

MODERN
COMMUNICATIONS

现代通信理论与技术丛书

Image Communications

图像通信

● 何小海 主编 滕奇志 副主编

西安电子科技大学出版社
[http:// www.xduph. com](http://www.xduph.com)

现代通信理论与技术丛书

图 像 通 信

何小海 主 编

滕奇志 副主编

滕奇志 陶青川 等编著
吴晓红 何小海

西安电子科技大学出版社

2005

内 容 简 介

本书系统地介绍了图像通信的基本理论和方法以及图像通信的前沿技术,内容包括三大部分:首先在图像压缩编码部分介绍了熵编码、预测编码、变换编码、运动估计、小波变换编码等技术以及 JPEG、MPEG-1、H.264 等国际标准;然后在图像传输部分介绍了 RS 码、交织码、卷积码、Turbo 码以及模拟和数字图像传输技术;最后讲述了会议电视、可视电话、数字电视、VOD、流媒体技术等图像通信应用系统。

本书注重基础理论和基本技术的讲述,也对相关前沿技术进行了介绍。书中内容丰富、新颖,叙述深入浅出,图文并茂,并列有大量实例。

本书适合作为通信与信息类、计算机类及相关专业本科生或研究生的专业课教材或教学参考书,也可供从事图像通信、图像处理、多媒体通信、数字电视等领域的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

图像通信/何小海等编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2005

ISBN 7-5606-1517-1

I. 图… II. 何… III. ① 数字通信—图像通信 ② 数字图像处理 IV. TN919.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 045617 号

策 划 云立实 臧延新

责任编辑 李惠萍

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 24

字 数 572千字

印 数 1~4 000册

定 价 36.00元

ISBN 7-5606-1517-1/TN·0301

XDUP 1808001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

随着通信与信息技术的迅速发展,人们对于传输内容的要求早已从语音、数据到了图像、视频。近年来,与图像、视频相关的应用越来越广泛,如可视电话、VOD、视频会议、IP上的视频服务、数字图像监控、数字电视等,而这些都与图像通信及其核心内容——图像的压缩编码有密切的联系。目前,许多高校对图像通信课程都非常重视,同时,工程技术人员对这方面知识的需求也在不断地增长,但是,目前这方面可供选择的参考书不多,所以我们在教学和科研工作的基础上编写了此书。

目前,国内有关图像通信、图像编码的书籍,有些主要针对国际标准进行介绍,有些对于基本理论和技术涉及面又较窄。本书试图做一些尝试,期望能够较好地体现电子信息类专业特点和要求,以更加适合作为教学用书和技术参考书。

本书系统地介绍了图像通信的基本理论和方法,主要分为图像压缩编码、图像传输、图像通信应用系统三个大的部分。其中,重点在于介绍静止图像和序列图像编码的基本原理、算法和相关国际标准。在第一部分中介绍了图像编码的基本理论和技术,包括熵编码、预测编码、变换编码、运动估计等内容,并较为详细地讨论了JPEG、MPEG-1国际编码标准及其实现过程,还介绍了H.264等其它标准及发展方向。第二部分介绍了图像传输中的信道编码如RS码、交织码、卷积码、Turbo码等,还介绍了图像信号的模拟、数字传输技术以及图像通信网络等内容。第三部分介绍了图像通信应用系统,如可视电话、数字电视、VOD、流媒体技术等。

本书注重基础理论、基本技术的讲述,并列举了大量的实例,同时注意了选材的深度和广度,还介绍了目前图像通信领域新的发展方向。

本书的主要特色如下:

(1) 重视基础理论、基本技术的全面介绍,使读者通过本书的学习,对图像通信中的信源编码、信道编码、传输技术等有系统的了解和把握。

(2) 较为详细地介绍了JPEG、MPEG-1的工作原理和过程,通过实例的阐述使读者容易掌握,贴近实际应用。

(3) 介绍了目前该领域的新技术、新方法,有利于读者对新的发展情况和趋势的把握。

本书是由参加编写的同志集体讨论、分工编写、交叉修改后完成的。参加编写工作的主要人员有何小海、滕奇志、陶青川、吴晓红、余艳梅、吴炜、王正勇。另外,闵玲、罗明凤、李方、齐守青等参加了初稿的编写、图表绘制等工作,张轶琼、夏薇、张锋等完成了部分程序的调试。本书由何小海、滕奇志分别担任主编和副主编,负责大纲拟定、组织编著和统稿工作。

四川大学电子信息学院的陶德元教授、龙建忠教授、罗代升教授对本书的写作给予了大力支持,提出了不少意见和建议,陶德元教授、罗代升教授还审阅了部分章节,在此向他们表示感谢。

在本书的出版过程中,得到了西安电子科技大学出版社及臧延新老师的诸多帮助,借本书出版之际,向他们表示衷心的感谢!

在本书的编写过程中,参考了大量的文献、书籍及网站等资料。这些资料在本书的参考文献中已尽量列出。但由于写作过程较长,同时有些通过网络上查找的资料和文献没有详细的原始出处,可能会遗漏一些文献和书籍的著录,在此表示歉意。我们对这些作者的辛勤工作致以由衷的敬意。

由于编写工作是在承担着繁忙的科研和教学工作的情况下进行的,时间较为紧张,更由于作者学识水平所限,书中难免有谬误之处,恳请读者批评指正。

作者的电子信箱为:txtx@westimage.com.cn。

编 者

2005年2月于四川大学

目 录

第一章 图像及图像通信	1	3.1.2 信源模型及其熵	58
1.1 图像信号的基本概念	1	3.1.3 无失真编码理论	60
1.1.1 图像信号的分类	2	3.1.4 有失真编码理论	62
1.1.2 彩色基础及模型	2	3.2 统计编码	65
1.1.3 图像信号的表示	7	3.2.1 基本理论	66
1.2 图像信号处理	8	3.2.2 霍夫曼编码	67
1.2.1 数字图像处理	8	3.2.3 香农编码	69
1.2.2 图像处理系统	9	3.2.4 算术编码	70
1.3 人眼的视觉特性	11	3.2.5 LZW 编码	83
1.4 图像质量的评估标准与方法	13	3.3 变换编码	86
1.5 图像通信系统的组成	16	3.4 线性预测编码	90
习题 1	17	3.5 矢量量化编码	92
第二章 图像信号的分析与变换	19	习题 3	98
2.1 图像信号的数字化	19	第四章 静止图像编码	100
2.1.1 图像的采样	20	4.1 概述	100
2.1.2 图像的量化	22	4.2 二值图像编码	101
2.1.3 视频信号的数字化	25	4.2.1 行程长度编码	101
2.2 离散傅里叶变换(DFT)	30	4.2.2 二值图像的方块编码	102
2.2.1 一维离散傅里叶变换	30	4.2.3 JBIG 标准	104
2.2.2 二维离散傅里叶变换	31	4.3 灰度图像编码	107
2.3 离散余弦变换	34	4.3.1 抖动编码	107
2.3.1 一维 DCT	34	4.3.2 块截止编码	108
2.3.2 二维 DCT	36	4.3.3 比特面编码	111
2.4 离散 K-L 变换	39	4.3.4 渐进编码	114
2.5 图像的小波变换	40	4.4 JPEG 标准	119
2.5.1 连续小波变换与反变换	41	4.4.1 JPEG 标准概述	119
2.5.2 多分辨率分析	42	4.4.2 JPEG 标准的基本框架	120
2.5.3 一维离散小波变换与反变换	46	4.4.3 基于 DCT 的编码过程	121
2.5.4 二维离散小波变换与反变换	48	4.4.4 多分量图像	129
2.6 图像的统计特性	51	4.4.5 无损压缩	132
2.6.1 图像的自相关系数	52	4.4.6 DCT 渐进模式	132
2.6.2 图像差值信号的统计特性	53	4.4.7 分级模式	133
2.6.3 图像的变换域统计特性	54	4.4.8 压缩文件	133
习题 2	54	4.5 JPEG2000 标准	136
第三章 数字图像压缩基本理论	57	4.5.1 JPEG-LS 标准	136
3.1 图像编码理论基础	57	4.5.2 JPEG2000 标准	137
3.1.1 图像压缩编码系统的基本结构	57	习题 4	139

第五章 序列图像编码及运动估计	141	6.3.2 小波图像系数的特点	208
5.1 序列图像编码系统	141	6.3.3 小波变换编码的几个主要问题	209
5.1.1 视频图像压缩的必要性	142	6.4 基于小波变换的零树编码	211
5.1.2 视频图像编码系统的一般结构	142	6.4.1 嵌入式小波零树编码 (EZW 算法)	211
5.1.3 视频编码方案分类	143	6.4.2 SPIHT 算法	218
5.2 二维运动估计	144	6.4.3 小波图像编码的其它方法	224
5.2.1 二维运动估计的基本概念	145	6.5 分形编码	226
5.2.2 帧间图像预测编码	147	6.5.1 迭代函数系统简介	227
5.2.3 运动估计与补偿的基本概念	149	6.5.2 编码方法	229
5.2.4 基于块的运动估计·块匹配 算法	152	6.6 基于模型的编码	230
5.2.5 基于像素的运动估计	162	6.6.1 模型基编码简介	230
5.2.6 基于网格的运动估计	164	6.6.2 基于物体的方法	231
5.2.7 全局运动估计	165	6.6.3 基于知识和语义的方法	233
5.2.8 基于区域的运动估计	167	6.7 H.264 视频编码标准	233
5.3 采用时间预测和变换编码的 视频编码	168	6.7.1 视频压缩系统	234
5.3.1 三种常用的视频帧	169	6.7.2 H.264 的特点	234
5.3.2 基于块的混合视频编码	170	6.7.3 性能优势	235
5.3.3 编码参数选择	171	6.7.4 应用情况	236
5.4 MPEG-1 视频编码和解码	173	6.8 数字音视频编解码技术标准简介	236
5.4.1 MPEG-1 介绍	173	6.8.1 AVS 标准进展概况	237
5.4.2 输入图像格式与图像类型	175	6.8.2 AVS 标准的优势与特点	237
5.4.3 视频编码与解码的具体过程	177	习题 6	238
5.4.4 视频语法	190	第七章 图像通信中的信道编码	239
5.4.5 系统层简介	192	7.1 信道的定义及分类	239
5.5 视频图像编码标准	194	7.2 信道编码	241
5.5.1 MPEG 系列标准	195	7.2.1 差错控制的方式	242
5.5.2 H.26x 系列标准概述	197	7.2.2 纠错码的分类	243
5.5.3 视频编码国际标准的应用与 性能比较	199	7.2.3 差错控制编码的几个基本概念	244
习题 5	200	7.3 图像通信中的常用纠错码	245
第六章 图像编码技术及标准的 进展	202	7.3.1 线性分组码	245
6.1 图像编码技术的发展	202	7.3.2 交织码	254
6.2 子带编码	203	7.3.3 卷积码	256
6.2.1 基本原理	203	7.3.4 网格编码 TCM	263
6.2.2 编解码过程	203	7.3.5 级联码(Turbo 码)	267
6.2.3 二维图像的子带分解	204	习题 7	270
6.2.4 图像的子带编码	206	第八章 图像信号的传输技术	271
6.3 小波变换编码	206	8.1 模拟图像传输技术	271
6.3.1 编码基本原理	206	8.1.1 模拟基带信号	271
		8.1.2 模拟调制技术	272
		8.1.3 影响模拟图像信号传输的因素	276
		8.2 数字图像的传输	279
		8.2.1 数字基带传输	279

8.2.2 数字调制技术	282	9.3.1 远程教育系统	328
8.3 图像的传输方式	301	9.3.2 远程医疗系统	330
8.3.1 微波传输	301	9.3.3 远程监控系统	331
8.3.2 卫星传输	302	9.4 数字电视系统	333
8.3.3 光纤传输	303	9.4.1 系统概述	333
8.4 图像的传输网络	304	9.4.2 高清晰度数字电视(HDTV)	336
8.4.1 SDH 传输技术	305	9.4.3 数字电视机顶盒(STB)	341
8.4.2 ATM 交换技术	307	9.5 视频点播(VOD)系统	343
8.4.3 宽带接入技术	308	9.5.1 VOD 发展历程的四个阶段	344
8.5 图像通信质量分析	311	9.5.2 VOD 系统的组成	344
8.5.1 对图像和通信系统的质量要求	311	9.5.3 VOD 系统的关键技术	345
8.5.2 传输速率对图像业务质量的 影响	312	9.5.4 基于有线电视的视频点播	345
8.5.3 图像传输差错与处理	315	9.5.5 基于互联网的 VOD 系统	346
8.5.4 传输时延对图像业务质量的 影响	319	9.6 流媒体原理及应用	346
习题 8	320	9.6.1 流媒体概述	346
第九章 图像通信应用系统	322	9.6.2 流媒体的优点	347
9.1 会议电视系统	322	9.6.3 流媒体系统的组成	348
9.1.1 会议电视系统的发展	322	9.6.4 流媒体传输方式	351
9.1.2 会议电视系统的分类	323	9.6.5 当前流媒体的主要厂商	352
9.1.3 会议电视系统的组成	324	9.6.6 流媒体技术的主要应用	353
9.2 可视电话系统	325	习题 9	354
9.2.1 可视电话系统的组成	325	附录 A CCITT T.4(G3)标准编码 数据	355
9.2.2 可视电话标准	326	附录 B JPEG 标准编码数据	357
9.2.3 可视电话的图像质量	326	附录 C QM 编码器概率估计数据	363
9.2.4 低速视频编码	326	附录 D 缩略语英汉对照	365
9.2.5 可视电话的不同产品形式	327	参考文献	372
9.3 远程图像通信系统	327		

第一章 图像及图像通信

自从电视诞生以来,图像通信技术已取得了显著进步,其中大部分是在过去 20 年获得的。进入 20 世纪 90 年代以后,ITU-T 和 ISO 制定了一系列图像编码标准,从 H.261 到 H.263, H.263+, H.263++ , MPEG-1, MPEG-2 和 MPEG-4, H.264。这些标准的制定极大地推动了图像编码技术的实用化和产业化,迎来了数字图像通信的新时代。由此而诞生的可视电话、会议电视、数字电视(DTV)、VCD、DVD 等已经获得了相当大的成功,极大地丰富了人们的生活。

1.1 图像信号的基本概念

图像是当光辐射能量照在物体上经过反射或透射,或由发光物体本身发出光的能量,在人的视觉器官中所重现出的物体的视觉信息。图像源于自然景物,其原始的形态是连续变换的模拟量。与文字、语音信息相比较,图像信息主要具有以下几个特点。

1) 图像信息的信息量大

俗话“百闻不如一见”、“一目了然”等表明图像带给我们的信息量是非常大的。用一幅图像可以直接说明很多问题,而说明同样的问题可能需要许多文字。“百闻不如一见”中的“一见”也表明人们接受图像信息的方式是一种“并行”的方式,一眼看去,图中的所有的像素尽收眼底,而不像看文字一样得一行一行地看。由此可知图像信息的直观性和便于并行接收的特点。

2) 图像的直观性强

一般情况下,图像的内容和我们用眼睛直接观察到的呈现在我们脑海中的图像非常接近。图像是外部世界的直接反映。图像信息我们一看就懂,直观性很强,不需要经过人的思维的特别转换,可以被人直接理解。不像语音或文本那样,存在语种的差别,造成交流的困难。如一幅风景画,不管中国人还是外国人都能一看就明白,不存在看不懂的问题。

3) 图像信息的模糊性

图像存在一定的模糊性。人们读解图像的能力与其所处的文化背景、年龄大小、性别以及民族习惯等有着密切的关系。来自不同的文化背景的人,由于个人可能接触到的文化内容不同,对同样的视觉图像容易产生带分歧的观点。如对同一幅图像,不同的观察者可能会有不同的理解和感受,甚至有可能给出不同的解释,所以说对图像的理解有很强的主观性。

4) 图像的实体化和形象化

图像比文字和语言更具有实体化和形象化的功能。实体化和形象化能够帮助人们更有效地理解、掌握和记忆学习内容。因此图像经常用于多媒体教学中,以提供在传统教育教

学中语言和文字无法实现的实体化和具体化。

在高度文明、高度发展的现代社会,随着计算机技术、通信技术、微电子技术、网络技术和信息处理技术的发展,人类社会已进入信息化时代,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。图像源于自然景物,是连续的模拟信号,然而当图像以数字形式处理和传输时,具有质量好、成本低、小型化和易于实现等优点。图像通信将是通信事业发展中面临的最大挑战和机遇,也是未来通信领域的市场热点之所在。

1.1.1 图像信号的分类

视觉是人类最重要的感觉,也是人类获取信息的主要来源。据统计,在人类从外界获取的信息中,有70%以上来自视觉。图像与其它的信息形式相比,具有直观、具体、生动等诸多显著的优点。我们可以按照图像的表现形式、生成方法等对其做出不同的划分。

按图像的存在形式分类,可分为实际图像与抽象图像。

(1) 实际图像:通常为二维分布,又可分为可见图像和不可见图像。

可见图像指人眼能够看到并能接受的图像,包括图片、照片、图、画、光图像等。

不可见图像如温度、压力、高度和人口密度分布图等。

(2) 抽象图像:如数学函数图像,包括连续函数和离散函数。

按照图像亮度等级分类,可分为二值图像和灰度图像。

(1) 二值图像:只有黑白两种亮度等级的图像。

(2) 灰度图像:有多种亮度等级的图像。

按照图像的光谱特性分类,可分为彩色图像和黑白图像。

(1) 彩色图像:图像上的每个点有多于一个的局部性质,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分量,如黑白照片、黑白电视画面等。

按照图像是否随时间而变换分类,可分为静止图像与活动图像。

(1) 静止图像:不随时间而变换的图像,如各类图片等。

(2) 活动图像:随时间而变换的图像,如电影和电视画面等。

按照图像所占空间的维数分类,可分为二维图像和三维图像。

(1) 二维图像:平面图像,如照片等。

(2) 三维图像:空间分布的图像,一般使用两个或者多个摄像头来成像。

1.1.2 彩色基础及模型

1. 光和彩色

光和各种射线都属于电磁波。电磁波的波谱范围很广,包括无线电波、红外线、可见光谱、紫外线、X射线、宇宙射线等,如图1.1所示。其中只有人的眼睛能看到的那一部分叫可见光。可见光是携带能量的电磁辐射中的很小一部分,它兼有波动特性和微粒特性。

可见光是由波长在380~780纳米(nm)范围内的电磁波组成的。光源通常能发射某一波长范围内的能量,并且其强度可以在时间、空间上变化。光的彩色感觉决定于光谱成分(即它的波长组成)。

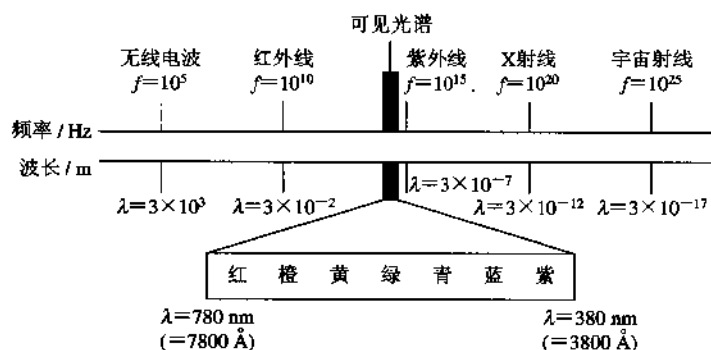


图 1.1 可见光谱的波长的范围

人的眼睛能够接收到两种类型的颜色。自己发光的物体的颜色叫做自己发光的颜色，被照射后物体的颜色叫做物体颜色。

自己发光的物体可能是天然的物体(例如太阳)或人造的物体(例如计算机的显示器、白炽灯、水银灯和其它类似的物体)。物体颜色是指被照射的物体反射的颜色，它由从物体表面反射的光线(即反射光)和从物体表面底层散射的光线合成。

自己发光的物体的彩色感觉取决于它所发射能量的波长范围。照明光源遵循相加原则：几个混合的照明光源的彩色感觉取决于所有光源光谱的总和。

被照射物体的彩色决定于入射光的光谱成分和被吸收的波长的范围。反射光源遵循相减原则：几种混合的反射光源的彩色感觉取决于剩余的未被吸收的波长。

2. 色度原理

人类的彩色感觉具有两个属性：亮度和色度。亮度指被感知的光的明亮度，它是与视频带中的总能量成正比的；色度指被感知的光的颜色和深浅，它是由光的波长成分决定的。色度又有两个属性特征：色调和饱和度。色调指彩色的类别(即颜色)，它是由光的峰值波长决定的；饱和度指颜色有多纯，它是由光谱的范围或带宽决定的。

1) 亮度 (Intensity)

照射的光越强，反射光也越强，看起来越亮。显然，如果彩色光的强度降到使人看不到了，在亮度标尺上它应与黑色对应。同样，如果其强度变得很大，那么亮度等级应与白色对应。亮度是非彩色属性，彩色图像中的亮度对应于黑白图像中的灰度。需要注意的是，不同颜色的光，强度相同时照射同一物体也会产生不同的亮度感觉。

2) 色调 (Hue)

色调是一种或多种波长的光作用于人眼所引起的彩色感觉。它描述纯色的属性(纯黄色、橘色或红色)。

3) 饱和度 (Saturation)

饱和度是指颜色的纯度(即掺入白光的程度)或颜色的深浅程度。饱和度的深浅与色光中白光的成分的多少有关。一种纯彩色光中加入的白光成分越少，该彩色的饱和度越高；反之，白光成分越多，饱和度就越低。饱和度反映了某种色光被白光冲淡的程度。对于同一色调的彩色光，饱和度越深，颜色越鲜明(或越纯)，相反则越淡。

饱和度与亮度有一定的关系。在饱和的彩色光中增加白光的成分，相当于增加了光能，因而变得更亮了，但是它的饱和度却降低了。若增加黑色光的成分，则相当于降低了光能，因而变得更暗，其饱和度也降低了。

饱和度越高，色彩越艳丽，越鲜明突出，越能发挥其色彩的固有特性。但饱和度高的色彩容易让人感到单调刺眼。饱和度低，色感比较柔和协调，但若混色太杂则容易让人感觉浑浊，色调显得灰暗。

3. 彩色混合的三基色原理

1) 图像的三基色

所谓三基色原理，是指自然界常见的各种颜色光，都可由红(Red)、绿(Green)、蓝(Blue)三种色光按照不同比例相配而成。同样，绝大多数颜色也可以分解成红、绿、蓝三种色光。这就是色度学中的最基本的原理。混色模式有两种：增色模式(相加混色)和减色模式(相减混色)。

照明光源的基色系通常包括红色、绿色和蓝色，称为 RGB 基色，应用在相加混色中。反射光源的基色系通常包括青色(Cyan)、深红色(也称紫色(Magenta))和黄色(Yellow)，称为 CMY 基色，应用在相减混色中。实际中，RGB 基色和 CMY 基色是互补的，也就是说，混合一个色系中的两种彩色会产生另外一个色系中的一种彩色。例如，红色和绿色混合会产生黄色。我们用图 1.2 表示这种关系。上述原理构成了彩色摄影和显示的基础。

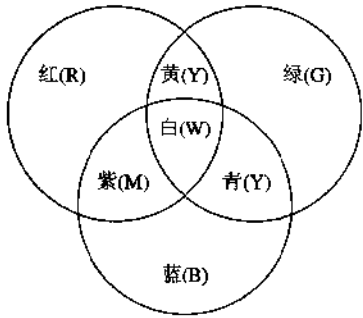


图 1.2 RGB 三原色叠加效果示意图

2) 图像的彩色模型

彩色模型(彩色空间或彩色系统)的用途是在某些标准下用通常可接受的方式简化彩色规范。常常涉及到用几种不同的色彩空间表示图形和图像的颜色，以对应于不同的场合和应用。因此，在数字图像的生成、存储、处理及显示时，对应不同的色彩空间，需要作不同的处理和转换。现在主要的彩色模型有 RGB 模型、CMY 模型、YUV 模型、YIQ 模型、 YC_bC_r 模型、HSI 模型等。

(1) RGB——加色混合色彩模型。RGB 色彩模型就是模型中的各种颜色都是由红、绿、蓝三基色以不同的比例相加混合而产生的。即： $C = aR + bG + cB$ ，其中 C 为任意彩色光， a 、 b 、 c 为三基色 R、G、B 的权值。在 CRT 显示中，将 R、G、B 的亮度值限定在一定范围内，如 0~1。每个像素的颜色都用三维空间的一个点来表示，就成为一个三维彩色模型，如图 1.3 所示。在 RGB 彩色空间的原点上，任一基色均没有亮度，即原

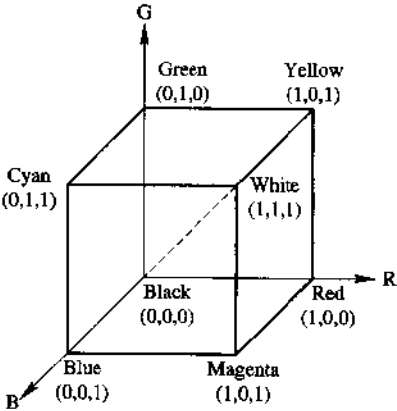


图 1.3 RGB 立方体

点为黑色,坐标为(0, 0, 0)。当三基色都达到最高亮度时,则为白色,坐标为(1, 1, 1)。彩色立方体的三个角对应于 R、G、B 三基色,剩下的三个角对应于 C、M、Y 色。任何其它的颜色对应于彩色立方体中相应的一点。目前所有的显示系统都选用 RGB 基色。计算机彩色显示器是典型的 RGB 色彩模型,它就是使用三种颜色基色——红(R)、绿(G)、蓝(B)在视频监视器上混合产生一幅合成的彩色图像。RGB 色彩框架是一个加色模型。

(2) CMY——减色混合色彩模型。CMY 色彩模型就是利用青色(Cyan)、深红色(Magenta)、黄色(Yellow)这三种彩色按照一定比例来产生想要的彩色。CMY 是 RGB 三基色的补色,它与 RGB 存在如下的关系:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1.1-1)$$

CMY 色彩一般应用于硬拷贝设备。例如彩色打印机可以通过适当的比例混合具有所选基色的三种颜料来产生不同的彩色。多数打印机采用 CMY 基色,它们与荧光粉组合光颜色的显示器不同,是通过打印彩墨(Ink)、彩色涂料的反射光来显现颜色的,是一种减色组合。由青、品红和黄三色组成的色彩模型,使用时相当于从白色光中减去某种颜色,因此又叫减色系统。例如青色(Cyan)就是从白光中减去红色。由于彩色墨水、油墨的化学特性,色光反射和纸张对颜料的吸附程度等因素,用等量的 CMY 三色得不到真正的黑色,所以在 CMY 色彩中需要另加一个黑色(Black 用 K 表示),才能弥补这三个颜色混合不够黑的问题。这就是所谓的 CMYK 基色,它能更真实地再现黑色。在实际应用中,CMY 色彩模型也可称为 CMYK 色彩模型。

(3) YUV 模型和 YIQ 模型——应用于电视传播系统的色彩模型。对于视频信号的传输,为了减少所需的带宽并与单色电视系统兼容,采用亮度/色度坐标系模型。但通常用于彩色显示的 RGB 基色混合了光的亮度和色度属性。1931 年,国际照明协会(CIE)规定了 XYZ 彩色坐标,但 XYZ 基色不能直接用于产生彩色,它主要用于定义其它的基色和彩色的数字说明,如用于传输彩色电视信号的 YIQ 和 YUV 彩色坐标。

在 XYZ 模型中,Y 表示亮度(强度),另外两个分量共同表示色度和饱和度。除了能分离亮度和色度信息,XYZ 另一个优点是几乎所有的可见彩色都能由非负的激励值规定。XYZ 坐标系中(X, Y, Z)与 RGB 坐标系中(R, G, B)的关系如下式:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7689 & 1.7517 & 1.1302 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.000 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1.1-2)$$

目前,世界上主要有三种不同的电视系统:PAL 系统用于大多数西欧国家和包括中国以及中东的亚洲国家;NTSC 系统用于北美和包括日本在内的部分亚洲国家和地区;SECAM 系统用于前苏联、东欧、法国以及一些中东国家。

在 PAL 制式中采用的就是 YUV 彩色模型,而 YUV 就来源于 XYZ 彩色模型。根据 RGB 基色与 YUV 基色之间的关系,我们把由摄像机等输入设备得到的彩色图像信号,经分色,分别放大校正得到 RGB,再经过矩阵变换电路得到亮度信号 Y 和两个色差信号 U、V,最后在发送端将亮度和色度三个信号分别进行编码,用同一信道发送出去。这就是我们常用的 YUV 色彩模型。

采用 YUV 色彩空间的重要性是它的亮度信号 Y 和色度信号 U、V 是分离的。如果只有 Y 信号分量而没有 U、V 分量,那么这样表示的图就是黑白灰度图。彩色电视采用 YUV 空间正是为了用亮度信号 Y 解决彩色电视机与黑白电视机的兼容问题,使黑白电视机也能接收彩色信号。

根据美国国家电视制式委员会规定,当白光的亮度用 Y 来表示时,它和红、绿、蓝三色光的关系可用如下所示的方程描述:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1.1-3)$$

这就是常用的亮度公式。

色差 U、V 是由 $B-Y$ 、 $R-Y$ 按不同比例压缩而成的,即

$$\begin{cases} U = \alpha(B-Y) \\ V = \gamma(R-Y) \end{cases} \quad (1.1-4)$$

其中 α 、 γ 为压缩系数。

YUV 色彩空间与 RGB 色彩空间的转换关系如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1.1-5)$$

如果要由 YUV 空间转化成 RGB 空间,只要进行相反的逆运算即可。

在 NTSC 制中采用的是 YIQ 彩色模型。Y 仍是表示亮度, I 和 Q 分量是 U 和 V 分量旋转 33° 后的结果,即

$$\begin{cases} I = V \cos 33^\circ - U \sin 33^\circ \\ Q = V \sin 33^\circ + U \cos 33^\circ \end{cases} \quad (1.1-6)$$

对 U 和 V 分量进行旋转后使得 I 对应橙色到青色范围的彩色, Q 对应绿色到紫色范围的彩色。因为人眼对绿色到紫色范围内的变化与橙色到青色范围内的变化相比不敏感,因此 Q 分量可以比 I 分量采用更小的带宽传输。YIQ 色彩空间与 RGB 色彩空间的关系如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1.1-7)$$

在 YIQ 彩色模型中, $\arctan(Q/I)$ 近似于色调,而 $\sqrt{I^2+Q^2}/Y$ 反映饱和度。在 NTSC 复合视频中, I 和 Q 分量被复用成一个信号,使得被调制信号的相位是 $\arctan(Q/I)$,而它的幅度为 $\sqrt{I^2+Q^2}/Y$ 。由于传输误差对幅度的影响比对相位的影响大,因此在广播电视信号中色调信息比饱和度信息能更好地保持。因为人眼对彩色的色调更敏感,所以以上的结果正是人们所希望的。

(4) YC_bC_r 色彩空间。 YC_bC_r 色彩空间是由 YUV 色彩空间派生的一种颜色空间,其主要用于数字电视系统以及图像、视频压缩标准中(如 JPEG、MPEG 系列和 H.26x 系列)。从 RGB 到 YC_bC_r 的转换中,输入、输出都是 8 位二进制格式。 YC_bC_r 色彩空间与 RGB 色彩空间的关系如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.500 \\ 0.500 & -0.4187 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (1.1-8)$$

(5) HSI——视觉彩色模型。前面讨论的几种彩色模型不是从硬件的角度就是从色度学的角度提出的，都不能很好地与肉眼的视觉特性相匹配。根据人眼的色彩视觉三要素——色调(Hue)、饱和度(Saturation)、亮度(Intensity)提出了 HSI 彩色模型。用这种描述 HSI 色彩空间的模型能把色调、饱和度和亮度的变化情形表现得很清楚。

彩色信息中的色调 H 和饱和度 S 可用图 1.4 所示的光环来表示。饱和度是色环的原点(圆心)到彩色点的半径的长度。在环的外围圆周是纯(饱和度为 1)的颜色，在中心是中性(灰色)色调，即饱和度为 0。色调由角度表示。假设色环的 0° 表示彩色为红色， 120° 为绿色， 240° 为蓝色，色调从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 覆盖了所有可见的光谱的彩色。假设光的强度 I 作为色环的垂线，则 H 、 S 、 I 坐标将构成一个彩色三维空间。灰度色调沿着轴线从底部的黑变到顶部的白。所以，最大亮度、最大饱和度的颜色位于圆柱的顶面的圆周上。从 RGB 到 HSI 模型的转变关系如下：

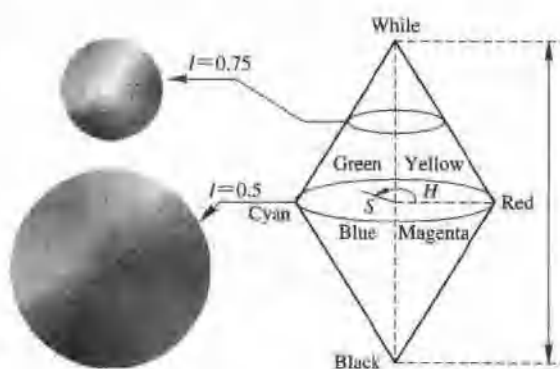


图 1.4 圆形彩色平面的 HSI 彩色模型

色调 H 分量为

$$H = \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 360 - \theta & B > G \end{cases} \quad (1.1-9)$$

其中

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}} \right\} \quad (1.1-10)$$

饱和度 S 分量为

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad (1.1-11)$$

亮度 I 分量为

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (1.1-12)$$

1.1.3 图像信号的表示

图像的亮度一般可以用多变量函数表示为

$$I = f(x, y, z, \lambda, t) \quad (1.1-13)$$

其中： x, y, z 表示空间某个点的坐标； t 为时间轴坐标； λ 为光的波长。当 $z=z_0$ (常数) 时，

则表示二维图像；当 $t=t_0$ 时，则表示静态图像；当 $\lambda=\lambda_0$ 时，则表示单色图像。

由于 I 表示的是物体的反射、投射或辐射能量，因此它是正的、有界的，即

$$0 \leq I \leq I_{\max} \quad (1.1-14)$$

其中 $I_{\max}$ 表示 I 的最大值， $I=0$ 表示绝对黑色。

式(1.1-13)是一个多变量的函数，它不易分析，需要采用一些有效的方法进行降维。由三基色原理知， I 可表示为三个基色分量的和，即

$$I = I_R + I_G + I_B \quad (1.1-15)$$

式中：

$$\begin{cases} I_R = f_R(x, y, z, \lambda_R) \\ I_G = f_G(x, y, z, \lambda_G) \\ I_B = f_B(x, y, z, \lambda_B) \end{cases} \quad (1.1-16)$$

其中， $\lambda_R, \lambda_G, \lambda_B$ 为三个基色波长， t 设为一个固定的值，即为一幅静止图像。

由于式(1.1-16)中的每个彩色分量都可以看作一幅黑白图像，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于彩色图像的每个分量。

1.2 图像信号处理

1.2.1 数字图像处理

图像经过数字化后即变为一幅数字图像。对数字图像的处理是对一个物体的数字表示施加一系列的操作过程，以得到所期望的结果，即将一幅图像经过修改(改进、加工)成为另一幅本质不变的图像。

图像处理主要有以下几种方法：

1) 图像变换

图像变换就是将原定义在图像空间的图像以某种形式转变到另外一些空间，并利用这些空间特有的性质进行相应的处理。在图像处理和图像通信中主要用到的变换有傅里叶变换、余弦变换、沃尔什变换、哈达码变换、小波变换、Gabor 变换等。

2) 图像增强

图像增强的目的是使图像的主观质量得到改善或某些特征得到突出。它是利用各种数学方法和变换手段来实现的，常用的方法有灰度变换、平滑、锐化、几何校正和伪彩色等。图像增强突出了图像中的一部分信息，但它也压制了另一部分信息，也就是说图像增强的方法是针对性的。

3) 图像分割

图像分割就是指把图像分成各具特征的区域并提取感兴趣的区域的技术和过程。其目的是为了对图像中的物体或目标进行分析和识别等。图像分割所用特征主要有频谱、灰度级、纹理等。要分割到何种程度，要视具体问题而定。如将航空照片分割得到城市、水域、农田、道路、森林等；将车牌图像分割为背景和字符等。

4) 图像复原

在图像获取的过程中,由于目标的高速运动、系统畸变、介质散射、噪声干扰等因素,会导致图像质量的退化(或者降质)。图像复原就是对退化的图像进行处理,使它趋于原物体的理想图像,即减去或减轻在图像处理过程中造成的图像质量的下降。由于造成图像退化的原因很多,因此图像复原只能根据实际情况采取不同的技术。

5) 图像压缩编码

图像压缩编码是图像处理和图像通信的重要应用。这是由数字图像的特点(数据量大)决定的。例如,一幅 352×288 的彩色图像(24 bit/像素),其数据量为

$$352 \times 288 \times 24 = 2\,433\,024 \text{ bit} = 304\,128 \text{ Byte}$$

因此,无论是图像的存储和图像的传输,图像的压缩编码都十分重要。由于图像压缩编码可以大大节约存储空间或者传输的带宽,因而在当前存储空间有限以及网络带宽有限的条件下非常有用。

1.2.2 图像处理系统

数字图像处理系统主要由5个部分(模块)组成,即图像输入(采集)模块,图像输出(显示)模块,图像存储模块,和用户打交道的存取、通信模块,图像处理模块,如图1.5所示。

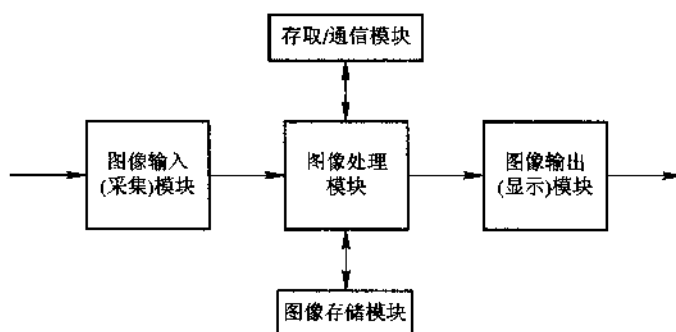


图 1.5 数字图像处理系统模型

1. 图像输入(采集)模块

图像输入(采集)模块主要负责图像的采集,即将景物或模拟图像转换为数字图像,以供图像处理设备进行处理。

数字图像输入设备的主要部件有下述几种。

(1) 光源:通常采用白炽灯、激光器、荧光物质、发光二极管(LED)等。

(2) 光传感器:有光电发射管、光电二极管、光电三极管、电荷耦合器件 CCD、CMOS 器件等。

(3) 扫描系统:有机械扫描装置(滚筒和丝杠)、电子束扫描、静电偏转、磁偏转、电子束聚焦等。

光源通过扫描系统和光电传感器将图像的光强信号转换成电信号;光传感器将图像的光强度按比例转换成电压和电流信号;扫描系统就是可使光源、传感器按照某种机制沿图像移动的系统。