

数字图声信息技术

刘毓敏 编著

北 京

内 容 简 介

本书全面介绍了数字图声的相关知识。在第 1 章至第 6 章中,从图声信息的数字化输入,数字图声信息的高效编码、处理、传输与存储、显示与重发等方面,全面、系统地介绍了数字图声信息技术的基本概念和基本原理。在第 7 章和第 8 章中,对数字图声信息技术的实际应用做了总体概括,以便读者将理论与实际联系起来,对数字图声信息技术形成清晰而准确的概念。

本书适合作为广播电视、电子应用、计算机、通信等图声信息相关专业的专业基础课教材或参考书,同时也是相关专业从业人员继续教育的优秀培训教材和自学读物。

图书在版编目(CIP)数据

数字图声信息技术/ 刘毓敏编著. —北京:科学出版社, 2003
ISBN 7-03-012301-8

. 数... . 刘... . 数字图像处理 语音数据处理
. TN919. 8 TN912. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 088918 号

策划编辑:王淑兰/ 责任编辑:丁 波
责任印制:吕春珉/ 封面设计:王 浩

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 10 月第 一 版 开本:787 × 1092 1/ 16
2003 年 10 月第一次印刷 印张:21 1/ 2
印数:1—4 000 字数:496 000

定价:29. 00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换 科印)

前 言

早在大半个世纪前，控制论鼻祖维纳就说过：“要有效地生活，就要有足够的信息”。今天，人类已步入信息时代，谁没有充分的信息驾驭能力，谁就无法得到充分发展，恐怕连生存都成问题。图像和声音是人类获取信息的主要途径，有人曾统计过，人类从外部世界获取的信息有 60 % 是从视觉获得，20 % 是从听觉获得。由此，不难想象图声信息技术的重要性。正因为图像和声音是人类获取信息的主要途径，图声信息技术很早就已渗透到社会生活的方方面面，成为人们日常生活、工作和学习中不可或缺的信息媒介。

另一方面，数字化技术已成为当今各电子信息领域的主流技术。由于信息的数字化，使得原来界限分明的专业领域（如广播电视、家用电器、计算机、通信等）的界限越来越模糊，出现了技术、业务的交叉和融合趋势（“信息家电”就是这种趋势的一种表现形式）。而作为人类感知外部的主要信息渠道——图像（静止图像和活动图像）和声音的数字化技术正是电子信息数字化的主要内容，是上述这种交叉和融合的基础。数字化图声技术已成为上述专业领域的共同的基础性技术，数字化图声信息技术知识已成为上述专业领域师生、从业人员必不可少的专业基础知识，学习和使用数字图声技术的人越来越多，涉及的专业领域越来越广。

在现实中，各种实际需要迫使我们尽快地、直截了当地学会使用各种应用软件，因此对数字图声技术的学习往往停留在具体应用层面上。无论是读者还是作者，都很重视实际操作，都将主要的精力放在这些应用程序的操作使用上。例如，时下图书市场上，关于各种流行的数字图声应用软件（如 Photoshop、Premiere、Calwalk 等）的实际操作的书籍不下数十种，而且风格各异，既有图书，又有电子读物。这些软件有哪些主要命令，各种命令的功能、实现步骤，以及适用场合等都讲解得很清楚。应该说，我们掌握这些软件的操作是不成问题的。但是，我们在使用时都遇到过这样的问题：这些命令中，很多是需要读者设定一些参数的，例如，我们用 Photoshop 的“滤镜”中的“锐化”之“USM 锐化”功能时，会弹出一个对话框，框中有“数量”、“半径”和“阈值”三个参数让读者设定，那么，该怎样设定呢？也许读者可以从若干次尝试中揣摩到该如何设置这些参数来获得自己想要的效果，但还是弄不清这些参数处于一种怎样的关系时才能达到预期的图像效果，因为他的知识结构中还没有关于 USM 锐化的基本原理的知识。笔者作为相关专业的学科教师，在多年的专业教学中发现，如果我们一味强调实际操作，而忽视相关专业技术基础知识的学习，将只能学一个软件，会用一个软件，很难做到举一反三，实现专业技能的“高效迁移”。我们在教学中深深体会到，数字图声技术的应用能力，不仅仅是具体应用程序的操作技能，系统全面的数字图声技术的基本概念和原理也是这些能力的有机组成部分。因此，笔者不避浅陋，根据自己在多年教学中的体会，试图按以下编写思路为读者梳理出一个数字图声信息技术的大致轮廓。

首先，笔者对目前已经实用化的各类数字图声信息技术进行抽象，并在此基础上形

成了“数字图声处理/传输系统”模型(第1章),并从图声信息的获取、变换处理和传输/存储的角度对系统模型所涉及的5项关键技术(电子图声信息输入技术(第2章)、数字图声信息高效编码技术(第3章)、数字图声信息处理技术(第4章)、数字图声信息传输技术(第5章)、电子图声信息输出及存储技术(第6章)等)的基本原理(即共性)进行了描述,希望这样有助于读者从数字图声信息技术的各种具体应用状态中解脱出来,迅速深入到该技术的核心来把握其本质特征,为进一步深入理解各种具体的数字图声信息技术打下基础。

在此基础上,笔者在第7章对当前一些主流数字图声信息技术的应用系统进行了较系统的介绍,以便读者能对上述5项数字图声信息关键技术的具体表现状态有一个更具体的认识。而第8章则主要针对大多数读者都会涉及的数字图声信息内容的制作与传播实务,进行了较为系统、深入的介绍。

我们也应该看到,数字图声信息技术的涉及面很广,是多种学科的综合。因此,以笔者一人的专业知识,确实很难给读者一个关于数字图声信息技术的完整概貌。但为了教学需要,只能不避浅陋,希望能起到抛砖引玉的作用。本书在编写过程中参考了大量的专业文献,在此对这些文献的作者致以衷心的感谢,如有疏漏,敬请指正并谅解。

囿于作者的理论知识和教学经验,加之成书匆促,书中不妥之处在所难免,希望广大读者批评指正。

作者

2003年5月

于广州华南师范大学

目 录

第 1 章 电子图声信息系统.....	1
1 1 电子图声信息基础	1
1 1.1 电子图声信息系统	1
1 1.2 图声电子学基础	2
1 2 数字化电子图声信息系统.....	28
1 2.1 信息系统的数字化	28
1 2.2 数字化图声信息系统	40
复习思考题	45
第 2 章 电子图声信息输入技术	47
2 1 图声信息电子化技术.....	47
2 1.1 图像信息电子化技术	47
2 1.2 声音信息电子化技术	55
2 2 静态图像信息输入技术.....	58
2 2.1 机械式扫描	58
2 2.2 电子式扫描	58
2 3 活动图像信息输入技术.....	63
2 3.1 3CCD 摄录像机	63
2 3.2 单 CCD 摄录像机	72
复习思考题	79
第 3 章 高效图声编码技术	81
3 1 常用高效图声编码技术原理.....	81
3 1.1 图像编码技术	81
3 1.2 声音编码技术	92
3 2 高效图声编码国际标准.....	99
3 2.1 静态图像编码标准	99
3 2.2 运动图像及其伴音编码标准——MPEG	103
3 2.3 多媒体图声编码标准	110
复习思考题.....	115
第 4 章 数字图声信息处理技术	117
4 1 数字图像信息处理技术	117
4 1.1 数字图像信息处理技术概况	117
4 1.2 数字图像信息预处理技术	118
4 1.3 特征提取处理技术	126
4 1.4 图像识别技术	133

4 2	数字声音信息处理技术	136
4 2. 1	数字声音信息处理技术概况	136
4 2. 2	音响领域的数字声音信息处理技术	136
4 2. 3	语音领域的数字声音信息处理技术	139
	复习思考题.....	146
第 5 章	数字图声信息传输技术.....	148
5 1	数字图声信息传输对网络的要求	148
5 1. 1	对网络性能指标的要求	148
5 1. 2	对网络功能的要求	150
5 1. 3	对网络服务质量 QoS 的要求	150
5 2	支持数字视音频传输的 LAN	150
5 2. 1	概述	150
5 2. 2	传统共享介质 LAN	151
5 2. 3	LAN 帧交换	156
5 2. 4	同步 FDDI 及优先级令牌环	158
5 2. 5	100 VG-AnyLAN 以太网和 FDDI	158
5 2. 6	等时以太网	159
5 2. 7	异步传输模式 (ATM) LAN	160
5 2. 8	LAN 性能的比较	161
5 3	支持数字视音频传输的 WAN	161
5 3. 1	电路交换 WAN	161
5 3. 2	分组交换 WAN	163
5 3. 3	异步转移模式 (ATM) WAN	166
5 4	支持数字视音频传输的 IP 网.....	171
5 4. 1	传统 IP 网	171
5 4. 2	IP 组播	173
5 4. 3	新一代 IP 协议 IPv6	175
5 4. 4	新出现的 QoS 保障机制	177
5 5	宽带用户接入技术	177
5 5. 1	宽带用户接入网	177
5 5. 2	铜线接入技术	177
5 5. 3	光纤接入技术	178
5 5. 4	光纤同轴电缆混合接入 (HFC) 技术	178
5 5. 5	无线接入技术	179
5 5. 6	以太网接入技术	179
	复习思考题.....	179
第 6 章	电子图像信息输出技术.....	181
6 1	电子图像信息显示技术	181
6 1. 1	电子图像信息显示技术概况	181

6.1.2	CRT	184
6.1.3	LCD	188
6.1.4	PDP	195
6.2	图声信息存储技术	203
6.2.1	磁存储技术	203
6.2.2	光盘存储技术	208
6.3	电子图像信息硬拷贝技术	217
6.3.1	热敏记录技术	217
6.3.2	电子照相技术	221
6.3.3	喷墨打印技术	226
6.4	电子声音信息重发技术	227
6.4.1	声音重发技术概况	227
6.4.2	扬声器	227
	复习思考题.....	229
第7章	典型电子图像信息系统.....	231
7.1	数字电视广播系统	231
7.1.1	数字电视发展概况	231
7.1.2	美国的 ATSC 数字电视标准	234
7.1.3	欧洲的 DVB 数字电视标准	236
7.1.4	我国 HDTV 的技术方案	239
7.1.5	数字电视的接收技术	243
7.2	多媒体通信系统	245
7.2.1	多媒体通信技术概况	245
7.2.2	视频会议与可视电话系统	249
7.2.3	交互电视系统	257
7.2.4	流媒体应用系统	260
7.3	桌面数字图声制作系统	261
7.3.1	桌面多媒体影视制作系统	261
7.3.2	计算机图形系统	277
7.3.3	计算机音乐系统	280
	复习思考题.....	289
第8章	数字图声内容的制作与传播实务.....	290
8.1	数字图像信息的采制	290
8.1.1	基于桌面多媒体影视制作系统的数字视音频素材采制	290
8.1.2	基于通用工具的桌面数字视音频素材采制	295
8.2	数字图声信息的加工处理	314
8.2.1	数字图像处理	314
8.2.2	数字音频处理	317
8.3	数字图声信息传播实务	319

8.3.1 数字图声作品的光盘存储	319
8.3.2 数字图声作品的网络发布	327
复习思考题.....	333
主要参考文献.....	334

第 1 章 电子图声信息系统

【学习目标】 通过对本章的学习，从信息论的角度，建立起关于电子图声信息系统，尤其是数字化图声信息系统的概念模型；并懂得图声信息系统的服务对象是人，因此，应充分理解人的视听觉特性；掌握图声信息技术的基本概念。

1 1 电子图声信息基础

1 1 1 电子图声信息系统

1 信息系统

在人类已步入信息时代的今天，正如控制论创始人维纳早在大半世纪前就曾断言的那样：“要有效地生活，就要有足够的信息”。在信息社会里，信息已被视为与物质（材料）、能量（能源）同等重要的因素，是支持人类各种活动的基础资源。

信息系统正是人们在各种社会实践活动中，为充分利用信息资源来更有效地达成实践目的而发展起来的人工系统。

信息系统是由信息采集、信息处理、信息传输、信息存储、信息显示等功能模块组成。信息系统的技术基础是信息技术，它以微电子学为基础综合运用通信、计算机和控制技术（即所谓 3C 技术）来组成各种信息系统。

在人类步入信息社会的今天，信息系统正在成为人类社会生活中所必不可少的基础设施。从人类对信息管理和利用的观点来看，信息既可以在本地加工利用（如数据、文字的计算机处理），也可以交互传递（如电报、电话），还可以向大众传播（如报纸、广播）。因此，通信系统、计算机系统和大众传播系统都属于信息系统的范畴。

2 信息系统的基本类型

(1) 按信息运动过程的本质分类

从信息运动过程的本质来看，任何信息系统中所发生的信息运动都不外乎涉及以下三类物理过程：

将信息从“这里”传输到“那里”的信息通信过程。

将信息从“现在”传输到“未来”的信息存储过程。

将信息从“这样”变为“那样”的信息处理过程。

我们把系统中发生的信息运动以第 类过程为主的信息系统称为通信系统；而以第 类过程为主的信息系统称为存储系统；以第 类过程为主的信息系统称为信息处理系统。

考虑到对第 、 类系统的信息运动过程都是以信息的“传输”为本质特征的。因此，我们可将这两类系统称为信息“传输系统”。但为了避免读者望文生义而将“传输系统”与“通信系统”等同起见，本书将其命名为“传输/存储系统”。

(2) 按信息的媒体分类

所谓媒体 (Medium) 就是信息的载体。社会生活中，人们往往从不同角度，在不同层面使用“媒体”一词，含义较为混乱。从信息在人—机信息系统的运动规律看，我们可将媒体划分为如下五类：

感觉媒体 (Preception Media) 是指能够作用于人的感官，使人能够直接感知信息的一类媒体。我们知道，人类的感覺通道主要包括：视觉、听觉以及触觉、嗅觉、味觉等。因此，视觉感觉媒体就是指能被视觉感官接收的可见光波段的电磁波；听觉感觉媒体就是能被听觉感官直接接收的可闻声频段的声波 (机械波)。

表示媒体 (Presentation Media) 是指为了使信息系统能够采集/显示、加工处理、存储/传输各类感觉媒体所携带的信息，而人为地构造出来的一类媒体，主要表现为信息系统赖以工作的各种信号形态。因此，表示媒体可分为：视觉媒体 (包括文本、图形、图像、视频等信号)、听觉媒体 (即音频，包括语音音频信号和非语音音频信号)、模拟信号和数字信号等。

显示媒体 (Display Media) 是指将信息系统中的表示媒体转换为人类可直接接收的感觉媒体的一类媒体，如阴极射线 (CTR) 显示、液晶 (LCD) 显示、等离子体 (PDP) 显示、胶片显示、纸显示、扬声器等。

存储媒体 (Storage Media) 是指信息系统中用于存放表示媒体的一类媒体，如磁盘、光盘、胶片等。

传输媒体 (Transmission Media) 是指信息系统中将表示媒体从一处传送到另一处的一类媒体，这类媒体可以是热、力、电、光等不同类型的信号。

在信息技术中，以媒体的不同来划分信息系统的类型时，主要是按表示媒体的不同进行划分，如模拟信息系统和数字信息系统；音频系统、视音频系统及多媒体系统等；又或者数字音频、数字视音频系统等。

1 1 2 图声电子学基础

1 图像电子学基础

(1) 图像电子信息系统

图像电子信息。人们在日常生活中所接触的报纸、杂志、书籍、电视、视盘、多媒体计算机、因特网……到处都是图像。通过图像我们获取了大量的信息。信息本身并不是看得见、摸得着的有形物，它只能通过媒体属性的改变来显示。所谓图像信息就是媒体的视觉属性的改变所显示出来的状态，我们称之为“像” (Image)。这些视觉属性主要是图像的亮度、颜色及其空间分布等方面的表现状态。表达图像信息的媒体是多种多样的，有光、电流、电压、声、热、机械等形式。图像电子信息是指电子媒体状态改变所代表的图像视觉属性。

图像电子信息系统。图像电子信息系统是将图像电子信息作为对象电子系统，其

服务对象是人类的视觉系统。图 1-1 是图像电子信息系统的典型结构，其中图像信息运动的基本过程为：首先将目标景物的图像信息（一般是光像，但不一定都限于是光像）转换为电信号，然后以电信号的形式将图像信息进行传输、记录和处理，再将电信号转换为人类视觉系统能够接受的光像。

图 1-1 图像电子信息系统

计算机图形系统是图像电子信息系统的重要组成部分，其特征是通过对“对象”（既可以是现实世界中的景物，也可以是抽象甚至是假想（想象）的事物）进行描述（建模），然后通过计算机对描述这些对象的数据或过程进行种种处理，从无到有地产生能正确反映这些对象的某种性质的图形输出。

（2）人类的视觉特性与图像质量评价

从图 1-1 可见，图像电子信息系统的服务对象是人的视觉系统，为了让图像电子系统发挥更大的效能，必须首先认识人的视觉系统的特性。

光的物理特性。人类的视觉系统是凭借光而感觉到世界的五光十色的。那么光是什么呢？我们知道光是一种物质，具有一定的能量，光是以电磁波形式传播的。光与我们所熟知的另一种电磁波——无线电波并无本质区别，但为什么人眼能看见光，而不能看见无线电波呢？这主要是两者的波长（或频率）范围不同。科学研究发现，电磁波的波谱范围很广，包括无线电波、红外线、紫外线、X 射线、γ 射线，但仅在 $380\text{nm} \sim 780\text{nm}$ 这段很小的波长范围内的电磁波能给人的视觉系统产生色彩感觉，因此我们称之为可见光。在可见光波波长范围 $380\text{nm} \sim 780\text{nm}$ 内的各种不同波长（或频率）成分，称为波谱（或频谱）。不同波长的光，将对人的视觉系统产生不同的色彩感觉，例如，波长为 700nm 的光给人红色的感觉，波长为 400nm 的光给人紫色的感觉等。只包含单一波长成分的光称为单色光，包含两种或以上波长成分的光称为复合光。复合光给人的视觉系统的刺激呈现为混合色，如等量的红光和蓝光，给人紫色的感觉。尽管人的视觉系统的感觉一样，这种复合光紫色与单色光紫色的物理本质是不同的。

太阳光辐射出来的是包含各种单色成分的光谱带，因而它是一种复合光，它给人以白光的综合感觉，这一现象已经由人们熟识的棱镜分光实验所证实。从该实验可知，波长在 $640\text{nm} \sim 780\text{nm}$ 范围的可见光为红色，波长在 $600\text{nm} \sim 640\text{nm}$ 范围的可见光为橙色，波长在 $550\text{nm} \sim 600\text{nm}$ 范围的可见光为黄色，波长在 $480\text{nm} \sim 550\text{nm}$ 范围的可见光为绿色，波长在 $450\text{nm} \sim 480\text{nm}$ 范围的可见光为蓝色，波长在 $380\text{nm} \sim 450\text{nm}$ 范围的可见光为紫色。

色彩视觉特性。现实世界五彩缤纷：蓝天白云、红男绿女、灯红酒绿、姹紫嫣红，但可知道，世界全因为你而绚丽多彩！色彩固然是现实事物本身的属性，但色彩更是你的主观感觉的属性，色彩是一种主客观综合属性。色彩是一个心理物理学概念。光照射在物体上，人眼接受了照明光谱中被物体反射的那一部分光的能量，而产生色彩感觉，这一感知过程包括了光照、物体反射和人眼的机能等三个因素。

从视觉的角度来描述一种色彩需要用亮度、色调和饱和度等三个概念。亮度用于描述光的强弱；色调用于描述色彩的类别；色饱和度用于描述色的深浅。在定量地确定某种色彩的上述参数时，必须考虑以下因素：物体表面反射系数的光谱特性、照明光光谱分布以及人眼的光谱灵敏度特性，这三方面因素的乘积共同决定了人眼所看到的颜色。

诸如电视系统这样的图像传输系统是景物的光学图像的传输系统，因此，要保证用户观看的图像色彩逼真，应满足以下条件：物体的反射光谱特性、光源的光谱分布、图像传输系统的光谱特性以及人眼的光谱灵敏度特性四方面因素的乘积等效于人眼直接观看原景物时三方面因素的乘积。

亮度又称明度，是指光所引起的人眼视觉的明暗程度。显然，亮度与光线强弱有关，同一景物因光照强度不同会引起不同的亮度感觉，同时亮度还与物体表面的反光率有关，反光率愈高，物体看起来就愈明亮。各种颜色的物体表面的反光率也不一样，黄色褐色的表面对可见光谱各种波长光的反光率比红色表面高，而蓝色物体表面的反光率又比红色表面低，所以在同样的照明条件下，黄褐色物体比红色物体显得明亮，蓝色物体最暗。

色调是指光的颜色类别。色调又称色相、色别。不同波长的可见光在视觉上引起红、橙、黄、绿、蓝、青、紫等各种色彩感觉。当然，同一色彩感觉也可由多种不同波长的光共同引起。色调与光的频率有关，若改变光的光谱成分，就会引起色调的变化。

色饱和度又称纯度，是指颜色的深浅程度，即色的浓淡。饱和度是与色光中的白光成分多少有关的，白光愈多，饱和度愈低，色就愈淡，白光的饱和度为零。

色调和色饱和度常常又统称为色度。

五光十色世界，有的物体的颜色感觉是由于其自身发光引起的；而有的物体的颜色感觉则是由于光照射其上而引起的。前者我们称之为光源色，后者则称之为物体固有色。

光源色：不同光源给人的色彩感觉的不同，主要是因为其频谱特性不同。同一光源在不同的条件下其频谱特性也会不同，如早晚与中午的阳光的频谱特性不同，给人的色彩感觉也不同。光源色是指发光体（光源）发出的可将光给人的色彩感觉。它是一个主客观概念。我们通常用色温和显色性两个概念来表征发光体的光源色特性。

物体固有色：叶是绿的，花是红的，我们的五星红旗的旗面是红的、星是黄的，一切都理所当然。自然界的各种景物在各种光源（主要是太阳）的照射下为什么会呈现各种颜色呢？这主要是因为各种物体反射、透射和吸收光的特性不一样的，而同一事物，它的这些特性是较稳定的。物体固有色是指本身不发光的物体在标准光源（通常是太阳光）照射下所具有的各种颜色。这类物体虽然自身不能发光，但它能反射、吸收或透过某种特定波长的光，从而经过该物体入射到人眼而引起各种不同的色彩感觉。它除

取决于其本身的上述特性外，还取决于照射光源的光谱功率分布特性。因此，一些熟识的物体（如绿叶）我们认为它的“理所当然”的颜色（绿色），其实只是它在标准光源（太阳）照射下的色彩感觉。它在非标准光源照射下，将有不同的色彩感觉，只是我们的“经验”告诉我们它“应该”是某颜色（绿色）而已。

总之，物体的色彩感觉，是由物体本身的属性、照明条件和人的视觉系统等三方面因素共同决定的。

色彩视觉理论有如下几种。

色彩视觉的理论假说：关于色彩视觉的科学研究已有上百年的历史，但即使到了今天，仍然无法从解剖学的层面弄清人类视觉系统接收、处理和反应色彩信息的生理和心理机制，因此，只能通过人类视觉系统对色彩的感觉规律提出假设性理论。基于色彩混合的物理规律提出的三色学说和基于视觉现象提出的四色学说是当代关于色彩视觉的主流假说。尤其是三色学说及在此基础上提出的三基色原理，更是彩色电视的基础。

色彩视觉的三色学说：色彩视觉的三色学说最先由英国医学和物理学家杨（T. Young）提出，后由德国生理、物理学家赫姆霍兹（H. L. F. Von Helmholtz）发展而成的。

通过对人眼的生理解剖可知，人眼视网膜上有两种感光细胞——锥状细胞和柱状细胞，它们都能接收光刺激而形成明亮感觉。但两者的感光特性是不同的，锥状细胞对光的灵敏度低，只在明亮的条件下起作用，但它具有辨色能力；柱状细胞对光的灵敏度高，只在较暗的条件下起作用，它不具备辨色能力。因此，我们只有在白天或有照明的环境才能看到景物的彩色，在夜晚或昏暗的环境下，一切景物都变成灰黑色。

为了解析锥状细胞的辨色机理，人们提出了色彩视觉三色学说。该学说虽然至今还没有得到解剖学证明，但由于符合我们的实际经验，所以我们一直沿用它来解释人眼的辨色能力。其具体内容是：假定有三类锥状细胞，分别对红、绿、蓝三种光线的刺激最敏感，若把它们对各种波长的可见光的反应强度画成灵敏度曲线，这三条曲线的最大值分别落在光谱的红、绿、蓝区内，见图 1-2。当一束色光射入人眼，落在视网膜上，就会对三种锥状细胞产生不同刺激。若入射光束是红（或绿、蓝）光，则只能引起感红（或绿、蓝）锥状细胞兴奋，从而产生红（或绿、蓝）色感觉；若入射光束是黄光，则能同时引起感红和感绿的锥状细胞兴奋，从而产黄色感觉；……若入射光束是白光，就能同时对三种锥状细胞引起程度大致相等的兴奋，从而产生白色感觉。因此，不同色光对三种锥状细胞的刺激量不等，则引起不同的彩色感觉，于是人们就能分辨出各种各样的颜色。

配色实验：锥状细胞既然分别对红、绿、蓝三种色光刺激兴奋，于是用红、绿、蓝三种色光来等效某一种色光对锥状细胞的刺激作用，就能获得相同的彩色感觉。这一构想可通过图 1-3 所示的配色实验来验证。

根据配色实验，彩色视觉和光谱并不是一一对应的。即一定光谱对应一定的彩色，而一定的彩色却可由不同光谱的光形成，只要光谱对三种锥状细胞的引起的兴奋程度相同，彩色感觉就相同。人眼的这种视觉特性对彩色重现和复制具有十分重要的意义，它不仅是彩色绘画、彩色印刷和彩色摄影的基础，还是彩色电视的基础。

三基色原理：由用红、绿、蓝三种单色光可以配得各种不同的彩色光这一事实，

图 1-2 人眼的三种圆锥细胞的光谱灵敏度曲线

图 1-3 配色实验

可得出一个重要的色度学原理——三基色原理。其主要内容为：自然界中常见的各种色光都可以由红、绿、蓝单种单色光以不同的比例配得。反之，绝大多数的色光也能分解成红、绿、蓝三种单色光。我们称红、绿、蓝为三基色。

把三种基色光按不同比例相加称之为相加混色，由红、绿、蓝三基色进行相加混色的情况如下：红色 + 绿色 = 黄色；红色 + 蓝色 = 品红；绿色 + 蓝色 = 青色；红色 + 绿色 + 蓝色 = 白色。

我们称黄、品红和青色为相加二次色，此外还可以看出：红色 + 青色 = 绿色 + 品红 = 蓝色 + 黄色 = 白色，我们称青色、品红和黄色分别是红、绿、蓝三色的补色。

亮度视觉特性如下。

亮度适应能力：亮适应是指眼睛已适应了辉度级 $L_v \geq 3 \text{ [cd/m}^2\text{)]}$ 照明环境的视觉响应特性。暗适应是指眼睛已适应了亮度级 $L_v \leq 3 \times 10^{-5}$ 照明环境的视觉响应特性。

同时对比度：由于人眼对亮度的适应性很强，因此很难精确判断刺激的绝对亮度。即使有相同亮度的刺激，由于其背景亮度不同，人眼所感受的主观亮度是不一样的。图 1-4 可用来证明同时对比刺激，图中大小方块实际上有着相同的物理亮度，但因为它们的背景强度相关很大，因此，它们的主观亮度显得大小不一样，这种效应称为同时对比。同时对比效应随着背景面积增大而显著，这种效应与后面要讨论的马赫带现象相类似，但是马赫带现象是对亮暗分界部分而言，而同时对比是由面积上亮度差产生的

现象。

图 1-4 同时对比度

对比灵敏度：人眼的对比灵敏度可以由实验测得，在均匀照度背景 I 上设有一照度为 $\Delta I + I$ 的光斑，见图 1-5 (a)。人眼刚能分辨出的照度差 ΔI 是 I 的函数，当背景照度 I 增大时，能够分辨出光斑的 ΔI 也需要增大，在相当宽的强度范围内， $\Delta I / I$ 的数值为一常数，约等于 0.02 (这个比值称为韦伯比)。但当亮度很强或很弱时，该比值就不再是常数。

图 1-5 对比灵敏度测定

另一个类似的实验表明，人眼的对比灵敏度还与周围环境有关，图 1-5 (b) 中设有两个相邻的光斑，一个强度为 I ，另一个强度为 $\Delta I + I$ ，周围环境的照明强度为 I_0 。实验测得 $\Delta I / I$ 比值为常数的范围大大减小，且是环境强度 I_0 的函数。而且图 1-5 (b) 中曲线谷点的包络与图 1-5 (a) 中的曲线相同。在环境照明强度为 I_0 时， $\Delta I / I$ 值仍为常数的范围虽然大大减小，但仍可与大多数电子成像系统的动态范围相比拟，因为对数强度的微分为 $d [\ln (I)] = d I / I$ 。这表明由于主观感觉亮度的变化 (即刚可辨认的强度变化) 是 $\Delta I / I$ ，因此，为了适应人的视觉特性，先对输入图像进行对数运算的预处理是有益的。

分辨力：对于空间上或时间上两个相邻的视觉信号，人眼刚能辨别出二者存在的能力称为视觉系统的分辨力。这一特性显然与视网膜上单位面积内分布的视细胞数有关。分辨力可用视觉锐度或 MTF (调制传输函数) 表示，前者表示能够辨别最小空间模式的一种测度，后者表示视觉对不同频率的正弦光栅刚能辨别所要求的信号对比度。这两种测度实际上是互相补充的。第一种定义在空间域，而第二种定义在相应的频率

域。

最为常见的是一种由一组黑白相间的线条组成的测试卡。其中一条白线和一条同样宽度的黑线组成一个线对，当线对的宽度越来越窄，直到人眼不能区分黑白线时，就用1mm内的线对来定义分辨力。当然也可用刚能分辨出的试验模式视觉的倒数 $1/\alpha$ 来定义锐度，其中 α 以分为单位。在照度很低时，只有杆状细胞起作用，因此分辨力很低；当照度增加时，分辨力增加。但当照度太强时，背景亮度和物体亮度相接近，此时，受侧抑制作用分辨力反而降低。分辨力还与刺激位置有关，当刺激落位置在视网膜的中央凹时，分辨力最高，在中央凹的四周分辨力迅速下降，在这之外则缓慢降低，而在视网膜的四周分辨力最低。

图 1-6 MTF 的特性

MTF是另一种表示分辨力的测度，它也是导出单色视觉模型的依据。若把人眼看作一个精密光学系统，则可用分析光学系统的方法来研究人的视觉，令输入图像的强度是沿水平方向变化的线栅，测试视觉MTF的过程是给观察者在一定距离处观看两张这样变化的正弦光栅：一张图作为参考图，其对比度和空间频率是固定的，另一张是测试图片，其对比度和空间频率是可变的。测试

图片在一定空间频率下改变其对比度，直到观察者对两张图片的亮度感觉相同为止，然后测试图换一频率，重复上述测试。这样就可得到视觉MTF。采用其他实验方法也可得到类似结果，图1-6是其中一例：MTF具有带通滤波特性，其最灵敏空间频率在2Hz~5Hz度的范围内。

试验还发现，当输入信号的对比度改变时，系统的MTF也会变化，且当输入光栅相对于眼的光轴旋转后，系统的MTF也有变化。因此认为，人眼的视觉系统是非线性和各向异性的。

马赫带：人们观察一条由均匀黑和均匀白的区域形成的边界时，会感觉到在亮度变化部位附近的暗区和亮区中分别存在一条更暗和更亮的条带，称为马赫带，如图1-7所示。

图像质量的评价。图像质量评价研究是图像信息学科的基础研究之一。对于图像处理或图像存储传输系统，其信息的主体是图像，衡量该系统的重要指标是图像质量。图像质量有两方面的含义，一方面是图像的逼真度，即被评价图像偏离原图像的程度；另一方面是图像易懂度，即图像能向人提供信息的能力。因此，能够找出图像逼真度和易懂度的定量描述方法是评价图像质量的理想方式，但遗憾的是，目前对人类视觉系统本质的理解还很不透彻，对人的心理因素还无法完全定量描述，因此，对图像质量的评价还是采取以主观评价为主，以客观评价和其他评价为

图 1-7 马赫带

辅的方式。

图像的主观评价：通过人对图像的观察得出关于其质量的主观评定，然后对评分组进行统计平均，从而得出评价结果。这种评价结果与评价者的特性和观察条件等因素有关。为保证主观评价在统计上有意义，选择观察者时既要有未受过训练的“外行”，也要有对图像技术有一定经验的“内行”，而且参加评分的观察者不应少于 20 名，测试条件应尽可能与使用条件相匹配。表 1-1 是几个国家所使用的电视图像评价的观察条件。

表 1-1 图像质量主观评价的观察条件

项 目	美 国	德 国	日 本	推 荐
最高亮度 (cd/ m ²)	70	50	400	50 *
管面亮度 (cd/ m ²)	2	< 0.5	5	< 0.5
背景亮度 (cd/ m ²)	-	2.5	-	-
室内照度 (Lux)	6.5 *	-	30 ~ 100	-
对比度	-	-	30	-
视距/ 画面高	6 ~ 8	6	8	6

标 * 为仅对 50 场/ s 而言

在图像质量主观评价方法通常采用国际上通行的 5 级评分的质量尺度和妨碍尺度两种统计方法，见表 1-2，它们都是由观察者根据自己的经验，对被评价图像作出质量判断。在有些情况下，也可提供一组标准图像作为参考，帮助观察者对图像质量作出适当评价。一般而言，对非专业人员多采用质量尺度，而对专业人员则采用妨碍尺度。

表 1-2 两种尺度的图像 5 级评分

妨碍尺度	得 分	质量尺度
无觉察	5	非常好
刚觉察	4	好
觉察但不讨厌	3	一般
讨厌	2	差
难以观看	1	非常差

图像的客观评价：对图像质量进行定量客观描述，着眼点不同而有不同的客观评价方法。但这些客观的测量方法应简单易行且与主观评价结果一致。

此外，还有一些其他评价方法，如 ISO 在制定 MPEG-4 时，相对不同应用场合而采用了基于感觉的质量评价和基于任务的质量评价等不同的评价方法。前者相当于主观质量评价方法，但同时考虑到图声的联合感觉效果也能影响图像质量的因素；后者则主要根据应用任务的执行情况来判断图像的适宜性。

(3) 图像电子信息的基本属性

如前所述，任何图像信息都是彩色光信息，可用亮度、色调和饱和度来描述，人眼看到任一彩色光都是这三个特性的综合效果。图像电子信息是指电子媒体的状态改变所