编码方法</b>	<b>58</b>
5.1	有失真编码概述	58
5.2	预测编码	59
5.2.1	图像的线性预测	59
5.2.2	编码器的组成	59
5.2.3	最佳线性预测	60
5.2.4	预测误差的量化	61
5.3	变换编码	62
5.3.1	变换编码的基本原理	62
5.3.2	变换系数的编码方法	63
5.3.3	变换编码的应用	65
5.4	块截断编码	66



5.4.1	基本方法	66
5.4.2	量化器的设计	67
5.4.3	对比特图和量化值的编码	67
5.5	矢量量化编码	68
5.5.1	编码方法	69
5.5.2	码书的设计	69
5.6	图像的分层编码	71
5.6.1	按比特平面的分层编码	72
5.6.2	均值金字塔	72
5.7	静止图像编码的国际标准——JPEG	74
5.7.1	JPEG 基本系统	75
5.7.2	应用举例	78
5.7.3	编码比特率的控制	80
5.7.4	实验结果	81
<b>第六章</b>	<b>活动图像编码</b>	<b>82</b>
6.1	活动图像及其数字化	82
6.1.1	电视信号与电视制式	82
6.1.2	数字化电视图像	87
6.2	帧间线性预测	88
6.3	运动估计与补偿	89
6.3.1	分块匹配法	90
6.3.2	快速搜索算法	91
6.3.3	运动估计示例	93
6.4	活动图像编码的实现方案	93
6.5	活动图像编码的国际标准——MPEG	94
6.5.1	MPEG-1 系统方案概述	94
6.5.2	MPEG-1 视频流的数据结构	95
6.5.3	MPEG-1 的视频编码方式	97
6.5.4	MPEG-1 的视频编码器和解码器	99
6.5.5	MPEG-2	100
<b>第七章</b>	<b>图像编码方法的新进展</b>	<b>104</b>
7.1	子带编码	104
7.1.1	基本编码原理	104
7.1.2	分析与综合滤波器组	104
7.1.3	图像的子带分解	106
7.1.4	子带的编码	107
7.2	小波变换编码	108
7.2.1	小波分析基础	108
7.2.2	小波变换	110
7.2.3	小波变换系数的零树编码	115

7.2.4	JPEG-2000 建议草案简介 .....	117
7.3	分形编码 .....	119
7.3.1	迭代函数系统理论简介 .....	119
7.3.2	编码方法 .....	120
7.3.3	分形编码实例 .....	122
7.4	基于模型的编码 .....	123
7.4.1	基于物体的方法 .....	123
7.4.2	基于知识和语义的方法 .....	125
<b>第八章</b>	<b>数字图像通信网络</b> .....	<b>128</b>
8.1	计算机局域网和广域网 .....	128
8.1.1	网络结构与设备概述 .....	128
8.1.2	网络中数据的交换 .....	130
8.1.3	网络中路由的选择 .....	131
8.2	互连网 .....	132
8.2.1	网络结构 .....	133
8.2.2	互连网协议 .....	134
8.2.3	互连网上的图像通信 .....	135
8.3	综合业务数字网 .....	136
8.3.1	ISDN 网络结构 .....	136
8.3.2	ISDN 的层结构 .....	137
8.4	B-ISDN 与 ATM 网 .....	137
8.4.1	ATM 的基本原理 .....	138
8.4.2	ATM 中的图像通信 .....	140
<b>第九章</b>	<b>图像通信质量分析与比特率控制</b> .....	<b>141</b>
9.1	对图像和通信系统的质量要求 .....	142
9.1.1	对图像的质量要求 .....	142
9.1.2	对图像传输系统的业务质量要求 .....	143
9.2	系统的实际编码图像业务质量 .....	143
9.2.1	数据传输速率 .....	143
9.2.2	误码与数据包丢失 .....	144
9.2.3	时延 .....	145
9.2.4	复用数据流中的图像质量 .....	145
9.2.5	MPEG-2 传输包在 ATM 上的传输 .....	147
9.3	误码和数据包丢失对编码图像序列的影响 .....	148
9.3.1	误差的产生 .....	148
9.3.2	误差对编码图像序列的影响 .....	149
9.3.3	减小误差影响的方法 .....	151
9.4	图像通信中的比特率控制 .....	152
9.4.1	比特率控制的要求 .....	152
9.4.2	编码参数对编码比特率的影响 .....	153

9.4.3 比特率控制方法 .....	154
<b>第十章 数字图像通信系统</b> .....	<b>156</b>
10.1 会议电视 .....	156
10.1.1 会议电视系统的组成 .....	156
10.1.2 国际视频编码标准 H.261 .....	157
10.1.3 会议电视系统应用举例 .....	159
10.2 可视电话 .....	160
10.2.1 概述 .....	160
10.2.2 国际低比特率视频编码标准 H.263 简介 .....	160
10.2.3 可视电话实例 .....	162
10.3 高清晰度电视(HDTV) .....	163
10.3.1 概述 .....	164
10.3.2 ATSC 数字电视标准简介 .....	166
10.3.3 我国 HDTV 的研究进展 .....	169
10.4 数字电视卫星传输系统 .....	171
10.5 视频点播(VOD) .....	172
10.5.1 VOD 系统的基本要求 .....	173
10.5.2 VOD 系统的组成 .....	174
10.5.3 VOD 系统的技术关键 .....	175
10.5.4 VOD 系统举例 .....	175
附录 A C 语言程序示例 .....	177
附录 B CCITT T.4(G3)标准编码数据 .....	205
附录 C JBIG 标准编码数据 .....	207
附录 D JPEG 标准编码数据 .....	213
参考文献 .....	221

# 第一章 图像与数字图像通信

随着计算机技术、现代通信技术、微电子技术、网络技术和信息处理技术的发展,在人类社会进入信息化时代的今天,图像信息的处理、存储和传输在社会生活中的作用将越来越突出,人们对接受图像信息的要求也越来越迫切。已经可以断言,图像通信将是通信事业发展中面临的最大挑战,也是未来通信领域的市场热点之所在。

图像通常来源于自然景物等,其原始的形态是连续变化的模拟量。然而,当图像以数字形式处理和传输时,由于具有质量好,成本低,小型化和易于实现等优点,已经成为该领域当前和未来的主要发展趋势。因此,本书将重点讨论数字图像通信中所涉及的有关问题。

与话音等其它信息相比,图像信息由于具有后面将要讨论的某些特性,其所需的传输频带比较宽,一方面使通信的成本大大增加,另一方面在有些情况下使得通信根本无法实现。因此,在保证一定的通信质量的前提下,设法压缩数字图像的数据量,从而压缩所需传输信道的频带宽度将是实现数字图像通信的一个关键问题。

## 1.1 图像及其表示

据研究,在人类所接受到的全部信息中,有70%以上是通过视觉得到的。和语音或文字信息相比,图像包含的信息量更大,更直观,更确切,因而具有更高的使用效率和更广泛的适应性,因此,图像信息对于人们的生活和工作是非常重要的。人们从与生俱来的感觉中,就建立了关于图像的概念,然而,要给图像下一个准确的定义,却并不容易,当然也不需要。例如,有的参考文献就将图像从广义上定义为对物体或事物的表示、类比或模仿,一种生动的、图形化的描述,用来表示其它物体或事物的某种东西,等等。这在表述上也许比较严谨,但却很难和我们意识中的图像联系在一起。从本学科或专业出发,我们可以按照图像的表现形式、生成方法等对其作各种不同的划分。

按照图像的存在形式分:

(1) 实际图像:物质或能量的一种分布,通常为二维分布。进一步地,可分为以下两种。

可见图像:人眼能够看到并接受的图像,包括照片,绘画,图纸等图片和由光学镜头、光栅和衍射图生成的光学图像等。必须指出的是,虽然有的时候用图片一词代替图像,但严格地说,图片只是图像中的一个类。

不可见图像:例如温度、压力、高度和人口密度分布图等。

(2) 抽象图像:数学函数图像,包括连续函数和离散函数,这里的离散函数就是数字图像。

按照图像的光谱特性分:

(1) 彩色图像:又称为多光谱图像,即图像上的每个点有多于一个的局部性质。例如,在彩色摄影和彩色电视中重现的所谓三基色(红、绿、蓝)图像,每个像点就有分别对应三个基色的三个亮度值。

(2) 黑白图像:每个像点只有一个亮度值。例如黑白照片,黑白电视画面等。

按照图像是否随时间而变化分:

(1) 活动图像:随时间而变化的图像。例如电影和电视画面等。

(2) 静止图像:不随时间而变化的图像。例如各类图片等。

综上所述,一幅图像通常可用这样一个分布函数  $E(x, y, z, t)$  来表示,其中,  $x, y, z$  表示像点的空间坐标,而  $t$  表示时间。在以后的讨论中,我们所说的图像,一般指以亮度形式存在的二维的可见图像,除非特别指出,我们也不必考虑时间的因素,于是,作为亮度分布的黑白图像可表示为

$$f(x, y) = \int_0^{\infty} E(x, y, \lambda) S(\lambda) d\lambda \quad (1.1-1)$$

式中,  $E$  是视觉对象的辐射能量;  $\lambda$  是波长;而  $S(\lambda)$  代表波长为  $\lambda$  的单位辐射能量所产生的等效亮度,我们不妨称其为亮度敏感函数。

对于彩色图像,通常可按照三基色原理分解为红、绿、蓝三个单色分量图像,即

$$\left. \begin{aligned} f_R(x, y) &= \int_0^{\infty} E(x, y, \lambda) S_R(\lambda) d\lambda \\ f_G(x, y) &= \int_0^{\infty} E(x, y, \lambda) S_G(\lambda) d\lambda \\ f_B(x, y) &= \int_0^{\infty} E(x, y, \lambda) S_B(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (1.1-2)$$

式中,  $S_R(\lambda)$ 、 $S_G(\lambda)$  和  $S_B(\lambda)$  分别代表波长为  $\lambda$  的单位辐射能量所产生的等效红、绿、蓝分量的强度,这里不妨分别称其为红、绿、蓝敏感函数。由于上式中的每个彩色分量都可看作一幅黑白图像,所以,在以后的讨论中,所有对于黑白图像的理论和方法,都适用于彩色图像的每个分量。

对于一幅实际图像  $f(x, y)$ ,在空间和亮度上的取值都是受限的,即满足

$$0 \leq f(x, y) \leq f_{\max} \quad (1.1-3)$$

及

$$\left. \begin{aligned} x_{\min} &\leq x \leq x_{\max} \\ y_{\min} &\leq y \leq y_{\max} \end{aligned} \right\} \quad (1.1-4)$$

这一性质,可简称为图像的非负性和有界性。

通常,图像在空间和亮度上都是连续取值的,称为连续图像或模拟图像,如果对连续图像在空间和亮度上进行离散化,就成为数字图像,这是唯一能够由计算机进行处理的图像形式。

数字图像可表示为一个二维的序列

$$f(x, y), x = 0, 1, \dots, M - 1; y = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (1.1 - 5)$$

也可表示为一个  $M$  行  $N$  列的矩阵

$$\{f_{i,j} \mid i = 0, 1, \dots, M - 1; j = 0, 1, \dots, N - 1\} \quad (1.1 - 6)$$

还可将以上矩阵按行或按列堆叠为一个一维的矢量

$$F = [f(0,0)f(0,1)\cdots f(0,N-1)\cdots f(M-1,0)f(M-1,1)\cdots f(M-1,N-1)]^T \quad (1.1 - 7)$$

图像中的一个点,叫做一个像素或像点,图像在每个点上的取值叫做图像在该点上的亮度或灰度。一幅数字图像所占的总数据量,由其总像素数和表示每个像素的灰度所需的二进制位数(即比特数)决定。例如,一幅  $(256 \times 256)$  点的数字图像,如果具有 256 个灰度级,即每个像素用 8bit(一个字节)表示,那么,其总数据量就是 64K 个字节(即  $256 \times 256 \times 1 = 65536$ )。图 1.1 所示的就是这样的一幅数字图像。数字图像所占的数据量大,是其传输和存储时必须解决的主要问题之一。



图 1.1 黑白图像“Moon”

## 1.2 数字图像的输入和输出方法

### 1.2.1 数字图像的输入

将景物或模拟图像转换为数字图像,是数字图像处理、编码和传输中首先要解决的问题。这一任务是由图像数字化设备或称数字图像输入设备完成的,以下对常用的数字图像输入设备作一简要介绍。

数字图像输入设备通常由以下五部分组成:

- (1) 取样孔:能够输入单个像素而忽略图像中其它像素的机构。
- (2) 图像扫描机制:使取样孔以预定的方式沿图像运动,依次取得图像的每个像素。
- (3) 光传感器:测出图像在取样孔处的灰度值,一般是将光的亮度转换为电压或电流的光电转换器。

(4) 量化器:将光传感器的输出转化为整数值,典型的量化器就是 A/D 转换器。

(5) 存储介质:将量化器输出的灰度值以适当的格式存储,以供处理。可以是固体存储器,磁盘或其它设备。

数字图像输入设备的性能指标,通常包括:

(1) 像素尺寸:包括两个主要方面,即取样孔的大小和像素间距。当装有可变放大倍数的光学系统时,其变化范围就是一个重要指标。

(2) 最大输入图像尺寸:指输入设备能够输入图像的最大尺寸。如果是胶片扫描仪,其最大尺寸应该是 35mm(电影胶片)或 11 英寸×14 英寸(X 光胶片)。对于输出的数字图像,图像尺寸则是以行数 and 每行像素数的最大值表示的。

(3) 线性度:输出的灰度值与实际图像亮度成比例的程度,非线性将会影响后续处理的有效性。另外,输入设备能够产生的灰度级数,也是很重要的指标。

(4) 噪声特性:输入设备产生的噪声电平。当输入图像灰度为常数时,噪声将引起图像输出灰度级的变化,这是图像质量下降的一个原因,所以,噪声相对于图像的对比度应该很小。

数字图像输入设备的主要部件有:

(1) 光源:有白炽灯,激光器,发光二极管等。

(2) 光传感器:有光电发射管,光电二极管,光电三极管等。

(3) 扫描机构:有机械扫描和电子束扫描;电子束扫描又有静电偏转和静磁偏转两种方式。

目前最常用的数字图像输入设备主要有两种,即图像扫描仪和由摄像机和相应的计算机接口卡(图像采集卡)构成的摄像输入系统。这两种设备的核心都是摄像管,常用的有光导摄像管和电荷耦合器件(CCD)摄像管。

## 1.2.2 数字图像的输出

数字图像经过传输或处理,最终通常仍以图像的形式输出,例外的情况是以数据或判决的形式输出。图像输出设备就是将数字图像转换为可为人类接受的形式设备。

数字图像通常有两种基本的输出形式,即永久性输出和暂时性输出。永久性输出是在纸张,胶片或其它记录介质上通过永久地改变记录介质的光吸收特性而产生的硬拷贝;暂时性输出是在显示屏上产生一个暂时的图像。

数字图像输出设备的性能指标,通常包括:

(1) 输出图像的尺寸:包括两方面,即输出设备能够输出的图像的实际尺寸和能够处理的数字图像尺寸。

(2) 光学分辨率:指输出设备在每个像点处产生正确的亮度值的准确度。最有意义的是输出设备能够产生的离散灰度级的数目。这部分地取决于用于控制每个像点处亮度的比特数。当然,输出设备能够接受多少位的数据是一回事,而能够可靠地输出多少个不同的灰度级则是另一回事。实际输出的灰度级的数目不可能多于数据中的灰度级的数目,很可能要少得多。

(3) 灰度线性度:即输出的亮度与输入灰度级成比例的程度。标志这一特性的是输出设备的输入—输出转移曲线,该曲线应尽量接近线性并保持恒定不变。幸好,人眼对亮

度的感觉不是很精确,转移曲线中 10% ~ 20% 的轻微亮度变化是难以察觉的。

(4) 输出校准:在使用电视监视器的暂时性输出设备中,上述转移曲线部分地依赖于亮度和对比度调整设置,永久性硬拷贝输出设备通常在前后面板上也有调整装置。这些调整中有时包括改变转移曲线形状的所谓伽玛曲线设置。这就使用户可以改变转移曲线以适应其特定的图像或个人的爱好。

(5) 频率响应:分为低频和高频响应,即输出设备对图像的平坦区域和细节的表现能力。主要由输出像素的形状,像素间的距离以及幅度和位置噪声特性等决定。

常用的数字图像输出设备主要有:

(1) 暂时性输出设备:主要是使用光栅方式扫描的阴极射线管(CRT)显示器,例如计算机的监视器,普通电视机和专用图像显示器等。像点的亮度随位置而变化,从而生成图像。这种显示方式要求有一个数字图像的存储器,使显示器不断地得到刷新。

(2) 永久性输出设备:主要涉及到两种技术,即抖动和彩印。抖动技术又称为半色调技术,是用不同大小或组合的黑色实点排列成的方块模拟出灰度效果的技术。这是因为虽然有的打印技术能够输出所需的灰度,但大多数的却只能要么打印出一个实点,要么在纸上留一个空白。彩印与 CRT 彩色显示原理有所不同,CRT 彩色显示是利用大量的红、绿、蓝三基色发光点在显像管上混色重现图像,即 RGB 系统,而硬拷贝图像,则是靠反射光看到的,所以,这时重现图像的基本元素是分别吸收红、绿、蓝三基色的三种颜料。当以适当比例混合后,理论上能够产生任一可见的颜色,这就是相减混色原理。在白光的照射下,吸收蓝光的颜料看起来是黄色的,而吸收绿光和红光的颜料看起来是品色和青色的。因此,青、品、黄是彩印中的三种基色,这又称为 CMY 系统。由于实际中的颜料通常不能产生所有亮度的理想色彩,所以在彩印的实践中,一般还要使用第四种颜料,即黑色,以保证能够表现出所要求的灰度,这又叫做 CMYK 系统,或四色印刷。

典型的永久性输出设备主要有 CRT 胶片或激光胶片记录仪,各类打印机,包括喷墨打印机、激光打印机、热蜡打印机和针式打印机等。

## 1.3 图像信息的接受与质量测度

通常,人是图像信息最终的接受者,也是图像质量的最终评判者,而人又是靠眼睛的视觉功能实现这一任务的。所以,对图像信息的处理,应充分考虑人眼的视觉特性,这也是实现图像的有失真压缩的基本出发点之一。

### 1.3.1 图像信息的接受

人们通过视觉接受图像信息,这是一个相当复杂的过程,我们有必要首先对视觉系统作一简单的了解。从解剖学上看,人的视觉系统可分为眼睛,视神经联络通路,外侧膝状体和视觉皮层四个部分。其中,眼睛是将外部的景物转换为视觉信号的最为重要的器官,而其它三部分位于大脑内部,主要完成视觉信号的传输和处理。

从物理的角度,眼睛就是一个由角膜、晶状体和视网膜等构成的光学成像和光电转换系统,如图 1.2 所示。景物由瞳孔通过相当于双凸透镜的晶状体在视网膜上成像,然后由视网膜中作为光传感器的视细胞转换为视觉信号。



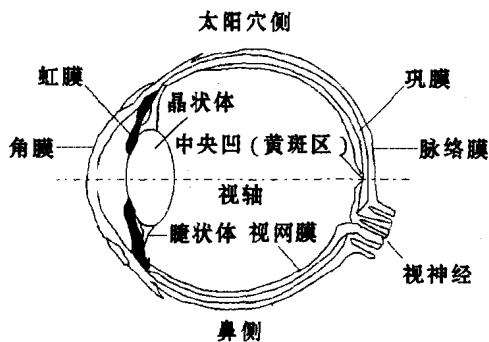


图 1.2 眼睛水平截面图

人实际上所接受到的具体的图像信息,与视觉系统的各个环节都有关系。我们关心的是感受到的图像与实际景物之间的差异,于是,我们可以将视觉系统看做一个通常的输入输出系统,而其输入和输出之间的关系,就是视觉特性。一般的视觉特性的讨论已经超出本书的范围,这里只简单介绍与后续章节密切相关的一些视觉现象。

### 一、对比灵敏度

在数字图像中,图像的亮度表示为一系列的离散值,即灰度级,那么,图像系统能够提供或处理多少个灰度级才能满足实际的需要呢?这就要从人眼对亮度的分辨能力入手寻找答案。人类视觉系统能够适应的亮度范围是非常大的,从最暗到最亮可达  $10^{10}$  的数量级。然而,这并不是说视觉系统可同时工作于这样大的亮度范围。实际上,视觉系统是通过改变其对亮度的总灵敏度来适应这个亮度范围的,这个现象叫做亮度适应性。人类视觉系统能够同时分辨的亮度范围相对于整个适应范围是很小的。

大量的实验表明,视觉系统很难正确判断亮度的绝对大小。然而,当判定两个亮度中何者较大时,视觉系统则有较好的能力,这就是说,人眼有较好的对比灵敏度。对比灵敏度实验如图 1.3(a)所示。在亮度为  $B$  的均匀光场中央,放上一个亮度为  $B + \Delta B$  的圆形目标,从零开始增加  $\Delta B$ ,直至刚好能鉴别出亮度差异。这时我们测得的值  $\Delta B$  同背景亮度  $B$  有关,故是  $B$  的函数。 $\Delta B$  在很大范围内近似同  $B$  成正比,即  $\Delta B/B$  近似为常数,其值约为 0.02,此值称为韦伯比,如图 1.3(b)所示。这个现象不禁使人产生这样的想法,即人类视觉的动态范围比人工的成像系统要宽得多,然而,上述实验并不对应我们通常观看事物的情形,更有可用价值的是图 1.4(a)所示的实验。这里,我们仍然测量  $\Delta B/B$ ,但是以环境亮度  $B_0$  作为一个参数,结果示于图 1.4(b)。其动态范围大约为以适应亮度为

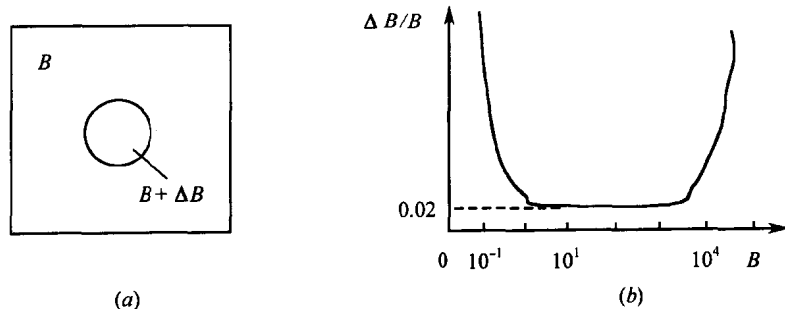


图 1.3 对比灵敏度实验之一