

数字电视原理

张兆扬 陈加卿 徐在方 编著

科学出版社

1987

内 容 简 介

本书主要论述数字电视的原理,数字电视设备及数字电视接收机的设计原理和主要电路分析。内容包括:图象信号 PCM 编码的原理、编码参数和编码标准;图象信号的频带压缩和纠错编码;数字电视中的信号处理;视频模数与数模变换、帧同步机、时基校正器、电视制式变换、数字视频效果、数字磁性记录等数字电视设备的组成方法和设计原理;以及数字电视接收机的设计思想和整机电路分析等。

本书可供无线电技术类、图象通信类专业的高年级学生、研究生和教师作为教学参考书,也适合电视与通信领域的研究人员、工程师以及电视台、电教中心和闭路电视的技术人员阅读。

数 字 电 视 原 理

张兆扬 陈加卿 徐在方 编著

责任编辑 陈 忠

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987 年 12 月 第 一 版 开本:787×1092 1/16

1987 年 12 月 第一次印刷 印张:26 3/4

印数:0001—8,200 字数:621,000

ISBN 7-03-000009-9/TN·2

统一书号:15031·883

定 价: 6.30 元

081400

前 言

近十年来,电视学科发展的重点——数字电视技术,由于有大规模集成电路和计算技术为依托,已取得了令人鼓舞的成果。美国、日本、苏联、加拿大和西欧各国在七十年代就把研究成果逐步转为实际的应用,目前先进国家的台内设备的数字化已日趋完成,电视接收机的数字化也获得了成功。在此基础上 CCIR (国际无线电委员会)在 1982 年 2 月通过、并在 1983 年 9 月修改而确定了世界统一的数字电视信号的编码标准,为数字电视的发展提供了基础。

我校从七十年代末开始从事数字电视的研究,并受中国广播电视学会、电子工业部和中央广播电视电影部的委托,多次举办了“数字电视技术”工程师进修班。为进一步促进我国数字电视的研究、生产和应用,整理了多年来研究和教学的成果,编著了此书。

本书分三大部分。第一部分包括第一至五章,阐述数字电视的基本理论。主要内容有电视图象和声音信号的 PCM 编码原理、编码参数和编码标准,图象信号的频带压缩和纠错编码。第三部分包括第七至十一章,讨论数字电视设备和接收机的组成、设计原理和电路分析。包括视频高速模数和数模变换器、帧同步机、时基校正器、制式转换器、数字视频效果、静止图象存储器、数字磁带录象机以及彩色电视接收机的数字化。而第二部分(第六章)“数字电视中的信号处理”则是对第一、三两部分起承上启下的作用,除了讨论用数字滤波器对数字电视信号进行亮色分离、内插滤波和噪声抑制以外,还包括数字视频处理的单元功能电路,以作为第三部分的基础。由于数字电视是由数字逻辑电路和数字存储器组成的,因此这部分还从视频高速的要求,介绍了数字硬件电路。要说明的是,色度信号的数字解调和合成本应放在这一章讨论,但为叙述的方便,把它放在第九章中去讨论。上述的大部分内容曾在数字电视技术工程师班上以及向高年级学生和研究生讲授过。

本书由张兆扬主编,其中初稿的第二、三、六、九、十一章由张兆扬执笔,第四、五、八、十章由陈加卿执笔,第一、七章由徐在方执笔。在编写过程中曾得到中央广播电视电影部章之俭副总工程师的支持,在此表示谢意。数字电视是正在发展中的新技术,加之作者水平所限,本书作为我国第一部这方面的专门著作,错误肯定不少,谨请读者批评指正。

作者

于上海工业大学 1985 年 4 月

目 录

第一章 数字电视导论	1
1.1 数字电视的发展概况	2
1.2 数字电视系统的结构	5
1.3 数字电视图象质量的主观评价标准	8
第二章 PCM 编码原理	10
2.1 取样及取样噪声	10
2.2 量化及量化噪声	15
2.3 编码	19
第三章 编码参数及编码标准	21
3.1 取样结构	21
3.2 全信号 PCM 编码参数的选择	25
3.3 分量信号 PCM 编码参数的选择	34
3.4 PCM 编码对滤波器的特性要求	38
3.5 误码率和传输速率	40
3.6 亚奈奎斯特编码	43
3.7 电视信号 PCM 编码的国际标准	53
3.8 电视声音信号的编码参数	56
第四章 图象信号的频带压缩	59
4.1 基本概念	59
4.2 利用视觉性质的频带压缩	73
4.3 帧内编码	75
第五章 纠错编码	91
5.1 基本概念	91
5.2 循环码的检错——CRC	98
5.3 循环码的纠错(一位)——汉明码	109
5.4 BCH 码(可纠多个随机错误的码)	121
5.5 纠正突发错误的分组码 (Block Code)	126
5.6 纠正突发错误的邻接码	131
5.7 里德-索洛蒙码纠正突发错误	140
第六章 数字电视中的信号处理	149
6.1 DTV 中对数字电路的基本要求	149
6.2 基本的数字逻辑电路	152
6.3 半导体存储器	166
6.4 数字运算电路	172

6.5	线性相位数字滤波器	184
6.6	频率轴处理	193
6.7	数字视频处理的单元功能电路	208
6.8	数字视频降噪器	223
第七章	视频模数与数模转换器	229
7.1	取样与视频高速取样保持电路	229
7.2	用比较器进行量化	232
7.3	编码器的设计	235
7.4	视频高速 ADC 与 DAC 的实例	238
第八章	时基处理装置	250
8.1	帧同步机	250
8.2	数字时基校正器	289
8.3	电视制式变换装置	306
第九章	数字视频效果 (DVE)	319
9.1	DVE 的基本特点和发展概况	319
9.2	数字图象连续压缩与扩大的设计原理	320
9.3	图象压缩前的空间滤波	329
9.4	二维 DVE 的总体组成、色度解调及存贮器读写控制	336
9.5	各种特技效果的形成方法	349
9.6	数字视频效果的发展	355
第十章	数字磁性记录	358
10.1	静止图象存储器 (SPF 或 ESS)	358
10.2	数字磁带录象机 (DVTR——Digital VIR)	361
10.3	数字磁性录音技术	376
第十一章	彩色电视接收机的数字化	380
11.1	彩色电视接收机的数字化范围	380
11.2	视频的全数字化	380
11.3	多功能电视机之一——画中画电视机的设计方法	385
11.4	数字电视接收机的整机电路分析	387
参考文献	419

第一章 数字电视导论^[2-4,18]

电视技术的发展已有数十年的历史,今天的电视已从三十多年前的黑白电视发展到色彩鲜艳而逼真的彩色电视,高分辨率电视和立体电视也已开始试播.电视的使用范围早已大大地越出了广播的界限,扩展和深入到科研、教育、工业、医疗、交通、文化、企业管理、宇航、军事和公安等各个部门.但是,它们仍然是“模拟电视”,即在摄像机中用电信号去模拟一个光图案,把在时间和幅度上连续变化的电信号经过各种处理、控制、测试、记录编辑、节目制作、调制、传输和接收后,由接收机产生一个光图案来模拟电信号.换句话说,在整个过程中,图象信号和伴音信号都是在时间轴上和振幅轴上连续变化的模拟信号.

模拟电视最明显的缺点是:在传输过程中,特别在接力传输时,信号和图象质量的损伤是积累的.例如,信号的非线性积累使图象对比度产生越来越大的畸变;长距离传输的信噪比恶化使图象清晰度越来越受到损伤;相位失真的累积使图象产生类似衍射环那样的镶边,从而产生彩色失真和使“鬼影”现象愈来愈严重.同时模拟电视还具有稳定度差、可靠性低、调整繁复、不便于集成、自动控制困难以及成本高等缺点.

数字电视是指把上述的模拟电视信号转变为数字信号并进行数字信号处理、存贮、控制、传输和显示的系统.它可以解决上述模拟电视难于解决的问题,并具有令人鼓舞的新特点.概括起来它有下列优点:1)可以克服上述模拟电视中所存在的主要缺点,即非线性与相位失真的累积和信噪比恶化的问题.这是因为数字信号只存在二进制“1”与“0”两个电平,即使受到噪声的影响,只要噪声电平小于信号电平的一半就能无误差地再生出几乎不带噪声的信号.此再生信号还可忽略非线性失真的影响,因为非线性失真只对二进制信号“1”与“0”之间的过渡沿有影响,而解码时此种影响并不重要.相位失真的积累也因同样的原因而减小,且便于进一步克服.正由于解决了模拟电视的这些主要缺点,即使数字电视信号经远距离传输、多次切换和反复录象,仍能保证令人满意的图象质量.2)在很大程度上解决了伴随模拟电视而存在的其它一些缺点,即数字电视提高了稳定性、可靠性,简化了调整,便于操作、控制、处理.这是因为数字操作也是用简单的二进制,只要能辨别出“1”与“0”的电平,仍能保持数字电路正常的性能,且二进制的数字电路对元件的性能要求并不严格,可靠性也就容易保证.数字电视设备可借助于事先定好的程序自动调整,因此不需要象模拟电视设备那样由繁多的调节旋钮进行繁琐的人工调整.至于控制、处理的简便化,它本身就是数字电路的特长.在成本上由于大规模集成电路的飞速发展,将来势必会低于模拟电视设备.3)增加了模拟电视不可能有的或难于具有的新特性.由于半导体存贮器件很容易存取几行乃至1帧的数字电视信号,以致可很方便地对卫星传输信号、录象信号重新定时(时基校正、速度补偿),可利用帧相关性来降低电视信号噪声,可方便地进行台内锁相(帧同步机),可进行模拟信号特技所不可能有的新颖的千变万化的数字特技处理.4)信道通融性和电路通用性强.对模拟信号来说,对信道的要求随信号的类型而不同.数字信号是二值电平的脉冲信号,不论是电视、电话或其它数据信号,只要使它们的传输码率相同,都可在一种数字信道(阶层)内传输,这便于组成全

国的乃至国际的数字通信网,并可减少众多的传输线路。由于数字逻辑元件都是标准化的,电路通用性强,便于电路设计。

目前数字电视还存在两方面缺点。一是所需要的传输带宽大,8位码,3倍副载波频率(f_{sc})取样时,对 NTSC 全信号 100Mbit/s 的码率,相应于 50MHz 的带宽,对 PAL 全信号则需要 120Mbit/s 的码率,即相应于 60MHz 的带宽。这对于远距离传输和磁带录象带来信道容量太宽的严重问题。但随着码率压缩研究的进展,这一缺点正在逐步克服。另一缺点是监视上会增加些困难,它不能把信号直接由图象监视器监视,除非每台监视器中都附有 D/A 转换;也难于象模拟电视那样用波形监视器分析视频特性,只能用间接的方法监视数字损伤、分析误码率与串扰。

1.1 数字电视的发展概况

从六十年代末就开始发展数字电视的研究,研究内容可归纳为两个方面。一是把模拟电视信号数字化后进行远距离传输,着重于研究以压缩码率为中心的高效编码方法;二是电视演播中心的数字化,包括电视设备的数字化和 PCM 编码标准的确定。

数字电视只不过把模拟电视的信号在时间轴和振幅轴上离散化并加以处理,为什么可以这样做,且具有优点呢?从生理上说,人眼对亮度变化速度的感受能力和对亮度幅度细微变化的感受能力都是有一定限度的,因此没有必要在时间轴上和振幅轴上必须连续。在下一章的取样理论中可以证明,利用取样脉冲对时间上连续的信号离散化时,只要取样脉冲频率大于连续信号最高频率的两倍,就可以把离散信号不失真地恢复为连续信号。在振幅轴上经量化离散后的信号也可以通过内插滤波器恢复为幅度上连续的信号,只要在幅度上离散的间距足够小,恢复得到的连续信号仅引入可以忽略的噪声。把连续的模拟信号离散为数字信号,这并不是最终的目的,我们的目的在于以数字信号来代替模拟信号进行达到预定功能要求的各种信号处理,以及存贮、记录和传输。最后虽然仍转换为模拟信号的形式显示出电视图象,但整个过程所引入的图象质量损伤比对模拟信号直接进行处理、存贮、记录和传输所造成的质量损伤要小得多。且有不少的功能要求,若直接用模拟处理是无法实现的。这就是数字电视优于模拟电视的最基本的原因。

模拟的电视信号(包括视频和音频)通过取样、量化然后编码成二进制数字信号的过程称为模-数变换(A/D变换)或PCM(脉冲编码调制)编码,所得到的信号也称为PCM信号,其过程可用图1.1(a)表示。若取样频率等于 f_s 、用 n 比特量化,则PCM信号的码率为 nf_s (bit/s)。PCM编码既可以对彩色全信号直接进行,也可以对亮度信号和二个色差信号分别进行,前者称为全信号编码,后者称为分量编码。

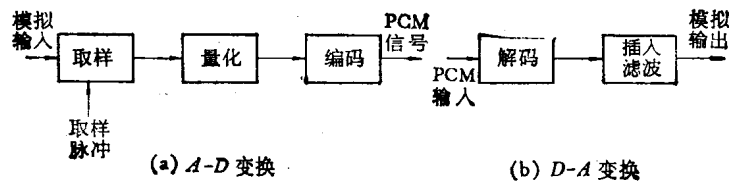


图 1.1 数字编码和解码的简化框图

PCM 信号经解码和插入滤波即可恢复为模拟信号,如图 1.1 (b) 所示。解码是编码的逆过程,插入滤波是把解码后的信号插补为平滑连续的模拟信号。这两个步骤合称为数-模变换 (D/A 变换)或 PCM 解码。

那么,取样频率 f_s 应为多少,才能足以保证恢复的模拟信号不产生取样失真呢? f_s 与不同制式的彩色全信号的副载波频 f_{sc} 或与行扫描频率 f_H 应保持何种关系才能使取样量化过程中可能新引入的噪声对人眼的视觉最小呢? 量化比特数 n 应取多大才能保证因量化引入的噪声小于信号源本身的噪声或不为人眼所觉察呢? 全信号编码方式与分量编码方式从总体来看究竟孰优孰劣呢? 为此必须对 PCM 编码的原理和 PCM 编码参数的确定进行较深入的研究,这将在本书第二章和第三章中论述。

由于数字信号具有很强的抗干扰能力,早在六十年代就进行了电视信号数字化传输的研究。数字化传输的唯一难题是它所占的信道容量远比模拟信号的宽。对于 PAL 全信号,用 3 倍副载波频率取样,8bit 量化,并加上一位误差检验码时,传输码率为: $(8+1) \times 3 \times 4.43 = 120 \text{ Mbit/s}$ 。如果从平均的观点来看,认为组成数码的各码元是“0”与“1”相间的话,带宽是传输码率的一半,即信号的带宽近似为 60MHz。对如此宽带的信号不论对陆上的载波传输或卫星的传输都是不适宜的,一方面是容许的频道有限,另一方面传输设备的造价几乎与带宽是成正比的。对数字录象来说,由于磁介质的限制也难于适应宽频带的要求。因此必须对码率进行压缩。

对码率的有效压缩主要从下述几方面进行。

(1) 对行、场消隐期间不进行数字编码,而在接收端重新形成,这样可压缩 20% 的码率。

(2) 亚奈奎斯特取样。虽然按取样定理,若取样频率 f_s 小于模拟信号最高频率 f_m 的 2 倍会产生混迭失真,但若巧妙的选择取样频率,令取样频谱中的混叠分量落在色度分量和亮度分量之间,就可用梳状滤波器去除混迭成分。第三章中将导出,对 NTSC 来说,取 $f_s = 2f_{sc} \pm f_H/2 \approx 1.6f_m$;对 PAL 信号则取 $f_s = 2f_{sc} \approx 1.48f_m$ 。这样比 $3f_{sc}$ 取样可压缩 1/3 的码率。

(3) DPCM 编码。由于电视信号的相关性,邻近样值的信息很大一部分是相同的,因此只要将其差值信息进行数字编码,这就降低了码率。DPCM 就是将样值幅度与预测幅度(由前几个样值构成)之差进行编码。其中利用帧内相关性(象素间、行间的相关)的 DPCM 称帧内预测编码。如果对亮度信号和两个色差信号分别进行 DPCM 编码,即对亮度信号用较高的取样率和高位数编码,对色差信号用较低的取样率和低位数编码,构成时分复合信号后再进行 DPCM 编码,则使总码率更低。对 $3f_{sc}$ 取样的 PAL 信号来说,码率可降低至 34Mbit/s。英国 BBC 公司和西德 LOVENZ 公司已在 1980 年制成 34.368Mbit/s 的数字电视传输系统,由于这可利用 480 话路 PCM 三次群传输体系,已完全可实用。若利用帧间相关性(邻近帧的时间相关性)的 DPCM 被称为帧间预测编码,因帧间相关性大于帧内相关性,其编码效率更高。若把这两种 DPCM 组合起来,再配之于变字长编码技术,目前在实验室中已可把彩色信号的每样值的比特数压缩到 1 以内。

(4) 变换编码。这是利用图象信号的空间相关性,将几何空间描写的图象信号通过变换矩阵变换到新的正交矢量变换域,然后对变换系数进行高效编码。常用的变换有傅里叶变换、沃西变换、哈达马变换、余弦变换、倾斜变换和黑尔变换等。

上述的各种 DPCM 编码和变换编码将在第四章的信源编码中作详细的讨论。

提高彩色电视的播出质量一直是电视工作者的主要任务之一。从七十年代初开始，欧美各国就开始对电视演播中心设备进行数字化的研究。其发展过程可分为三个阶段。

第一阶段：发展了其功能是模拟设备不能替代的或不理想的单体数字电视设备。

所谓单体设备是指此数字设备附有模拟的输入、输出接口，习惯上称为数字黑盒子的独立的数字电视设备。由于输入与输出仍为模拟全信号，就可在演播中心内与模拟电视设备混合使用。这一阶段可以认为在七十年代末已经完成，主要的数字单体设备有数字时基校正器 (DTBC)、电视制式转换器 (DICE)、帧同步机 (FS)、数字式静止图象存储器 (ESS)、数字噪声抑制器 (DNR)、数字视频效果系统 (DVE) 等。表 1.1 示出了发表第 1 台各类数字电视设备的日期。这些数字电视设备已商品化、性能日臻完善，各国的各广播电视台已广泛使用。

表 1.1 发表第 1 台各类数字电视设备的日期

发表日期	设备名称	发表的公司	备注
1973 年	数字时基校正器 (DTBC)	英国广播公司 (BBC)	指实验样机，首先商品化的是美国 CVS 公司
1973 年	电视制式转换器 (DICE)	英国独立广播公司 (IBA)	由美国 NTSC 信号经卫星送到英国转换为欧洲 PAL 信号
1974 年	帧同步机 (FS)	美国国家广播公司 (NBC)	用于 NBC 电视台，1975 年后在美、日成为商品
1976 年	数字式电子静止图象存储器 (ESS)	美国哥伦比亚广播公司 (CBS) 与 AMPEX 公司	
1977 年	数字式噪声抑制器 (DNR)	法国汤姆逊公司 (THOMSON)	
1978 年	数字视频效果系统 (DVE)	日本 NEC 公司	不计及在帧同步机上附加的一些特技功能。英国夸脱公司与日本 NEC 公司发表的日期相近。

第二阶段：发展其功能与模拟设备基本相同的数字电视设备，为演播中心全数字化奠定基础。

某些模拟电视设备其功能和特性虽为人们所满意，但数字化后在性能和功能上会有所提高。最典型的是录象机的数字化 (DVTR)。早在 1974 年，英国 BBC 公司已发表了固定磁头式的实验性数字录象机。随后美国 AMPEX 公司、日本 SONY 公司、NHK 研究所和西德 BOSH 公司等发表了二磁头或多磁头全信号编码的实验性数字录象机。1981 年英国 IAB、日本 SONY 公司又发表了分量编码的实验数字录象机。DVTR 克服了 VTR 多次复制后使图象质量显著降低的缺点，但由于磁带消耗量尚多于 VTR，至今尚未商品化。电视摄像机的数字化也只剩下由固体摄像管直接输出 R、G、B 数字信号的问题。数字式录象机、数字式摄像机一旦商品化后就为演播中心的全数字化奠定了基础。

第三阶段：演播中心的全数字化

单体数字电视设备的引入，使原来单一性的模拟电视系统转为数字-模拟混合式的电

视系统。当其中串入的数字单体设备的台数增加时,由于每台数字设备都有一次编、解码过程(A/D与D/A),量化噪声就会积累地增加,从而造成图象质量的损伤。这就提出了从摄像机到发射机调制器之间所有处理和操作均是全数字化的问题,各数字设备之间不再是模-数(A-D)与数-模(D-A)接口,而是数-数(D-D)接口。为统一全世界数字电视制式,CCIR(国际无线电咨询委员会)已在1982年通过了关于电视演播中心数字电视信号编码标准的601号建议,推荐了以分量编码取代全信号编码并确定了625行/50场制式与525行/60场制式均可兼容的数字编码参数。601号建议必将促进数字电视技术的发展。预计第三阶段将在九十年代中期完成。本书的第七至第十章着重讨论上述数字电视设备的原理和组成。1981年西德ITT公司已把电视设备中的数字化技术移植到电视接收机的数字化中,这将在本书的第十一章中作为专题讨论。

1.2 数字电视系统的结构

单体数字电视设备最简单的示意框图如图1.2所示。其中图(a)是全信号编解码,图(b)是分量编解码。图中的数字信号处理随不同电视设备的功能要求而异。图(b)与图(a)相比较,虽然增加了A/D与D/A变换的数量,且经过模拟的编解码器会使图象质量有一些损伤,但由于亮度和色差信号分别进行数字处理,可简化处理的复杂性。尤其对于

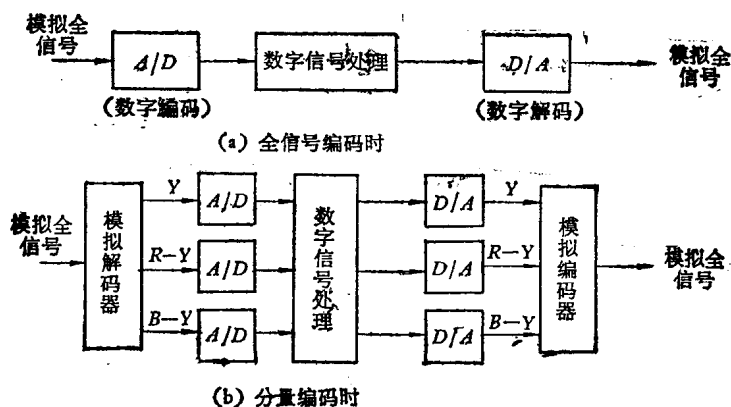


图 1.2 数字电视设备的简化框图

SECAM制来说,由于色差信号对副载频的调制方式是调频,难于采用全信号编码,只能使用分量编码方式。

图1.3(b)是未来演播室全数字化电视系统的组成方框图,图(a)是与之相对应的模拟电视系统方式,图(c)是目前的模拟-数字混合方式。其中虚线表示的是模拟部分,实线表示的是数字部分。在图(b)中,把彩色电视摄像机输出的三基色信号进行直接的数字编码,因此称为直接分量编码方式。图中包括节目切换、节目编辑在内的节目制作技术全部使用数字处理,在记录或远距离传输时进行高效编码。由于从摄像机输出直到发射机调制器,全部是数字信号,不需要图1.2(b)那样的模拟编解码器,因此在整个处理过程中对图象质量的损伤极微。在目前的过渡阶段是采用图(c)的混合方式,若有较多的单体数字设备时,由于每个设备都有A/D与D/A变换器,这既不经济,又因反复编解码会使

图象质量损伤，因此如何快速地将图(c)方式过渡到图(b)方式是数字电视研究者面临

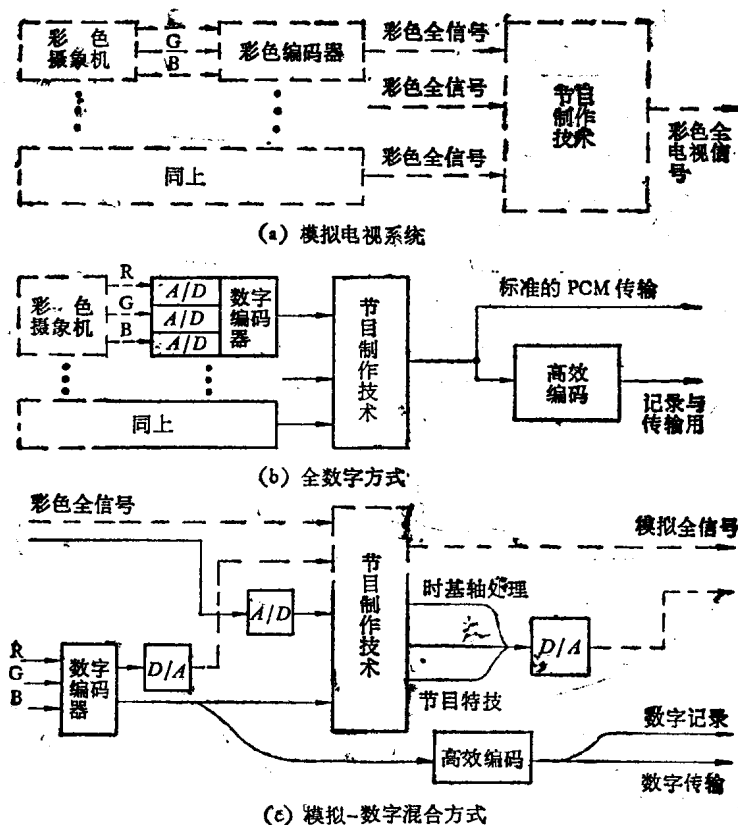


图 1.3 全数字系统、模拟系统与混合系统的方框图

的任务。

图 1.4 是包括传输通道在内的数字电视系统简化方框图。图中，模拟电视信号经过数字编码器变为码流形式的信号，此数字编码器包括取样后的 PCM 编码和压缩码率的信源编码。信源编码即去掉信号中多余度的各种高效编码方式。然后送入信道编码器，

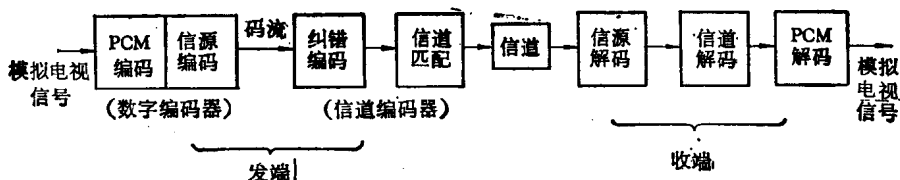


图 1.4 发送-传输信道-接收的数字电视系统方框图

其任务是将码流变成适合于传输的形式，并增加信号在传输中的抗干扰能力。这是因为数码流经长距离传输后不可避免地会引入噪声而发生误码，加之因经过信源编码使码长缩短，误码的作用更为显著。因此，加入纠错码以提高其抗干扰能力，所以信道编码有时也称为纠错编码。但信道编码不完全等于纠错编码，它还须使码流变换成与信道相匹配

的码型。

信道可以是无线通道或有线通道(波导、光缆、同轴电缆等),也可以是短距离的平衡电缆对(使用在台内数字视频处理单元之间的连接)。当信道是无线通道时,信道匹配就代之以调制器(见图 1.5),在收端就先经过一个解调器,调制方法常采用数字调相或数字调频。

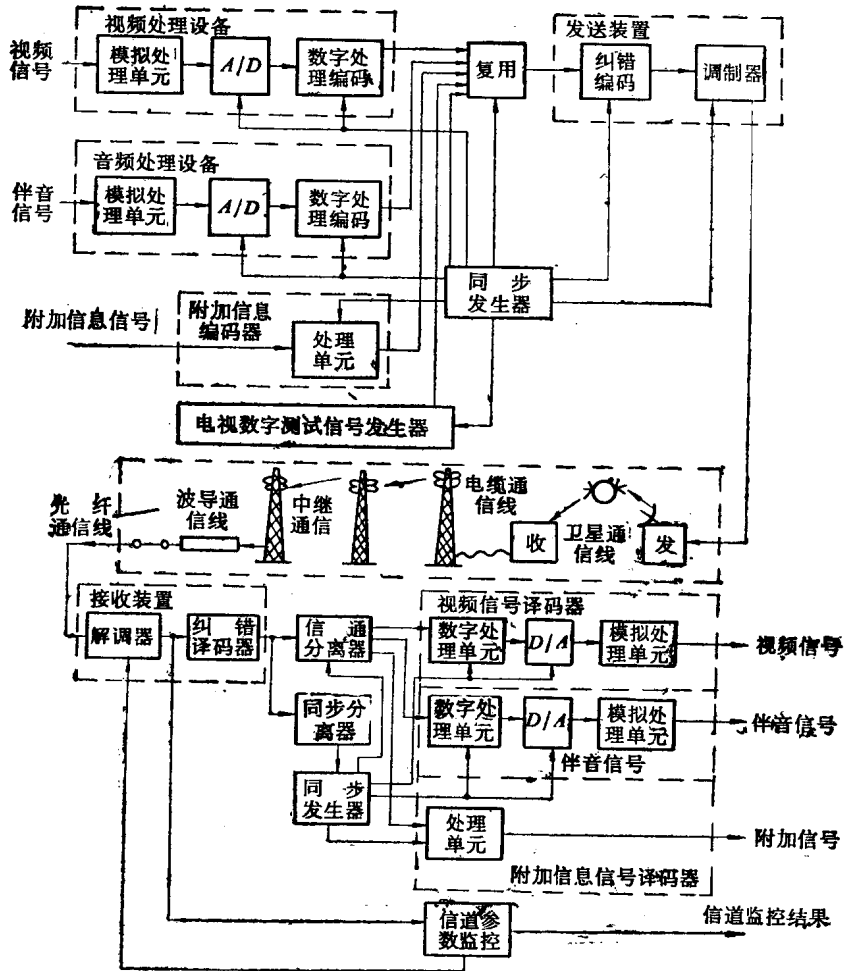


图 1.5 无线传输时数字电视系统的组成实例

必须指出,信源编码不仅用于远距离传输,也用于数字信号的存储和记录,信道编码也用于数字时基校正和数字录像等数字电视设备中。本书中,在第四章讨论信源编码以后,将在第五章中讨论信道(纠错)编码。

图 1.5 是远距离无线传输时数字电视系统的组成方框图,图中利用时分多路的复用器把视频信号、伴音信号、附加信息信号和测试信号组合在一起,利用同步信号再把它们在收端分离开来。

不论是数字电视设备或目前正在研制中的数字电视接收机,其核心是数字信号处理及有关的数字集成电路。数字信号处理电路主要由数字加法器、乘法器、移位寄存器、计数器和存贮器(ROM、RAM)等组成。由于视频 PCM 信号的时钟频率极高,要求响应

时间低于 70 ns、甚至 50 ns,且在处理中常需要 1 行、几行、甚至 1 帧的存储器容量,因此,数字电视技术的发展往往与大规模高速集成电路的发展和价格密切相关。近几年来,高速大规模集成电路的价格直线下降,例如 RAM 存储器的价格在 1978 年时是 0.064 美分/每位,到 1983 年下降了 10 倍,仅为 0.006 美分/每位。这就为数字电视技术的发展提供了条件。本书第六章中将讨论数字信号处理与数字电路。

1.3 数字电视图象质量的主观评价标准

随着电视信号数字化编码和数字处理的迅速发展,提出了评定和测量数字电视信号质量的问题。在模拟电视的早期,制定质量标准和为评价这些质量标准的测试规程是和目前数字电视所面临的问题类似。即首先应订出一个能满足广播电视质量要求的标准。任何客观的质量测试标准,最初都是以得到主观测试结论为基础的。

主观测试有三种类型,第一种是损伤测试,观察者要评出所审定的电视信号的损伤级别。第二种是质量测试,即观察者应评定图象总的的质量等级。第三种是一种比较式的测试,即观察者对一幅给定的图象和另一幅图象应做出质量比较。表 1.2 是 CCIR 在六十年代中期推荐的上述主观测试方式所用的典型分级标准。每一种分级标准的制定都有

表 1.2 主观分级标准

损 伤			质 量			比 较		
	每级的主观质量	采用的国别		每级的主观质量	采用的国别		比较的衡量	采用的国别
5 级 标 准	5——不能觉察	联邦德国 日本等	5 级 标 准	A——优	联邦德国 日本 英国 等	5 级 标 准	+2 好得多	联邦德国 美国 等
	4——刚觉察但不讨厌			B——良			+1 好	
3——有点讨厌	C——中			0 相同				
2——很讨厌	D——次			-1 坏				
1——不能用	E——劣			-2 坏得多				
6 级 标 准	1——不能觉察	英国 EBU 等	6 级 标 准	1——优	美国 EBU 等	7 级 标 准	+3 好得多	EBU 等
	2——刚觉察到			2——良			+2 好	
3——明显觉察,但不妨碍	3——中			+1 稍好				
4——稍有妨碍	4——稍次			0 相同				
5——明显的妨碍	5——次			-1 稍坏				
6——极妨碍(不能用)	6——极次			-2 坏				
							-3 坏得多	

其测试规程,表 1.3 是目前国际上通用的、CCIR 推荐的主观测试规程。进行主观观察的人员一般是经一定训练的非专业人员,也可由专业人员担任。

上述的主观测试标准能够与观察者所看到的图象质量直接联系起来,因此很易定义符合广播质量的信号的标准。例如,对于损伤等级来说,“刚觉察”这一主观等级相当于广播质量,因此对 5 级标准在 4—5 之间、对 6 级标准在 2—1 之间均已满足广播质量。

如此,在数字电视情况下,也就可进行类似的主观测试。例如在对信号进行 PCM 编码的 A/D 转换中,可改变编码中每样值的量化比特数,然后随此参数的变化情况来评定主观图象质量。也可改变取样频率,以确定不同取样率时在图象上产生的损伤量和主观

质量的关系。表 1.4 列出了在数字电视中需进行数字损伤主观测试的参数。在测试中应选择易于表现该种参数损伤的图片。

有了主观测试数据,就可进一步研究客观测试信号。一旦建立了客观测试标准,在评定数字图象质量时就不再每一次去进行较繁琐的主观测试。

表 1.3 CCIR 推荐的主观测试规程

观 察 项 目	观察条件: 场频	
	50 场/秒	60 场/秒
1. 观察距离与图象高度之比	6	4~6
2. 屏幕上的最大亮度 (cd/m ²)	70±10	70±10
3. 显象管不工作(无电子注)时屏幕亮度与最大亮度之比	<0.02	<0.02
4. 黑屋子中显示黑电平时屏幕亮度与显示峰值白时亮度之比	约 0.01	约 0.01
5. 图象监视器的背景亮度与图象峰值亮度之比	约 9~1	约 0~15
6. 房间内的环境照度	低	低
7. 背景色度	白	D65
8. 背景(满足本指标)所对应的立体角与图象所对应的立体角之比		

表 1.4 需数字损伤主观测试的参数

数 字 编 码		信 道
PCM 编码	<ol style="list-style-type: none"> 1. 滤波参数 2. 取样频率 3. 每样值比特数 4. 压扩规律 5. 时钟抖动 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 随机误码率 2. 脉冲误码率 3. 突发脉冲持续期 4. 时钟的抖动 5. 码位的相位和幅度 6. 码时钟(位同步)的失落
DPCM 编码	<ol style="list-style-type: none"> 1. 预测算法 2. 压扩规律 3. 反馈环中每样值所含比特数 4. 环形滤波器的参数 	
变换编码	<ol style="list-style-type: none"> 1. 所用的系数数目 2. 各系数的压扩规律 3. 各系数的比特数 4. 滤波器的参数 	

第二章 PCM 编码原理^[5,6]

从上一章知,所谓 PCM 编码就是把视频或音频等模拟信号通过取样、量化和二进制数字编码等三个阶段,变换成在时间和幅度上都是离散的脉冲编码信号。本章详细讨论这三个阶段的过程,以及在此过程中引入的各种噪声和失真。在此基础上,下一章中根据视觉和听觉上的生理特点,使这些噪声和失真以不为人所觉察为条件,来确定视频和音频的编码参数。不论数字视频设备、数字音频设备以及数字传输系统,都是以这些编码参数作为设计的依据的。

2.1 取样及取样噪声

取样是模拟信号在时间轴上的离散过程。从下面导出的取样定理可知,理想取样时,只要取样频率大于或等于模拟信号中最高频率的 2 倍,就可不失真地恢复模拟信号。也就是说,在此条件下,在时间轴上离散的信号包含有离散前模拟信号的全部信息。其生理依据是人快速变化信号的感受能力(眼、耳)是有一定极限的,其实,电视系统的本身,通过扫描已经把图象信息在空间(行间)和时间(帧间)上离散化了,但人眼的感觉却是连续的。

2.1.1 取样及奈奎斯特准则

在图 2.1 中,图 (a) 为在时间轴上连续的模拟信号 $f(t)$,其最高频率为 f_m 。图 (d) 是 $f(t)$ 的频谱 $F(\Omega)$,最高角频率 $\Omega_m = 2\pi f_m$ 。现由图 (b) 所示的间隔为 T 的冲激函数序列 $\delta_T(t)$ 对 $f(t)$ 取样,冲激函数序列定义为:

$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \quad (2-1)$$

式中,间隔 T 为取样周期,其倒数即取样频率: $f_s = 1/T$ 。取样后的信号 $f_s(t)$ 如图 (c) 所示,可表示为

$$\begin{aligned} f_s(t) &= f(t) \cdot \delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(t) \delta(t - nT) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(nT) \delta(t - nT) \end{aligned} \quad (2-2)$$

其频谱可由 $f(t)$ 的频谱 $F(\Omega)$ 及 $\delta_T(t)$ 的频谱 $\Delta_T(\Omega)$ 卷积得

$$F_s(\Omega) = \frac{1}{2\pi} [F(\Omega) * \Delta_T(\Omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\tau) \Delta_T(\Omega - \tau) d\tau \quad (2-3)$$

因为冲激序列 $\delta_T(t)$ 的频谱函数 $\Delta_T(\Omega)$ 也为冲激序列,即

$$\Delta_T(\Omega) = \mathcal{F}[\delta_T(t)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Omega_s \delta(\Omega - n\Omega_s) \quad (2-4)$$

如图 (c) 所示。把上式代入式 (2-3) 得

$$\begin{aligned}
 F_s(\Omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\tau) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Omega_s \delta(\Omega - \tau - n\Omega_s) d\tau \\
 &= \frac{\Omega_s}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(\tau) \delta(\Omega - \tau - n\Omega_s) d\tau \\
 &= \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(\Omega - n\Omega_s)
 \end{aligned} \tag{2-5}$$

此取样信号频谱 $F_s(\Omega)$ 示出在图 (f) 中, 图中是 $\Omega_s = 2\Omega_m$ 时的情况。

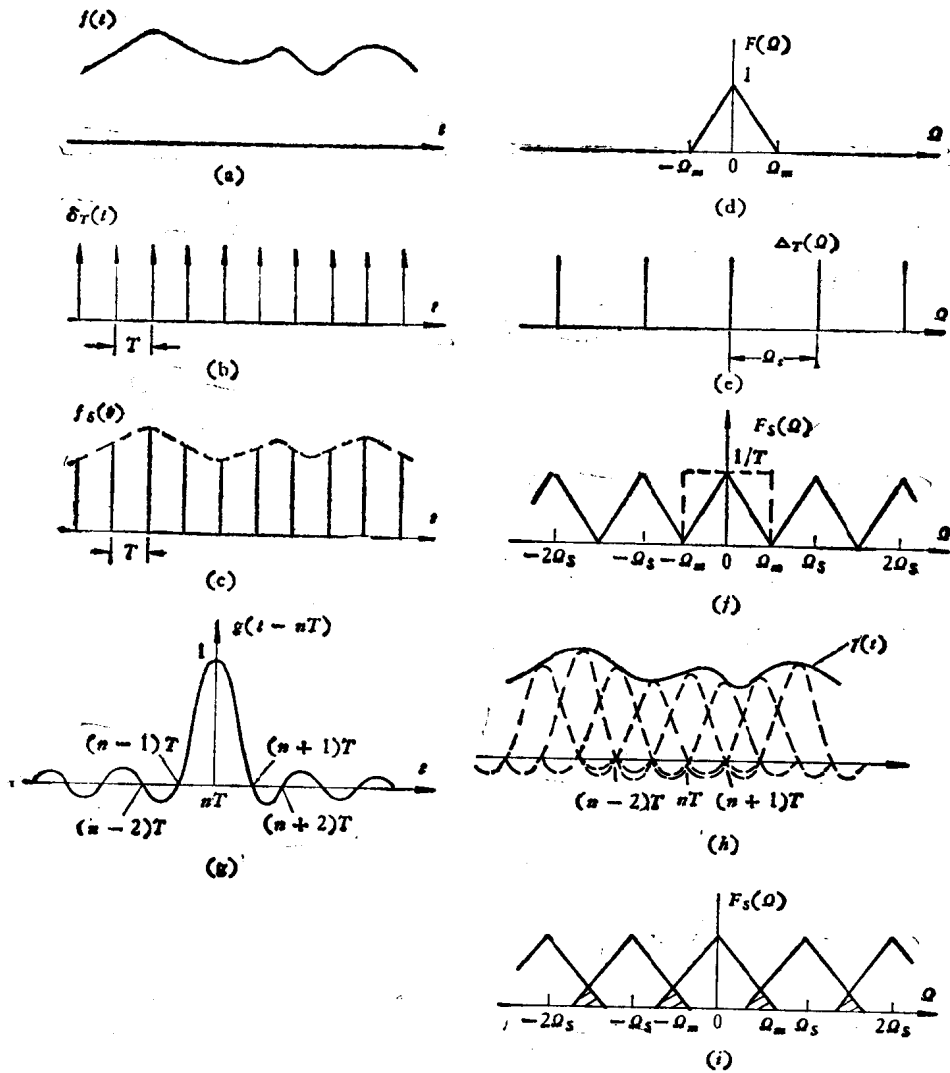


图 2.1 取样及其频谱和内插恢复

由式 (2-5) 及图 (d)、(f) 可见, 取样信号 $f_s(t)$ 的频谱 $F_s(\Omega)$ 是原信号 $f(t)$ 的频谱 $F(\Omega)$ 的以 Ω_s 为周期的周期性延拓, 或是把 $F(\Omega)$ 调制在冲激序列 $\delta_T(t)$ 的线

谱(以 Ω_s 为间隔)上,但幅度为 $1/T$ 倍。由图可知, $F_s(\Omega)$ 包含了取样前的信息 $F(\Omega)$, 因此只要通过一个截止角频率为 $|\Omega| = \frac{1}{2} |\Omega_s|$ 的理想低通滤波器,如图 (f) 的虚线所示,就可能把模拟信号的信息 $F(\Omega)$ 不失真地恢复出来。

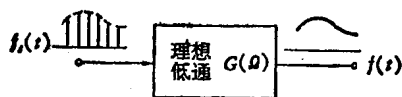
但若 $\Omega_s < 2\Omega_m$, 则取样信号的频谱如图 (i) 所示, 基带频谱与调制频谱间形成影线所示的混叠, 此时即使用截止角频率为 $\left|\frac{\Omega_s}{2}\right|$ 的理想低通滤波器, 因恢复出来的信号包括混叠分量, 就产生了混叠失真。因此不失真取样的条件是取样频率应大于或等于模拟信号最高频率的 2 倍: $\Omega_s \geq 2\Omega_m$, 或 $f \geq 2f_m$ 。这称为奈奎斯特取样准则, 而把 $f_s = 2f_m$ 时的频率称之为折叠频率。

2.1.2 内插恢复

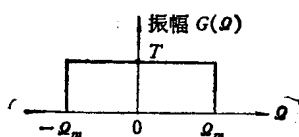
如前所述, 若取样时满足奈奎斯特取样准则, 即 $\Omega_s \geq 2\Omega_m$, 就可用如图 2.1 (f) 中虚线所示特性的滤波器把模拟信号的信息 $F(\Omega)$ 不失真地恢复出来。更严格地说, 满足取样准则的取样信号 $f_s(t)$ 可由图 2.2 的理想低通滤波器, 无混叠失真地恢复为模拟信号 $f(t)$ 。

图中, 理想低通滤波器的幅频特性可表示为

$$G(\Omega) = \begin{cases} T, & |\Omega| < \Omega_m \\ 0, & |\Omega| \geq \Omega_m \end{cases} \quad (2-6)$$



(a) 恢复过程



(b) $G(\Omega)$ 的振幅特性

图 2.2 从 $f_s(t)$ 中恢复出 $f(t)$

对上式进行傅里叶反变换, 可求得冲激响应为:

$$\begin{aligned} g(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(\Omega) e^{j\Omega t} d\Omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\Omega_m}^{\Omega_m} T e^{j\Omega t} d\Omega \\ &= \frac{T}{2\pi jt} (e^{j\Omega_m t} - e^{-j\Omega_m t}) = \frac{T\Omega_m}{\pi} \frac{\sin \Omega_m t}{\Omega_m \cdot t} \end{aligned} \quad (2-7)$$

它与输入 $f_s(t)$ 的卷积就是低通的输出 $f(t)$, 利用式 (2-2) 可得:

$$\begin{aligned} f(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} f_s(\tau) g(t - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} f(\tau) \delta(\tau - nT) \right] \\ &\quad \cdot g(t - \tau) d\tau = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) g(t - \tau) \delta(\tau - nT) d\tau \end{aligned}$$