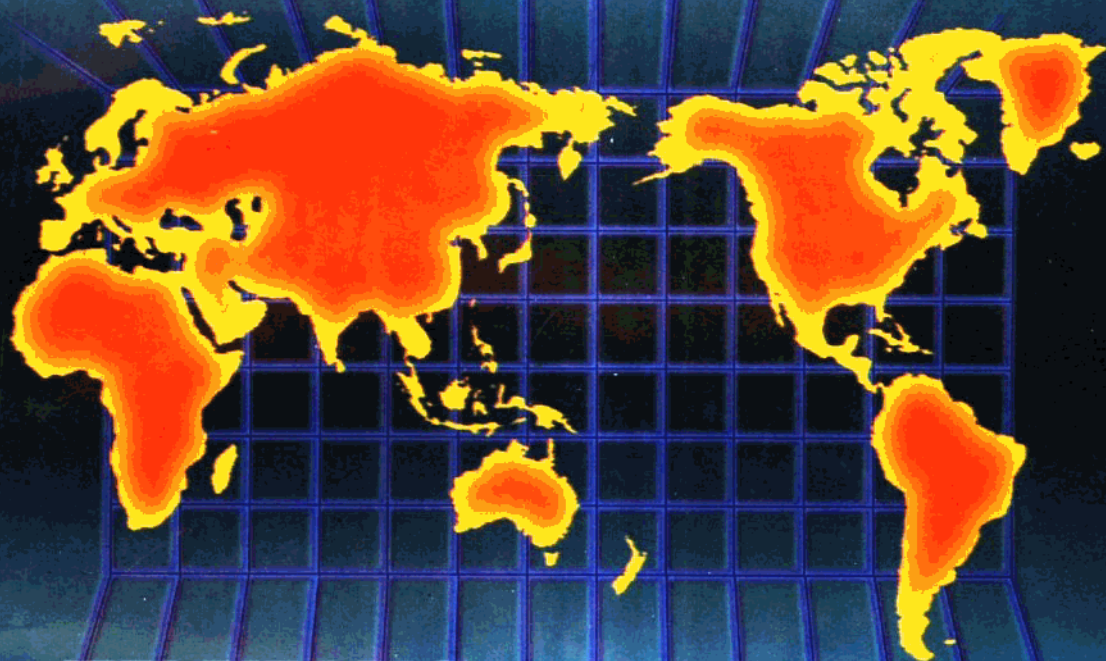


图像通信技术的应用

胡 栋

朱秀昌



TU XIANG
TONG XIN
JI SHU
JI
YING YONG

东南大学出版社

前 言

六年多以前,当笔者为大学高年级学生讲授“图像通信”这门课程的时候,许多学生也许并不清楚这门课程所具有的巨大价值。尽管当时在国外,一些图像通信方式已使用多年,但国内许多人对图像通信的前景仍持怀疑、观望的态度。然而仅仅过了几年时间,情况就发生了变化。首先,国际、国内的电信事业,特别是电信网的建设获得了很大的发展。各种数字数据网、分组交换网以及 ISDN 的逐步建成、投入使用,使通信能力大大加强。社会经济活动的发展呼唤更加强有力的通信事业的支持。1993 年美国提出建立信息高速公路的宏伟战略目标,其强大的冲击使人们切实感到综合数字业务(图像、数据、话音等)这种理想的通信方式已不再是一种空洞的设想,而是正在向我们走来的现实。其次,国际电联(ITU)和国际标准化组织(ISO)自 1990 年起先后颁布了一系列重要的视频压缩国际标准的建议,它们为这一长期困扰人们的难题的研究作了客观的阶段性总结,为数字视频信息应用的产业化铺平了道路。激光视盘(LD)、视频压缩盘(VCD)、可视电话、会议电视及高清晰度电视等这一切都归功于图像编码的巨大成就。第三,计算机事业的发展扩展了人们的视野,通过屏幕上进行的交互式操作,人们早已领略到图像图形所具有的特殊魅力,因而不满足于话音通信独霸天下的局面。图像通信的价值和意义与日俱增。

图像通信所包含的内容十分广泛,我们在此不打算涉及其所有内容,而是把内容集中在一些能反映其特点的方面。对其中的编码基本理论及方法,一些有代表性的业务方式、系统和终端设备等进行分析和阐述。通过多年的科研与教学实践,笔者深深感到图像通信是一门应用性很强的学科,也是一门处在不断发展中的学科,希望读者在掌握基本知识的基础上,通过对具体的应用技术进行分析,真正达到学以致用目的。例如,在编码方法中,许多方法都是对图像信息某些性质的认识和利用的产物。而图像通信方式更是来自实践,种类繁多,不仅旧的方式在更新、完善,新的方式还在不断出现,变化速度之快是任何书本所跟不上的。但是,如果从信源的特点、编码方法、传输的途径和方式等几方面来学习、分析本书所介绍的几种方式后,就一定会对今后将面临的各種新方式有所启发。

本书第 5、6(部分)、7 章由朱秀昌编写,第 1、2、3、4、6(部分)章由胡栋编写,并由胡栋统编全书,陈洁在本书的编写过程中做了许多辅助工作。面对当前图像通信事业迅速发展的形势,我们感到有必要把该领域的新技术、新成果和新动向反映出来,希望所介绍内容能适应读者进一步学习的需要。然而,笔者在本书的编写过程中时常感到受自己水平和能力的限制而无法达到最初的设想,同时由于时间仓促,也难免会在书中出现一些不妥之处。希望读者不吝指正,使之得以完善。

目 录

1 绪论	1
1.1 通信与图像通信	1
1.2 图像信号的基本概念	1
1.3 图像通信系统的组成	2
1.3.1 系统的组成结构	2
1.3.2 图像系统的模型	4
1.4 图像通信的发展简史	5
1.5 本书内容简介	8
2 数字图像信号	10
2.1 图像信号的数字化	10
2.1.1 二维信号的傅立叶变换及频谱	11
2.1.2 图像的取样	11
2.1.3 图像的量化	12
2.1.4 电视信号的数字化	13
2.2 数字图像信号的正交基表示	15
2.2.1 离散傅立叶变换(DFT)	15
2.2.2 图像正交变换的一般形式	21
2.2.3 离散余弦变换(DCT)	27
2.3 图像的统计特性	29
2.3.1 图像的信息熵	29
2.3.2 图像的自相关函数	31
2.3.3 频率域上的统计特性	32
2.3.4 图像差值信号的统计特性	32
2.4 图像信号的压缩编码原理	34
2.4.1 信息保持型编码(熵编码)	34
2.4.2 有限失真编码	37
2.4.3 变换压缩编码	41
2.4.4 预测编码	42
2.4.5 其它方法	45
2.4.6 自适应编码方法	45
2.5 图像质量的评价	47
2.5.1 图像的主观评价	47
2.5.2 图像的逼真度测量	48
2.5.3 其它	49

3 静态图像编码	50
3.1 概述	50
3.2 方块编码(BTC)	51
3.2.1 基本编码方法	51
3.2.2 参数的选择	52
3.2.3 进一步降低数码率的方法	53
3.3 比特面编码	55
3.4 逐渐浮现方式编码	56
3.4.1 四叉树编码的逐渐浮现方式	56
3.4.2 比特面传输的逐渐浮现方式	57
3.4.3 其它	58
3.5 其它编码方法简介	58
3.5.1 亚抽样和内插	58
3.5.2 抖动图像编码	60
3.6 JPEG 建议的 ADCT 编码	60
3.6.1 基本系统的编码算法	61
3.6.2 JPEG 中的逐渐浮现编码	63
3.7 二值图像编码方法简介	64
3.7.1 二值图像的方块编码	64
3.7.2 游程长度编码(RLC)	66
3.7.3 二维游程长度编码(PDQ)	67
3.7.4 其它	67
4 序列图像编码	70
4.1 图像信号的线性预测编码	72
4.2 帧内预测编码	74
4.3 最佳量化	75
4.3.1 最小均方误差量化器设计	75
4.3.2 主观准则下的量化器设计	77
4.3.3 量化压缩机理	79
4.4 自适应预测编码	80
4.5 帧间预测编码	82
4.5.1 帧间编码的依据	82
4.5.2 基本方法	84
4.5.3 帧内/帧间自适应预测编码	84
4.5.4 运动补偿预测编码	86
4.5.5 块匹配方法	86
4.5.6 像素递归算法	88
4.6 混合编码	88
4.7 传输误码对恢复图像质量的影响	91

4.8 极低码率的序列图像编码	93
4.8.1 H.263 建议的编码方法	94
4.8.2 知识基编码	97
5 图像信号的传输技术	101
5.1 模拟视频基带信号	101
5.1.1 模拟视频基带信号	101
5.1.2 清晰度和信号带宽	102
5.1.3 噪声影响	103
5.1.4 线性失真	103
5.1.5 非线性失真	105
5.2 模拟调制技术	106
5.2.1 残留边带调制	107
5.2.2 调频	108
5.3 数字基带信号	112
5.4 数字调制技术	112
5.4.1 多相相移键控(mPSK)	112
5.4.2 多电平正交幅度键控(mQAM)	114
5.5 网格编码调制	115
5.6 图像信号的传输方式	118
5.6.1 微波传输	119
5.6.2 卫星传输	120
5.6.3 光纤传输	124
5.7 宽带用户环路	127
5.7.1 高速数字用户环路(HDSL)	127
5.7.2 不对称数字用户环路(ADSL)	131
6 图像通信业务和系统	134
6.1 活动图像通信系统	135
6.1.1 会议电视	135
6.1.2 电视电话	140
6.2 静止图像通信系统	143
6.2.1 慢扫描系统	143
6.2.2 可视电话	144
6.3 其它图像通信业务简介	145
6.3.1 传真	145
6.3.2 图文电视(TELETEXT)	151
6.3.3 可视图文(VIDEOTEX)	154
6.4 通用图像存储传输系统	158
6.4.1 MPEG-1	158
6.4.2 MPEG-2和HDTV	163

6.4.3 MPEG-4及其应用前景简介	165
6.5 实际会议电视系统简介	166
6.5.1 VC7000会议电视终端	167
6.5.2 VC4100多点控制器	168
7 图像信息交换及联网技术	169
7.1 交换及联网	169
7.1.1 信息交换基础	169
7.1.2 通信网络基础	174
7.1.3 图像通信的组网方式	177
7.2 数字网上的图像通信	179
7.2.1 DDN 网上的图像通信	179
7.2.2 B-ISDN 和 ATM	181
7.3 图像和多媒体通信	186
7.3.1 多媒体通信的特点	186
7.3.2 多媒体通信的信息处理技术	188
7.3.3 多媒体通信的应用	190
7.3.4 “信息高速公路”与多媒体	192
7.3.5 数字电视体系的形成与发展	192
附录	
A CCITT H. 261建议及 H. 320系列建议提要	195
B H. 261图像压缩编码参考程序	200
C 标准图像和压缩图像的比较	205
D VC 系列会议电视终端设备外形	206
参考文献	207

1 绪论

1.1 通信与图像通信

随着人类社会的进步,科学技术的发展,人们对通信的要求越来越高。通信是信息有目的的传送,包括人与人之间、人与机器之间的信息传递与交流。通信的种类有多种多样。从传输的角度来看,有无线通信和有线通信;从传输的内容上来看,有语音、音乐、自然图像、文字符号、图形、数据等。对于大多数人来说,目前使用得最多最普遍的无疑是电话,它传送的是由人的听觉来获取的语音、音乐等声音信息。

图像通信是近十多年取得长足发展的现代通信技术。顾名思义,图像通信传送的主要是通过人的视觉获取的图像信息,包括:自然景物、文字符号、图形等。在通信的发送端,首先将图像信息变为电信号,经光、电等传输媒体(介质)传送到通信的接收端,再将其恢复成视觉可以接收的形式。和声音信息相比,图像信息具有直观性强、信息内容丰富等特点。据估计,在人的日常生活所获取的信息中,20%是通过听觉,60%以上是通过视觉获取的,因此,通信中引入图像信息的传输,不仅大大地丰富了通信的内容,而且也更适合人获取信息的生理、心理特点。特别是把图像、声音等信息综合起来的声像或视听业务(Audio-Visual Service)取代单一的电话通信方式后,使“只闻其声不见其容”的通信变为“既闻其声又见其容”的通信,通信过程更加自然生动,满足了人们进行“面对面”信息交流的愿望。

目前从应用的角度来看,图像通信的方式按业务的性质可分为电视广播、可视电话、会议电视、传真、图文电视、可视图文、按需电视等。随着计算机、电视与通信技术的结合,新的图像通信业务也将不断出现。若按照图像内容的性质划分,则可分为活动图像和静止图像通信两大类。由于图像信息具有信息量大的特点,图像通信需要占用比话音通信大得多的信道。为了使图像通信在大众中普及应用,就必须根据不同类型的图像的特点,采用行之有效的信息压缩方法,达到图像信息的高效传输。

1.2 图像信号的基本概念

为了实现图像通信,首先必须对图像进行正确的描述。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能量,在人的视觉器官中所重现出的物体的视觉信息。照片、电视、图画等都属于图像的范围。

图像按其亮度等级的不同,可以分成二值图像(只有黑白两种亮度等级)和灰度图像(有多种亮度等级)两种。按其色调不同,可分为无色调的灰度(黑白)图像和有色调的彩色图像两种。按其内容的变化性质不同,有静态图像和活动图像之分。而按其所占空间的维数的不同,又可分为平面的二维图像和立体的三维图像等。

图像的亮度一般可以用多变量函数来表示:

$$I = f(x, y, z, \lambda, t) \quad (1.2.1)$$

其中, x, y, z 表示空间某点的坐标, t 为时间轴坐标, λ 为光的波长。当取 $z = z_0$ (常数) 时则表示二维图像, 当 $t = t_0$, 或与时间无关时, 则表示静态图像; 当 λ 取为定值时则表示单色图像。

一般地, 由于 I 表示的是物体的反射、透射或辐射能量, 因此它是正的、有界的, 即

$$0 \leq I \leq I_{\max} \quad (1.2.2)$$

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

式(1.2.1)是一个多维函数, 它不易于分析处理, 为此需要采用一些有效的方法进行降维。首先, 根据三基色原理可知, I 可以表示为三个基色分量 I_R 、 I_G 和 I_B 之和:

$$I = I_R + I_G + I_B \quad (1.2.3)$$

式中

$$\begin{cases} I_R = f_R(x, y, z, \lambda_R) \\ I_G = f_G(x, y, z, \lambda_G) \\ I_B = f_B(x, y, z, \lambda_B) \end{cases} \quad (1.2.4)$$

其中, $\lambda_R, \lambda_G, \lambda_B$ 为三个基色波长。

实践中还采用线性扫描的方法进一步降低维数, 例如电视摄像机、扫描仪均通过扫描获取二维图像信号, 此时

$$\begin{cases} x = \Psi_1(t) \\ y = \Psi_2(t) \end{cases} \quad (1.2.5)$$

于是, 高维的图像被转换为一维信号。同样, 利用式(1.2.3), (1.2.4), (1.2.5)可以再恢复出原来的高维图像。

1.3 图像通信系统的组成

1.3.1 系统的组成结构

图像通信系统和我们所熟悉的话音通信系统的组成结构是基本相同的。如图 1.1 是模拟图像通信系统的组成框图。目前大多数国家和地区的广播电视系统都是这种模拟系统。图中的各功能模块中, 虚线框外的部分是图像通信系统特有的, 其中信源部分是指经过光电转换后得到的图像基带信号, 完成光电转换的设备也称为图像通信系统的输入设备, 常见的有电视摄像机、扫描仪等。显示设备用于显示恢复的图像, 主要有电视显示屏(彩色、黑白), 或者硬拷贝机(打印机等)。图中虚线框内的各部分是一般的通信系统中都有的, 其中调制器起频谱变换的作用, 使信号更利于在信道中传输, 但在这里, 由于图像基带信号的带宽(约为 6MHz)远远大于语音信号的带宽, 而且在模拟信道中传输时必须采用相位均衡器解决线性相位特性问题, 因此多采用残留边带调制(VSB-AM)和调频(FM)。

随着微电子技术、计算机技术的发展, 图像通信也迅速走向数字化的道路。数字式图像传输具有以下几方面的优点:

- (1) 可以多次中继而不致引起噪声的严重积累。因此适合于需多次中继的远距离图

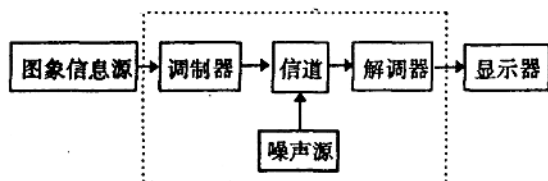


图 1.1 模拟图像通信系统组成框图

像通信或在存储中的多次复制。

(2) 有利于采用压缩编码技术。虽然数字图像的基带信号的传输需要占用很高的频带,但采用数字图像处理和压缩编码技术后,可在一定的信道频带(传输码率)的条件下,获得比模拟传输更高的通信质量;甚至在窄带条件下,实现一定质量的图像通信。

(3) 易于与计算机技术结合,实现综合图像、声音、数据等多种信息内容的综合业务。

(4) 可采用数字通信中的抗干扰编码技术,以提高抗干扰性能。

(5) 易于实现保密通信。

(6) 采用大规模集成电路,可以降低功耗,减小体积、重量,提高可靠性,降低成本,便于维护。

数字图像通信系统的组成框图如图 1.2 所示。

图 1.2 中,信源部分包括摄像和 A/D 转换部分。信源编码的作用是去除或减少图像信息中的冗余度,压缩图像信号的频带或降低其数码率,以达到经济有效的传输或存储的目的。经过压缩后的图像信号,由于去除了冗余度,相关性减少,往往具有抗干扰性能差的缺点。为了增强其抗干扰的能力,通常可适当增加一些保护码(纠错码),这时数码率虽然有所增加,但却显著提高了抗干扰性能,比较适宜在信道中传输,这就是信道编码的作用。同样地,系统中的调制部分把信号变为更适宜于信道中传输的形式。常用的调制方式是 PSK、QAM 等。

图像信道一般理解为传输图像信号的线路,但从广义上说,存储处理器也可看成信道。

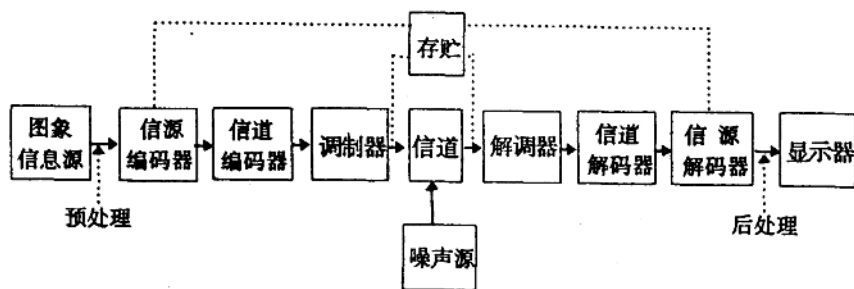


图 1.2 数字图像通信系统组成框图

图像的解调、信道解码、信源解码等部分均为发送端相应部分的逆过程,不再赘述。

有时,为了获得更好的图像质量,在信源编码之前增加预处理,在显示部分之前增加后处理。

总之,在系统的构造上可以从以下两个角度进行考虑。首先,与模拟图像通信系统相比,数字图像通信系统增加了信源编码和信道编码部分,它们是进行高效、可靠数字通信的保证。其次,图像通信系统与一般的话音通信系统相比,其组成部分是相同的。这里需要注意的是信源、信宿的特性所引起的具体实现中的差异,它主要表现在信号的采集、前后处理、编解码方法、信道的传输要求,以及最终能提供的信息内容等。因此,本书的重点是阐述反映图像通信特色的关键内容,即各种压缩编码方法,以及一些图像通信业务及其实现,而对于一般通信中涉及到的问题,例如信道编码、调制方法等,则不作为本书的重点。

1.3.2 图像系统的模型

实践中通常把传输或处理图像信号的系统近似为二维线性位移不变系统。用这种系统模型来分析和设计被证明是有效的。与我们熟悉的一维线性时不变系统类似,这种系统的频率响应是该系统的脉冲响应的傅立叶变换。

设对二维函数所作的运算 $L[\cdot]$ 满足

$$(1) L[f_1(x,y) + f_2(x,y)] = L[f_1(x,y)] + L[f_2(x,y)] \quad (1.3.1)$$

$$(2) L[af(x,y)] = aL[f(x,y)] \quad (1.3.2)$$

式中,若 a 为任意常数,则称此运算为二维线性运算。由它所描述的系统为二维线性系统。

和一维线性系统类似,当二维线性系统的输入为单位脉冲函数 $\delta(x,y)$ 时,系统的输出便称为脉冲响应,用 $h(x,y)$ 表示。故有 $L[\delta(x,y)] = h(x,y)$ 。

二维单位脉冲函数 $\delta(x,y)$ 可定义为

$$\delta(x,y) = \begin{cases} \infty & x=y=0 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (1.3.3)$$

且满足

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x,y) dx dy = \int_{-\epsilon}^{\epsilon} \int_{-\epsilon}^{\epsilon} \delta(x,y) dx dy = 1 \quad (1.3.4)$$

式中, ϵ 为任意小的正数。

由二维单位脉冲函数 $\delta(x,y)$ 定义易得出

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha, \beta) \delta(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta = f(x, y) \quad (1.3.5)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x - \alpha, y - \beta) dx dy = f(\alpha, \beta) \quad (1.3.6)$$

以及

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j2\pi(ux+vy)} du dv = \delta(x, y) \quad (1.3.7)$$

由于 $h(x,y)$ 是当系统的输入为 δ 函数或点光源时系统的输出,是对点光源的响应,因此也称之为点扩展函数。质量差的图像传输系统 $h(x,y)$ 的作用将把图像中的一点弥散开来。

当输入的单位脉冲函数延迟了 α, β 单位后,若有 $L[\delta(x-\alpha, y-\beta)] = h(x-\alpha, y-\beta)$ 成立,则称此系统为二维线性位移不变系统。

在下一章,我们将学习这种系统的一些重要性质。

1.4 图像通信的发展简史

从通信发展的历史来说,图像通信经历的是一个既悠久又短暂的历史发展过程。早在1865年,在法国的巴黎和里昂之间就已试验成功了属于图像通信领域的传真通信,它比1876年美国贝尔发明电话还要早。在此后一段时间,传真通信的质量得到了不断的改进,可视电话的实验也获得成功。然而从总体上说,由于受到社会发展及相关技术的制约,这些图像通信的传送速度慢、设备复杂、成本高的缺点一直得不到有效的解决,图像通信一直处于缓慢、区域性的发展状态。与之成为鲜明对比的是,话音通信自出现以后得到了迅速发展,在通信中占据了主导地位,成为社会发展的支柱性产业。70年代以来,微电子技术,特别是LSI、VLSI制造工艺的提高,以及计算机技术的发展,极大地推动了通信事业的发展,特别是办公室自动化与国际信息交流的发展,推动了图像通信的发展。1980年,CCITT(国际电报电话咨询委员会,现为国际电信联盟电信标准部门,ITU-TSS)为在公共交换电话网上工作的数字传真设备(三类传真机)制定了国际标准建议,1984年,CCITT又形成了综合业务数字网(ISDN)的建议,这意味着非话通信方式,例如会议电视、电视电话、图文电视、可视图文、传真等图像通信方式已开始通信中占有重要地位。图像通信经历了相当长的徘徊后,开始进入一个高速发展的新阶段。1988年,CCITT开始制定用于视听业务(Audio-Visual Service)的活动图像编码的国际标准,即H.261建议,并在1990年7月正式通过。该建议是对图像编码近40年研究成果的总结,解决了可视技术在通信中的应用这一长期困扰人们的问题,极大地推动了会议电视、电视电话等图像通信方式的国际化和产业化,成为图像通信史上一个重要的发展里程碑。在此之后,一系列有关图像编码、视频通信的国际标准建议先后颁布,一系列符合国际标准建议的图像通信设备纷纷涌向市场,新的图像通信方式也陆续出现,图像通信呈现出一派蓬勃发展的景象。在话音通信独领风骚近一个世纪后,通信进入了图像、声音、数据等多种方式并存的新局面。下面就介绍几种图像通信(除广播电视外)的发展概况。

(1) 传真 把用纸记录的文字、图表、照片等静止图像通过光电扫描方法变为电信号,经传输后在收端以硬拷贝方式得到和发端原图像类似的图像的通信方式称为传真。传真通信可以认为是图像通信的开端。1925年在美国的贝尔电话实验室(BTL)完成了实用照片的传真,从1930年起,美国开始了横贯美国大陆的照片传真业务。此后,传真机的速度和质量不断提高。60年代就出现了一类传真机,它能在一个话路上传输一份ISO(国际标准化组织)A4(210mm×297mm;相当于我国16开纸的大小)文件,约需6分钟。当采用了一些频带压缩方法后,传输时间缩短为3分钟,这种档位的传真机称为二类机。二类机在70年代得到了很快的发展,先进的二类传真机已具有跳过白色块编码的功能。1980年8月,CCITT通过了有关三类传真机的国际标准建议,这种传真机的特点是信号在调制之前要进行数据压缩编码,建议的编码方法是一维改进的Huffman码和二维改进的READ码。由于采用了压缩编码技术,此类传真机的传输时间压缩为1分钟。1984年,CCITT又通过有关四类传真机的建议,其压缩编码方法与三类机基本相同,为改进型READ码Ⅱ型,但加有信道编码,以适于进入公用数据网。目前传真机的研究发展方向一方面在于进一步减小体积、降低成本,使之进入普通家庭用户;另一方面在于增强其性能,

例如移动式传真机,传送灰度和彩色图像等。

(2) 会议电视和可视电话 以传送活动图像为主体的会议电视和可视电话,是图像通信中最富挑战性和吸引力的业务。这是因为活动图像所传递的信息量远远大于一幅静止图像,籍此人们可以跨越时间和空间的限制,把感兴趣的景物图像逼真地显示在自己眼前。当相距千里的人们在通话的同时还能在电视显示屏上看到对方栩栩如生的图像时,许多用语言难以表达的信息都被尽收眼底。因此这种通信方式最符合人们在获取外部信息时的生理、心理活动特点,是一种最理想的通信方式。然而,这种通信方式所面临的最大的问题是如何有效地传送其极大的数据量(信息量)。虽然以模拟技术为结晶的彩色电视技术巧妙地融合了多种技巧,例如三基色原理、隔行扫描、频谱交错、大面积着色等,但其基带信号的带宽仍然高达 6MHz,大约相当 960 个话路,因此,如果不解决高效率的传送问题,活动图像的通信是没有实际意义的。1964 年,美国贝尔实验室在纽约国际博览会上展出了世界上最早的可视电话机 Picturephone MOD-I,之后又经过改进后成为 Picturephone MOD-II,并在 70 年代初在匹兹堡和芝加哥开始用于商业服务。它所采用的是模拟传输技术,传输带宽为 1MHz。然而,由于这种模拟系统传输频带宽、成本高,并需要专用通信网络,而所提供的仅仅是简单的“面对面”通话业务,因此出乎人们原先的估计,这种可视电话不仅没有得到扩大应用,而且其商用业务也终告中断。

就在可视电话处于发展的低潮阶段,会议电视的发展开始引人注目。会议电视和可视电话同属视听(Audio-Visual)通信业务,但它除了用于点对点的图像通信外,还可以用于多点之间的图像通信,传送的图像内容为运动量不大景物,如有若干参加者的会议图像等,特别适合多个地点、多个参加者的“面对面”的信息交流活动。最早的会议电视于 1930 年安装在美国贝尔实验室。到 70 年代中期,一方面数字图像编码技术和 LSI、VLSI 器件技术的进步,活动图像的压缩编码得到很大的发展,出现了带有帧间编码的视频编码系统,数据率降低到 6.3Mb/s(PCM 二次群);另一方面,社会的发展已进入新的信息时代,会议电视正迎合了信息交流的迫切需要,具有广泛的应用前景。美国、日本、西欧等工业发达国家在会议电视系统的研制上纷纷不惜巨额投资,以便能占领会议电视产品市场。西欧的英国、法国、德国等七个国家甚至进行了联合行动,他们研制的会议电视系统为 COST 系统。到了 80 年代中期,世界上已有多种会议电视产品进入商业服务,其典型的传输码率为 1.5Mb/s 和 2Mb/s(PCM 基群速率,24 或 30 个话路),有的甚至达到了更低的传送码率,如 384kb/s(6 个数字话路)。1988 年,CCITT 开始制定“p×64kb/s 视听业务的视频编解码器”的国际标准建议——H. 261 建议,经将近两年的多次修改后于 1990 年正式通过。该建议的视频压缩采用了运动补偿预测和离散余弦变换相结合的混合编码方案,这是图像编码近 40 年研究成果的总结,达到了很好的压缩性能。其次,该建议规定了图像格式、编解码器结构以及信号流的组成等主要技术参数,它与 H. 221(数据帧结构)、H. 242(通信协议)、H. 243(多点系统控制)等建议一起,为会议电视的产业发展铺平了道路,所有符合 H. 261 建议的由不同厂家生产的会议电视编解码器可以互联,由此改变了原先各自为政的封闭局面。目前世界上已有许多公司生产符合 H. 261 建议的会议电视产品,其中比较著名的有英国的 GPT 公司、法国的 SAT 公司、美国的 CLI 公司等,它们采用了 DSP(数字信号处理器)、VSP(视频信号处理器)以及计算机平台等技术,系统的性能、体积、功耗等均得到极大的改善,其应用遍及政府、企业、军事、教育等部门。

我国的会议电视研究开始于 70 年代中期。1976 年南京邮电学院和北京邮电学院合作研制成功国内第一套模拟可视电话/会议电视系统,并在广州—北京之间试通成功。1990 年南京邮电学院研制成功国内第一个多点彩色数字会议电视系统二次群,并在福建省的七个城市投入使用。CCITT 颁布 H. 261 建议后,国内多所大学、研究所等单位也投入力量加快研制,先后研制成功符合国际标准建议的会议电视系统。1993 年,邮电部与美国 CLI 公司合作,建立了我国会议电视的国家骨干网,许多省建立了省级会议电视网。但遗憾的是,由于投入的人力、资金的不足,特别是受到器件上条件的限制,目前建立的各级会议电视网,均为从国外引进的设备。

80 年代,可视电话再一次成为人们感兴趣的研究课题。日本首先由六大公司联合制定了可视电话的 TTC 标准,以图迅速占领这一潜在的通信市场。该标准的技术特点是采用简单的数字处理技术,在模拟电话网上传送黑白静止图像,显示屏大小约 4 英寸,画面的清晰度约为 100×100 ,5~6 秒钟传送一幅图像。美、英、法等国则分别推出了液晶显示的彩色活动图像的可视电话。但总体上说,图像质量仍不能令人满意,而且单机价格昂贵,不同厂家的产品无法互通,由此难以取得推广。CCITT 制定的 H. 261 建议覆盖了整个窄带 ISDN 上视听业务的图像编码,包括会议电视、电视电话等,但是对于更低的传输速率条件,例如人们用得最普遍的电话线,或者移动通信信道,其编码图像质量急剧下降。而这正是可视电话今后发展的广阔领域。目前,ITU 正着手极低码率图像压缩的标准制定,近期目标为 H. 263。它是在 H. 261 建议上作了一些特别的修改,但编码方案仍然为混合编码,传输码率低于 64kb/s。H. 263 建议的草案已经拟定,并出现了符合建议的视频编码 ASIC 芯片。预计该建议正式颁布后,可视电话事业必将得到巨大的发展。

(3) 图文电视和可视图文 1975 年,BPO(British Post Office)的 Fedida 发表了一种称为可视数据(Viewdata)的可视信息检索系统,它利用在家用电视接收机上附装键盘等简单的装置,在与公用电话网接通后,通过操作键盘从接到该网上的数据库中检索到所需的信息,并显示在电视机屏幕上。这就是可视图文(Videotex)的原型。由于该附加装置的体积小,价格低廉,信息检索的顺序比较简单,其应用价值很快受到人们的重视。1979 年在英国已进入商用化,定名为 Prestel 系统。之后,法国、日本、加拿大等国也相继开通了各自的系统。80 年代可视图文在发达国家迅速发展,目前已有 30 多个国家和地区开放了公用可视图文业务,欧洲已建成可视图文网,用户超过 1000 万。我国的可视图文事业开始于 80 年代初,首先是一些院校开展了理论研究和实验系统的研制。进入 90 年代后,我国电信部门积极开展与国外的合作,进行开发实验。我国的可视图文业务标准草案已制定完毕,在上海、北京、深圳、南京等地建立了实验网。目前已有一些省开始建立省内可视图文网。随着我国通信骨干网的建设的发展,DDN 网、分组交换网等已基本建立,在“七五”、“八五”期间,各部门开发出了许多有价值的数据库,这为可视图文的发展创造了良好的条件。我国邮电部要求实现全国联网,达到信息资源共享。

图文电视(Teletext)和可视图文相类似,也是提供可视图形、文字等信息的通信方式。与交互型的可视图文所不同的是,它是一种单向的信息传递,具有图文电视功能的电视台在电视信号的消隐期反复发送图文信息,用户使用电视机和图文电视解码器从正在播出的节目中查阅收看感兴趣的内容。英国最早在 60 年代末开始图文电视的研究,70 年代初制定了英国的统一制式标准 WST,1976 年开始正式定时播出。在此之后,法国、日

本、加拿大等国也先后提出自己的标准。到80年代末,世界上许多国家正式进行图文电视广播,解码器的数量超过了数千万台。如今,欧洲生产的21英寸以上的彩色电视机基本上都具有图文电视解码功能。我国于80年代初开始研究中文图文电视标准,在WST上扩充了汉字,1993年4月通过了中国的CCST制式。1990年北京亚运会期间,中央电视台在北京地区进行了图文电视的试播,从1993年12月起,又在第一套节目向全国定时播出图文电视节目。北京、浙江、深圳、广东、上海等30多个省、市也开播了图文电视。香港的ATV、TVB也采用CCST制式进行图文电视广播。

图文电视和可视图文均为用户提供可视信息检索,它们与计算机技术的结合非常紧密,并随着计算机软件、硬件和数据库技术的进步得到新的发展。例如在解码装置上增加打印机等硬拷贝,或者不仅传送编辑成的文字图形,还可以增加自然彩色画面的显示等;终端的体积、性能、用户的界面等有了很大的改善。可以预计,在不久的将来,能提供多种信息咨询服务的多媒体信息系统必将进入人们的生活。

(4)其它 以上介绍的是几种比较典型的图像通信方式。从图像的种类上说,包括了自然(活动、静止)图像、二值图像,以及在计算机上用文字符号、几何图形等组成的编辑图像;从信息的传递方向上说,既有全双工的,也有单向的和交互检索型的;从信号传输的途径上看,既有普通的公用电话网、数字数据网、ISDN网,也有广播信道等。因此它们的发展也反映了图像通信的发展史。此外,在图像通信发展中,还出现了一些采用多种技术的混合方式。例如:利用CATV频带宽的特点,在CATV中传送图文电视,甚至进行交互型的图像信息传送,如车站、码头的咨询系统等。利用CATV开展多种信息传送至今仍然是一个很有意义的研究领域。

随着社会生产力的发展,计算机、电视与通信技术的结合日趋紧密,许多原有的领域的界限被打破,新的通信方式也不断出现。例如利用先进的传输技术(ADSL、卫星通信等)与视频编码技术结合的VOD(按需电视),可以为人们提供高质量的信息服务,内容包括电影、旅游指南、导购等。根据通信发展的这一趋势,ISO在颁布了活动图像编码的MPEG-1、MPEG-2后,开始了雄心勃勃的计划——MPEG-4的制定工作。其目标是具有高压缩率(high compression)、交互性(interactivity)、可移动性(mobility)的,并具有通用可存取性的(universal accessibility)视听系统。这样,在不远的未来,一种小巧、轻便和具有一定存储能力的“个人数字助手”(personal digital assistant),集多种信息内容的个人通信系统,将为人们提供更为便利、多彩的信息服务。

1.5 本书内容简介

为了使读者能通过较短时间的学习掌握图像通信的基本内容,本书既包括图像通信的基本理论;又介绍图像通信领域的新技术、新成果以及发展趋势,希望体现新颖、实用的特点;使读者能学以致用,尽快胜任图像通信方面的工作,或为进一步深入学习和研究作好准备。首先,根据当前通信、特别是图像通信的发展情况,本书侧重介绍有关数字图像通信方面的内容。其次,和其它通信系统一样,图像通信系统也同样是由终端设备、传输设备和传输信道三部分组成。其中最重要、最具特色的在于终端设备,其任务是解决三方面的问题:①图像信号的采集和显示;②数字图像信号的高效压缩编码和解码;③与现有传输

设备(信道)的连接,以便利用现有的通信网络实现图像通信。因此,本书内容的重点在于两方面:一是图像信号的压缩编码,主要是自然景物图像(静止、活动)的压缩编码;二是图像通信业务和系统(终端设备)的组成。此外,在传输方面介绍了图像信号传输的调制方式、信号接口技术和网络组成、信号交换技术。全书的内容是这样安排的:

本书的第1章为绪论。介绍图像通信的基本概念、图像信息的特点与描述、图像通信系统的组成及一般数学模型,同时简要介绍图像通信的发展简史和发展趋势。

本书的第2章为基础知识部分。简要介绍在学习中所要涉及的必要知识,包括:离散傅里叶变换、图像的正交基表示、数字图像的采集、图像信号的统计特性,引入图像的压缩编码及两种基本方法——变换编码和预测编码的概念,之后,引入信源模型和自适应编码的基本思想。最后扼要介绍一些图像质量评价的知识。

第3章为静止图像编码。介绍单幅自然灰度图像的几种编码方法,有方块编码、比特面编码、内插方法等,以及静态图像编码的国际标准建议——JPEG建议中的ADCT编码。引入了多分辨率图像的概念,介绍几种实现逐渐显示的编码方式。本章最后还介绍一些二值图像的编码方法。

第4章介绍序列图像编码。内容包括预测(帧内、帧间)编码、运动补偿预测、自适应预测,并介绍混合编码的基本思想,着重介绍CCITT H. 261建议的混合编码方案。在此基础上还介绍了ISO的MPEG系列标准。最后,分析了传输误码对恢复图像质量的影响。作为提高内容,本章还介绍了一些极低传输码率下的序列图像编码的研究进展。

第5章介绍图像信号的传输。首先分析了图像的模拟和数字基带信号的特点,然后介绍图像的模拟传输和数字传输的几种主要调制方式。最后还介绍了新近发展起来的高速用户环路的HDSL和ADSL技术。

第6章介绍现有的一些典型的图像通信业务、系统构成、工作原理。包括:会议电视、电视电话、传真、可视图文、图文电视等。为了增加读者对具体的图像通信设备的了解,本章最后还较为详细地介绍了一套典型的会议电视系统终端。随着图像编码技术研究的不断深入,通信技术、电视技术与计算机技术的日益紧密的结合,图像通信进入了高速发展阶段,一方面,原有的图像通信业务的功能得到加强,例如:在传送活动图像为主的会议电视中增加高精度静止图像传送、文件传真、数据传输等,在原先以传送文字、图形为主的编辑图像的图文电视、可视图文中引入自然彩色图像的传送,甚至还加入硬拷贝功能等;另一方面,结合了新技术的新的图像通信业务不断出现,例如:利用ADSL(不对称数字用户线)的技术及图像压缩技术,在现有的电话用户线上传送多套电视节目的VOD(按需电视)等。因此,本章不可能包括所有的图像通信业务,而把这些典型系统的学习作为今后进一步学习的基础。

第7章介绍了图像信息交换及图像通信网。简单地说明了通信组网及交换的基本概念,并介绍了图像通信常用的组网连接方式,给出了目前使用较多的数字网上图像通信的方法,之后特别介绍了图像传输与通信网的接口技术,藉此就可以使读者形成比较完整的图像编码、传输的系统概念。最后介绍了近年来多媒体通信发展的情况和前景。

2 数字图像信号

2.1 图像信号的数字化

在日常生活中人眼所感知的景物一般是连续的,我们称之为模拟图像。这种连续性包含了两方面的含义,即空间位置延续的连续性,以及每一个位置上光的强度变化的连续性。因此,为了适合数字处理,对图像的数字化也包含相应的两个方面:对空间位置的离散数字化和对幅值(电平)的离散数字化。这里先以一个最简单的二维黑白(灰度)图像为例进行图像的数字化讨论。

如图 2.1 所示,黑白图像 $f(x, y)$ 分布在一个矩形区域: $0 \leq x \leq L_x, 0 \leq y \leq L_y$, 从物理意义上说, $f(x, y)$ 应是有界的, 即: $0 \leq f(x, y) \leq f_m$ 。在图像区域的一些特定位置上取出图像的亮度值, 以此作为原图像的一种替代, 这一过程就称作图像的抽样, 而每一个取样的位置称为抽样(取样)点, 其亮度值称为抽样值。图 2.1 中抽样点位置构成的图案是一种最简单的形式。各点的排列如同在方格的顶点上, 这种抽样是采用得最多的抽样方式, 称为正交抽样(方格抽样)。把抽样后的各样值按照其空间位置排列, 即可构成二维抽样矩阵 F ,

$$F = [f(i, j)] = \begin{bmatrix} f(1, 1) & \cdots & f(1, N) \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ f(M, 1) & \cdots & f(M, N) \end{bmatrix}$$

其中, i, j 分别与抽样的行和列号相对应, 矩阵中的各元素被称为数字图像 F 的象素。

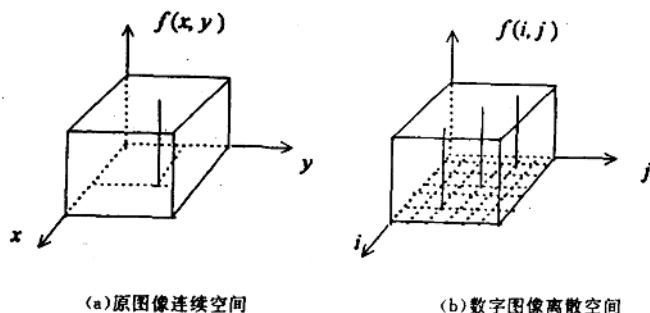


图 2.1 图像信号的数字化

以上所完成的是空间位置的离散化, 而每一个抽样值仍然可以在一定的范围内任意连续取值, 为此, 进一步把亮度值区间分为 K 个小区间, 称为 K 个量化层, 每个小区间用

一个代表值表示(如小区间的中值),称为量化值(量化电平),划分区间的端点就称为判决电平,小区间的间隔被称为量化步长,落入同一小区间的任何抽样值都以同样的量化值表示,这一过程即图像的量化。一般而言,量化值与抽样值是不同的,其偏差用量化误差 ϵ_q 来表示:

$$\epsilon_q(i, j) = f(i, j) - f_q(i, j) \quad (2.1.1)$$

由此,经过抽样和量化完成了图像数字化的全过程。显然,增加抽样点个数(即 M 、 N)和量化层数 K 都可使数字化的图像与原图像的偏差减少,但同时也大大增加了图像的数据量,为了适合传输和存储的需要,必须选择合适的数字化参数 M 、 N 、 K 。下面就对这一问题进行具体分析。

2.1.1 二维信号的傅立叶变换及频谱

在讨论二维图像信号的抽样之前,首先要介绍一下二维信号的傅氏变换。我们知道,对于一维有界信号 $f(t)$,其傅氏变换定义为

$$\begin{aligned} f(t) &\leftrightarrow F(f) \\ F(f) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi ft} dt \\ f(t) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(f) e^{j2\pi ft} df \end{aligned} \quad (2.1.2)$$

$F(f)$ 被称作 $f(t)$ 的频谱。其物理意义是 $f(t)$ 可由时间域上的各谐波分量叠加得到。

在二维情况下,类似地定义 $f(x, y)$ 的傅氏变换 $F(u, v)$:

$$\begin{aligned} f(x, y) &\leftrightarrow F(u, v) \\ F(u, v) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy \\ f(x, y) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{j2\pi(ux+vy)} du dv \end{aligned} \quad (2.1.3)$$

$F(u, v)$ 也称作 $f(x, y)$ 的频谱。同样,它表明了空间频率成分与二维图像信号之间的相互关系。

在二维情况下,傅氏变换也存在与一维变换类似的性质,例如:对称性、位移、旋转、比例等,这里不一一列出,读者可根据一维变换的性质自行推导得出。

对于我们要处理的二维图像,其傅氏变换一般是在频率域上有界的,亦即其有用成分总是落在一定的频率域范围之内。如图 2.2(b)所示,其中的阴影区域代表频率域上有用成分部分, U_m 、 V_m 分别为水平方向和垂直方向的最大空间频率。

上述的频率域性质的依据在于:①图像中景物的复杂性具有一定的限度,其中大部分内容是变化不大的区域,完全象“雪花”点似的图像没有任何实际意义;②人眼对空间复杂性(频率)的分辨率以及显示器的分辨能力都是具有一定的限度。这一性质对图像的数字化是非常重要的。

2.1.2 图像的取样

图像取样主要解决的问题是找出为了能从抽样图像精确地恢复原图像所需要的最小