

SHU ZI DIAN SHI YOU XIAN CHUAN SHU YUAN LI YU WEI XIU

数字电视有线

传输原理与维修

○ 刘修文 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



数字电视有线传输原理与维修

刘修文 编



机械工业出版社

本书较全面地介绍了数字电视的基础知识、数字压缩技术、数据通信技术和宽带网络技术，重点突出数字电视有线传输与接收技术，以及排除有线数字电视故障的思路、方法与实例。书中还对网络电视、交互式电视、流媒体技术作了相应的介绍。

本书力求以浅显、易懂的语言，讲清深奥、抽象的理论知识，使广播电视系统及相关专业的技术人员能够一看就懂，懂了会用。本书适合从事有线电视技术和通信技术工作的人员阅读，是广播电视系统技术培训的参考教材。也可供广播电视学校及大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电视有线传输原理与维修/刘修文编. —北京: 机械工业出版社, 2006.9

ISBN 7-111-19833-6

I. 数... II. 刘... III. 数字电视: 有线电视—数字信号传输
IV. TN943.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 100956 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 牛新国 版式设计: 冉晓华 责任校对: 王欣
封面设计: 马精明 责任印制: 李妍
北京中兴印刷有限公司印刷

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.75 印张 · 435 千字

0001—4000 册

定价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294
编辑热线电话(010)88379768
封面无防伪标均为盗版

前 言

有线数字电视涉及到数据通信、宽带网络工程、流媒体传输和数据库等技术，其内容涵盖 HDTV、IPTV、交互式电视与数据广播。随着社会需求的不断增长和科学技术的飞速发展，有线电视网络正在逐步演变成具有综合信息传输交换能力、能够提供多功能服务的宽带交互式多媒体网络，它将融合在信息高速公路中，成为未来信息网络不可缺少的组成部分。我国数字电视整体平移的时间表已经确定，到 2015 年全部转换完成，模拟电视节目将停止播出。为适应我国有线电视事业的发展、满足广播电视系统工程技术人员在新形势下进行业务学习的需求，本人根据近年从事有线电视实用维修技术培训班的讲义，参考大量国内最新专业书刊及相关资料，编写《数字电视有线传输原理与维修》一书，并在广播电视系统培训班试用后修改定稿。

本书的最大特点是结合市、县级广播电视工程技术人员的实际水平，从维修角度出发，深入浅出地介绍了数字电视基础知识、数据通信技术和宽带网络技术，重点突出数字电视有线传输与接收技术，以及排除有线数字电视故障的思路、方法与实例。同时书中还对网络电视、交互式电视、流媒体技术作了相应的介绍。作者力求以浅显的语言，讲清深奥、抽象的理论知识，使一般广播电视系统及相关专业的技术人员能够一看就懂，懂了会用。本书适合从事有线电视技术和通信技术工作的人员阅读，是广播电视系统技术培训的参考教材。也可供广播电视学校及大专院校相关专业的师生参考。

全书共 6 章，第 1 章全面介绍了数字电视基础知识，第 2 章介绍了有线数字电视节目平台的建设，第 3 章介绍了数字电视有线传输技术，第 4 章介绍了数字电视有线传输网络技术，第 5 章介绍了有线数字电视接收技术，第 6 章介绍了有线数字电视故障分析与检修。

在湖北省广电培训中心举办的全省有线电视实用维修技术培训班期间，学员曾对本书初稿提出了修改补充意见，并且为使书中内容能够反映国内有线数字电视技术的发展动态，作者查阅并引用了《中国有线电视》、及《广播电视信息》等专业技术刊物中的有关资料。在此，对各地学员及多年来对我关心帮助、精心指导的《中国有线电视》杂志社李明德总编及其他同行、专家表示衷心感谢，对参考文献的作者表示诚挚的谢意。

鉴于有线数字电视技术日新月异地发展，以及作者水平有限，书中难免存在疏漏与不足，殷切希望读者不吝赐教。

电子邮箱：hnyxlw@21cn.com

作者
2006 年 8 月

目 录

前言

第 1 章 数字电视基础 1

- 1.1 数字电视的有关概念 1
- 1.2 数字电视的优点 7
- 1.3 视频压缩编码 8
 - 1.3.1 视频信号压缩的可能性 8
 - 1.3.2 视频压缩编码的种类与特点 9
 - 1.3.3 基本的视频压缩编码方法 10
 - 1.3.4 MPEG-2 视频压缩编码标准简介 14
 - 1.3.5 MPEG-4 视频压缩编码标准简介 17
 - 1.3.6 AVS 数字视频编码标准简介 19
 - 1.3.7 新的视频压缩编码标准 H.264 23
- 1.4 音频压缩编码 28
 - 1.4.1 音频信号压缩的可能性 28
 - 1.4.2 MPEG-1/2 音频压缩编码 30
 - 1.4.3 AAC 音频压缩编码 33
 - 1.4.4 AC-3 音频压缩编码 34
- 1.5 信道编码 35
 - 1.5.1 信道编码基础 35
 - 1.5.2 能量扩散 37
 - 1.5.3 RS 编码 38
 - 1.5.4 数据交织 40
 - 1.5.5 卷积编码 41

第 2 章 有线数字电视节目平台的建设 45

- 2.1 有线数字电视广播系统的组成 45
 - 2.1.1 有线数字电视广播系统组成框图 45
 - 2.1.2 MPEG-2 传输复用包的形成 47
 - 2.1.3 数字电视广播系统中的业务信息 48
 - 2.1.4 数据随机化和同步取反 49
 - 2.1.5 字节到符号的映射 51
 - 2.1.6 QAM 调制 52

- 2.2 数字电视前端的组成与调试 52
 - 2.2.1 信号输入部分 53
 - 2.2.2 信号处理部分 54
 - 2.2.3 信号输出部分 55
 - 2.2.4 系统管理部分 56
 - 2.2.5 数字电视前端的调试 56
- 2.3 部分省、市数字电视前端简介 57
 - 2.3.1 湖北省数字电视前端 57
 - 2.3.2 大连市数字电视前端 60
 - 2.3.3 福建漳州市数字电视前端 62
 - 2.3.4 浙江台州市数字电视前端 65
- 2.4 视频服务器 66
 - 2.4.1 视频服务器的功能 66
 - 2.4.2 视频服务器数据存储结构 67
 - 2.4.3 视频服务器的基本类型 69
 - 2.4.4 视频服务器的接口 70

第 3 章 数字电视有线传输技术 72

- 3.1 数字信号传输概论 72
 - 3.1.1 数字信号传输常见问题 72
 - 3.1.2 数字信号的基带传输 74
 - 3.1.3 数字信号的载波调制与传输 76
- 3.2 基于 SDH 的有线数字电视传输技术 79
 - 3.2.1 基础知识 80
 - 3.2.2 STM-1 (基帧) 与 STM-N 帧结构 83
 - 3.2.3 图像、音频数字信号复用与 SDH 传输系统的组成 86
 - 3.2.4 自愈环网介绍 88
 - 3.2.5 SDH 网络应用的新技术 89
 - 3.2.6 SDH 技术在广电传输网中的应用 92
- 3.3 数据通信基础 94
 - 3.3.1 数据通信系统的组成 94
 - 3.3.2 数据通信过程 95
 - 3.3.3 数据传输方式 95
 - 3.3.4 数据通信媒体 96

3.4 数据交换技术.....	100	4.5 宽带 IP 城域网	153
3.4.1 交换的概念.....	100	4.5.1 广电宽带 IP 城域网系统结构	153
3.4.2 电路交换.....	101	4.5.2 广电宽带 IP 城域网采用的技术	154
3.4.3 报文交换.....	102	4.5.3 TCP/IP 协议体系	155
3.4.4 分组交换.....	103	4.5.4 新一代网际协议 IPv6	160
3.4.5 ATM 交换技术	104	4.5.5 IPTV 技术在广电的应用	164
3.5 多路复用与多址方式.....	110	4.6 宽带接入网.....	168
3.5.1 波分复用技术.....	111	4.6.1 宽带接入网概述.....	168
3.5.2 密集波分复用技术.....	111	4.6.2 有线接入方式.....	169
3.5.3 频分复用技术.....	112	4.6.3 HFC 接入技术	170
3.5.4 时分复用技术.....	112	4.6.4 以太网接入技术.....	172
3.5.5 空分复用技术.....	112	4.6.5 光纤接入网技术.....	176
3.5.6 副载波复用技术.....	112	4.6.6 基于电话双绞线的 ADSL 接入.....	179
3.5.7 HFC 网上行通道的多址方式	113	第 5 章 有线数字电视接收技术	181
3.6 流媒体技术.....	113	5.1 有线数字电视机顶盒.....	181
3.6.1 流媒体概念.....	113	5.1.1 有线数字电视机顶盒的组成.....	181
3.6.2 流媒体系统结构.....	114	5.1.2 一体化调谐解调器.....	182
3.6.3 流媒体系统的选择.....	115	5.1.3 单片式解复用与解码器芯片.....	186
3.6.4 流媒体缓存技术.....	116	5.1.4 音频 D/A 转换器	192
3.6.5 流媒体传输技术.....	117	5.1.5 同洲 CDVBC2200 型有线数字电视 机顶盒的组成及工作原理.....	193
3.6.6 流媒体的播放方式.....	118	5.1.6 清华同方 DVB—C2000 型有线数字 电视机顶盒的组成及工作原理.....	197
3.6.7 流媒体传输与控制协议.....	119	5.1.7 九州 DVC—2008CT 型有线数字电视 机顶盒的组成及工作原理.....	199
3.6.8 流媒体技术的应用.....	120	5.2 条件接收系统.....	200
第 4 章 数字电视有线传输网络技术	122	5.2.1 条件接收系统的有关概念.....	200
4.1 数据通信网的基础知识.....	122	5.2.2 MPEC-2 以及 DVB 标准中有关 CAS 的规定	201
4.1.1 数据通信网的拓扑结构.....	122	5.2.3 条件接收系统的组成和工作 原理.....	202
4.1.2 网络体系结构标准化.....	124	5.2.4 DVB 条件接收系统的主要技术 特点.....	204
4.1.3 网络协议.....	127	5.2.5 数字电视广播条件接收系统行业 规范.....	207
4.2 数据通信宽带网.....	127	5.2.6 条件接收系统的机卡分离方案.....	210
4.2.1 宽带网的概念.....	127	5.3 交互式电视接收.....	211
4.2.2 综合业务数字网.....	128	5.3.1 交互式电视的主要实现形式.....	211
4.2.3 宽带综合业务数字网.....	130	5.3.2 交互式电视系统的组成.....	212
4.3 广电城域网.....	132	5.3.3 交互电视的体系结构.....	213
4.3.1 网络建设目标.....	132	5.3.4 视频点播.....	215
4.3.2 网络结构与传输信道.....	134	5.3.5 中央电视台交互电视广播系统.....	216
4.4 双向 HFC 广电城域网	137		
4.4.1 HFC 网的宽带城域网的特点	137		
4.4.2 双向 HFC 城域网系统结构	138		
4.4.3 双向 HFC 网的传输设备	140		
4.4.4 双向 HFC 网的设计	142		
4.4.5 双向 HFC 网上行通路的调试	143		
4.4.6 双向 HFC 网数据传输标准	149		

5.3.6 交互式电视机顶盒的组成·····	219	6.3.1 信道平均功率的测量·····	234
5.4 数据广播接收·····	220	6.3.2 平均符号速率的测量·····	234
5.4.1 数据广播的概念·····	220	6.3.3 邻频功率的测量·····	235
5.4.2 DVB 数据广播技术及其应用 ·····	220	6.3.4 IQ 星座图的测量 ·····	236
5.4.3 QPSK 调制方式的高速数据广播 系统·····	223	6.3.5 调制精确度的测量·····	236
5.4.4 数字信息点播系统·····	224	6.3.6 误符号率、载噪比和系统余量的 测量·····	236
第 6 章 有线数字电视故障分析与 检修 ·····	226	6.3.7 均衡器冲激响应的测量·····	237
6.1 有线数字电视传输网络故障分析与 检修·····	226	6.3.8 信道频率响应的测量·····	237
6.1.1 数字电视信号的性能参数·····	226	6.3.9 信道相位响应的测量·····	238
6.1.2 各项性能指标对数字信号的 影响·····	227	6.3.10 信道群时延的测量 ·····	238
6.1.3 有线数字电视传输故障检修 实例·····	228	6.3.11 RS 码的误字节/误码率、误数据 包率的测量 ·····	239
6.2 有线数字电视接收故障分析与检修·····	230	附录 ·····	240
6.2.1 数字电视机顶盒常见故障分析与 检修·····	230	附录 A 有线数字电视广播信道编码与调制 规范 ·····	240
6.2.2 有线数字电视接收故障检修 实例·····	232	附录 B 数字电视图像质量主观评价方法 ···	247
6.2.3 线缆调制解调器 (Cable Modem) 常见故障分析与检修·····	233	附录 C 数字电视广播业务信息规范简介 ···	252
6.3 DVB-C 系统指标测量 ·····	234	附录 D 推进试点单位有线电视数字化整体 转换的若干意见 (试行) ·····	258
		附录 E 有线数字电视技术常用缩略语 ·····	259
		参考文献 ·····	275

第 1 章 数字电视基础

数字电视就是用数字信号表示图像信息。从广义上讲,数字电视是用数字方式摄取、记录、处理、传输、接收和显示电视信号。数字电视利用了先进的数字图像压缩技术、数字信号纠错编码技术、高效的数字信号调制技术等,在处理、传输信号过程中引入的噪波,只要幅度不超过一定的门限,都可以被清除掉;即使有误码,也可利用纠错技术纠正过来。所以,数字电视接收的图像质量较高。数字电视采用压缩编码技术,在只能传输一套模拟电视节目的频带内可传输多套数字电视节目,使电视频道数迅速增多。数字电视便于开展多种数字信息服务,如数据广播、文字广播等;数字电视容易实现加密、加扰,便于开展各类收费业务。本章在介绍数字电视基本概念后,着重介绍信源编码与信道编码。

1.1 数字电视的有关概念

1. 数字电视

数字电视是指包括节目摄制、编辑、发送、传输、存储、接收和显示等环节全部采用数字处理的全新电视系统。也可以说数字电视是在信源、信道、信宿 3 个方面全面实现数字化和数字处理的电视系统。其中电视信号的采集(摄取)、编辑加工、播出发送(发射)属于数字电视的信源,传输和存储属于信道,接收端与显示器件属于信宿。

数字电视采用了超大规模集成电路、计算机、软件、数字通信、数字图像压缩编解码、数字伴音压缩编解码、数字多路复用、信道纠错编码、各种传输信道的调制解调以及高清晰显示器等技术,它是继黑白电视和彩色电视之后的第三代电视。

数字电视按其传输途径可分为 3 种:卫星数字电视(DVB-S)、有线数字电视(DVB-C)和地面数字广播电视(DVB-T)。

数字电视按其传输视频(活动图像)比特率的大小粗略划分为 3 个等级,即普及型数字电视(PDTV)、标准清晰度数字电视(SDTV)、高清晰度数字电视(HDTV)。普及型数字电视的视频比特率为 1~2Mbit/s,显示清晰度约 300 线;标准清晰度电视的视频比特率为 3~8Mbit/s,显示清晰度为 350~600 线;高清晰度数字电视采用隔行扫描,视频比特率为 18~20Mbit/s,显示清晰度为 700~1000 线。其中 PDTV 是属于 SDTV 的最低等级,是针对中国国情而专门命名的,美国和欧洲在 SDTV 和 HDTV 之间,都分别有增强清晰度电视(EDTV)。

2. 数字化电视

数字化电视(或称数码电视)在现有模拟彩色电视机的电路中采用了多种数字化处理技术,数码 100Hz 扫描技术、3D/5D 数字化图像处理技术、I²C 数字总线技术、数字画中画技术和 NICAM 数字伴音技术等。采用了这些数字处理技术的彩色电视机,获得了更好的图像、声音质量,增加了电视机的功能。从本质上讲数字化电视仍属于模拟电视的范畴。

数字化电视与模拟电视相比,有如下优点:

- (1) 采用场频加倍技术, 消除了目前 50Hz 场频带来的大面积闪烁感, 对眼睛有益;
- (2) 实现了逐行扫描, 去除行间闪烁, 提高图像垂直清晰度, 可成为计算机的显示器;
- (3) 采用数字降噪技术, 可减轻画面噪点;
- (4) 采用数字梳状滤波器, 使亮度与色度信号完全分离, 消除了亮色串扰现象;
- (5) 便于实现画中画、画外画、静止画面等新功能。

数字化电视与数字电视二者之间最大区别是数字化电视接收的是模拟电视信号, 无法接收数字电视信号; 二者的共同点是在电视接收部分采用了数字化处理技术。

3. 高清晰度电视

高清晰度数字电视 (HDTV) 是目前世界上发达国家积极开发应用的高新电视技术, 它采用数字信号传输技术, 比普通模拟电视信号传输具有更强的抗干扰性能; 图像的清晰度显著提高; 接收图像的宽高比为 16:9; 配合多声道数字伴音, 可达到 35mm 宽银幕电影的放映效果。

CCIR (国际无线电咨询委员会, 现改名为 ITU) 的 801 报告中对 HDTV 的定义是: “高清晰度电视系统的设计, 要求使观看者在大约屏面高度的 3 倍距离处能看到或接近看得到清晰细节的程度, 达到与视力正常的观看者在看原始景物相同的感受”。报告中以观看距离为屏面高度 3 倍的依据, 是根据人眼视觉的空间频率特性 (即人眼对单位空间里按黑白顺序排列的不同频率条纹的视觉敏感度) 得来的, 当空间频率超过一定值后, 就感觉不出有明暗条纹的变化, 而成了融合在一起的连续亮光, 这个上限空间频率就相当于视力, 可以用人眼的平均最小分辨角 (能分辨出相邻黑白线条所对应的最小视角) 来表示, 约为 1 分弧度 (相当于医学上视力 1.0)。

2005 年 9 月 1 日, 中央电视台开办了高清晰度电视频道, 并率先在青岛、杭州有线数字电视中播出, 使两城市居民在全国率先享受到高清频道服务。我国首个数字高清电视频道——央视“高清影视”频道已于 2006 年 1 月正式在全国范围内播出, 这也是全球第一个中文高清数字频道。“高清影视”频道是利用高清数字技术制作和播出的付费频道, 清晰度可以达到 DVD 的两倍。2006 年元旦, 上海正式开通“新视觉”高清电视频道, 并于 2006 年 2 月 1 日通过卫星向全国播出。

4. 有线数字电视

有线数字电视指利用有线电视传输网络, 将数字节目源 (如果是模拟节目源要先经模拟/数字转换电路变成数字节目源) 经过编码调制, 送到用户终端的数字解码接收机 (又称机顶盒)。数字解码接收机可输出视频、音频信号, 也可输出射频信号供现有的模拟电视机收看。

国家广播电影电视总局 2003 年制定了我国的数字电视发展规划: 到 2005 年我国有线数字电视用户超过 3000 万户, 全国 1/4 的电视台将发射和传输数字电视信号, 2006 年启动直播卫星业务; 2010 年, 全国将全面实现数字广播电视; 东部相对发达地区将普及数字电视; 2015 年, 全国将停止模拟广播电视的播出。

2003 年 5 月, 国家广播电影电视总局发布了《我国有线电视向数字化过渡时间表》, 按照东部、中部、西部 3 个区域, 分 2005 年、2008 年、2010 年、2015 年 4 个阶段全面实现有线电视数字化。即到 2005 年, 直辖市、东部地区 (包括广东、福建、江苏、浙江、山东) 的地 (市) 以上城市、中部地区 (包括湖南、湖北、海南、四川、安徽、江西、广西、河南、河北、山西、陕西、辽宁、吉林、黑龙江) 的省会城市和部分地 (市) 级城市、西部地

区(包括新疆、西藏、青海、宁夏、甘肃、内蒙古、云南、贵州)的部分省会城市的有线电视完成向数字化过渡;到2008年,东部地区县以上城市、中部地区地(市)级城市和大部分县级城市、西部地区部分地(市)级以上城市和少数县级城市的有线电视基本完成向数字化过渡;到2010年,中部地区县级城市、西部地区大部分县以上城市的有线电视基本完成向数字化过渡;到2015年,西部地区县级城市的有线电视基本完成向数字化过渡。采取分区分片整体平移的过渡办法。在一个HFC有线电视网中,以最后一级光节点为单位整体向数字平移,即在最后一级光节点所带用户每户至少配置一个机顶盒后,可以在该光节点关闭模拟信号。以此类推,当所有光节点都关闭模拟信号后,整个有线电视网就可以停止传输模拟信号。对于还未进行光缆改造的有线电视网,要求先进行光缆改造再向数字化过渡。

国家广电总局2005年9月底在太原召开“全国城市有线电视数字化试点工作现场会”,广电总局副局长张海涛曾表示,全国各试点城市和单位已从过去的等待观望转变为实际行动,北京、重庆、天津、广州、珠海等城市已经启动整体转换工作,包头、遵义等中西部地区城市也进入了整体转换的阶段。与此同时,一些省份开始行动起来,山西、广西、湖南、广东等省区已举行了物价听证会或者正在进行物价听证。广西近期将在南宁、梧州开始进行整体转换试点,2006年将在全区市地城市推开。“有线电视数字化推进工作已从过去青岛、佛山、杭州几个点向面上发展,从东部向西部延伸。”

2005年10月15日,国家广播电影电视总局在青岛市举行青岛有线电视数字化整体转换竣工仪式,这标志着青岛成为全国第一个完成有线电视数字化整体转换的城市。整体转换完成后,青岛有线数字电视陆续推出的多项新业务将包括高清晰度数字电视、专业付费频道,以及电视商务、电视短信、电视游戏等。

2006年5月17日,国家广电总局在深圳召开了全国有线电视数字化试点,推进工作现场会,总局局长王太华向深圳市授予了“全国有线数字电视示范城市”牌匾。2006年5月18日,深圳互动数字电视(iTV)正式投入商业试运营,从此给每个家庭提供了全新的生活方式。

5. 付费电视

付费电视不同于现有的基本公益电视。它以满足人民群众个性化、多样化、多层次的文化需求为根本目的,以频道专业化、对象化为重要标志,以收取用户服务费用为主要盈利方式。也就是说,它利用加密技术限制未付费的用户收看,只有付费的用户才可坐在家中点播自己想看到的电视节目。付费电视在国外已经存在20多年,我国于2003年9月1日开始试播付费电视。到2005年8月底,经国家广电总局批准的付费电视频道已达122套,已开播94套。

与公益电视不同,付费电视属于市场行为。收看付费电视必须具备两个条件。一是有老百姓愿意付费收看的节目内容,二是要有能够实施用户管理的数字电视机顶盒。据调查现在有70%的有线电视用户能够接受付费电视。

现在很多西方国家的数字电视业务都在采用按次付费(IPPV),用户将购买的储值卡插在机顶盒上就可以看付费电视节目,拔掉就看不到了。现在,新的方式是足球频道使用足球专用卡、电影频道使用电影专用卡,用这种储值卡概念在欧洲经营这方面的业务。用这种方式,一个是减低了管理成本,就是对每个用户管理的成本,同时对节目业务经营也是一个非常灵活的方式。解决多个运营商面对一个机顶盒的问题。

6. 模拟信号数字化

模拟信号数字化要经过采样、量化、编码3个过程,形成二进制数字信号,这3个过程

总称为脉冲编码调制 (PCM), 如图 1-1 所示。

采样是在时间上将模拟信号离散化。其方法是采用脉冲幅度调制, 即用模拟信号对一串等幅脉冲进行幅度调制, 将模拟信号变成幅度与其相似的一系列脉冲, 两脉冲的间隔称为采样时间间隔 T (单位为 s), 脉冲的重复频率称为采样频率。为了保证采样精度, 通常采样脉冲宽度 τ 应远少于采样间隔 T , 采样频率应大于或等于 2 倍模拟信号的最高频率, 这就是通常所说的采样定理 (即奈奎斯特定理)。1982 年国际无线电咨询委员会 (CCIR) 通过了第一个关于演播室彩色电视信号数字编码的建议, 即 601 号建议书, 规定亮度信号采样频率为 13.5MHz。两个色差信号采样频率为 6.75MHz。

量化是在幅度上将模拟信号变为离散值的数字信号, 通常将一组连续的幅度值四舍五入转化成一组有限的量化电平。量化电平一般用一个二进制来表示。由于

量化时把某一幅值范围的信号都用某一中间电平表示, 显然量化输出电平与原采样值存在误差, 这个误差电压会在接收端恢复图像的画面出现颗粒状的细斑, 称为颗粒噪声或量化噪声。量化噪声是量化过程中带来的, 但量化分级越密, 即量化比特数越高, 量化误差越小, 恢复图像的信噪比越高。理论分析证明, 当量化是均匀的, 信噪比与量化比特数 n 的关系是

$$S/N \approx 10.8 + 6.02n \quad (\text{dB})$$

将模拟信号数字化的第三步是编码。经过采样, 量化后, 模拟信号已经变成了离散的脉冲序列, 但量化输出的信号是用十进制表示的离散量化电平, 为了发挥数字通信的优点, 必须将要传输十进制量化电平变换成二进制量化电平, 即用 n 比特 (bit) 二进制码表示已经量化电平值。例如, 一个二进制码 “110”, 是 3bit 的二进制码, 代表十进制量化电平 6。

7. 信源编码

信源编码就是在原始图像信号中移去自然存在的冗余度, 以达到用尽可能少的数码来有效地表示图像信号, 从而降低码率, 压缩频带, 所以信源编码又称为压缩编码。由 PCM 形成的数字图像信号是离散的信号, 但由于图像信号具有很强的相关性, 因而由原始图像信号

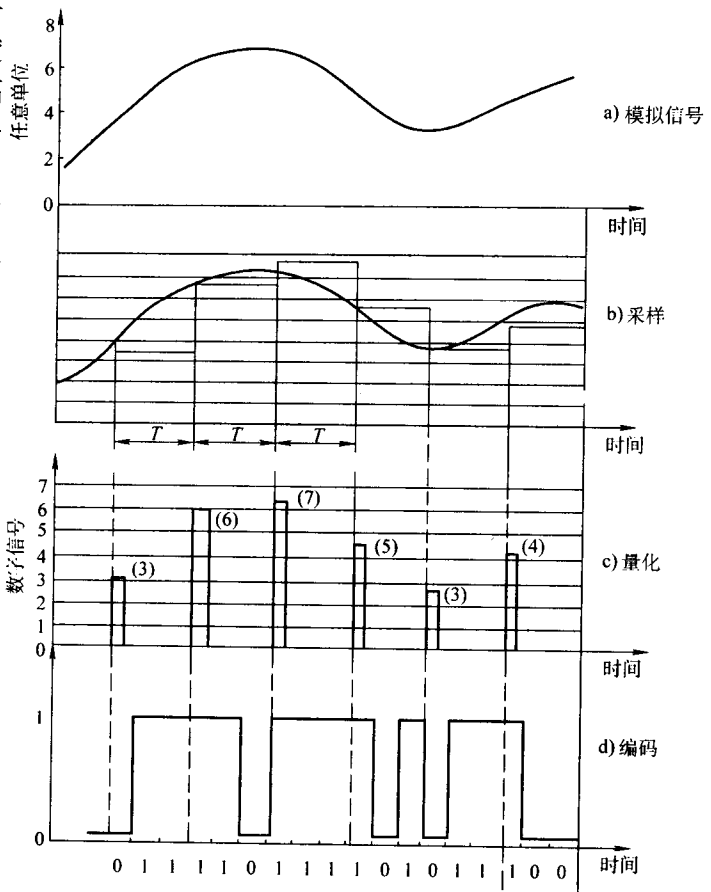


图 1-1 模拟信号数字化过程

的采样值作为信源必定存在时间或空间的冗余度。所以在数字电视中必须先进行信源编码。一般来讲,信源编码分为无损编码和有损编码。

无损编码往往称为熵编码。信源的熵是由一些离散、无记忆信源产生的一个符号的统计平均信息量,其单位为“比特/符号”。熵编码又称为变字长统计编码,它利用信息源产生的统计性质,对经常出现的符号应用短码,对不常出现的符号应用长码,从而避免造成图像损伤。有损编码根据人的视觉特性,对肉眼能看见的信息进行编码,从而有效地减少信源的冗余度。例如,人眼对图像的细节分辨率、运动分辨率、对比度分辨率的要求都有一定的限度,而且对图像的某种分辨率要求很高时,对其他分辨率则降低了要求。利用这一特点,可在不损伤图像主观质量的条件下压缩数码率,也就是用客观失真换取数码率压缩。

图像的信源编码还可分为帧内编码和帧间编码。帧内编码主要是去除空间的冗余度,常用于静止图像压缩编码,或用于活动图像编码的第一帧。帧间编码可同时去除空间域和时间域的冗余度,常用来编码一个图像序列中连续且相似的若干帧。

8. 信道编码

信道编码的实质是提高信息传输的可靠性,或者说增加整个系统的抗干扰能力。对信道编码的要求主要有两条:一是要求编码器输出码流的频谱特性适应信道的频谱特性,从而使传输过程中能量损失最小,提高信道能量与噪声能量的比例,减小发生差错的可能性。二是增强纠错能力,使得即使出现差错,也能得以纠正。前者要用到频谱成形技术,即合理地选择和设计数字信号的码型,使数字信号的频谱特性适应传输通道的频谱特性,后者则要用到差错控制技术,这是信道编码的主要内容。

信道编码又称差错控制编码或称纠错编码,其基本原理是为了使信源具有检错和纠错能力,按一定的规则在信源编码的基础上增加一些冗余码元(又称监督码元),使这些冗余码元与被传信息码元之间建立一定的关系,发送端完成这个任务的过程就称为纠错编码。在接收端,根据信息码元与监督码元的特定关系实现检错(发现错误码元)和纠错,输出原信息码元,完成这个任务的过程就称纠错解码。

9. 传输速率

传输速率是衡量数字信道传输能力的主要指标,它可用码元速率(简称码率,或称波特率、符号率)、信息速率(或称比特率)和数据传输速率(简称数据率)3种方式来描述。码率、比特率和数据率分别从不同的角度来说明信道传输的有效程度。在讨论信道特性,特别是传输频带宽度时,通常使用码率(波特率);在研究传输数据速率时,采用数据传输速率(数据率);在涉及到系统实际的数据传输能力时,则使用比特率。

比特率(R_b)是指单位时间内信道上传输信息的数量,单位是比特/秒(bit/s)。波特率(R_B)是指单位时间(通常为秒)内信道上传输码元的数量。携带数据信息的符号单元叫做码元,码元的单位是波特(Baud),一个码元所携带的信息量,由码元所取的离散值个数决定。对于二进制码元来说,每个码元的信息量为1比特(bit)。比特是数据通信系统中信息的最小单位。当数据信息为M进制时,比特率与波特率的关系是 $R_b = R_B \log_2 M$ (bit/s),当 $M = 2$ 时, $R_b = R_B$;当 $M = 2^8 = 256$ 时, $R_b = R_B \log_2 M = 8R_B$,则比特率是波特率的8倍。数据传输速率是指单位时间内传输的数据量。数据量的单位可以是比特、字符、码组等,时间单位可以是秒(s)、分钟(min)或小时(h),数据传输速率和比特率之间的关系要考虑用多少比特来表示一个字符。

10. 数字电视广播的国际标准

目前数字电视标准有3种：美国的ATSC、欧洲的DVB和日本的ISDB，其中前两种标准用得较为广泛，特别是DVB已逐渐成为世界数字电视的主流标准。

(1) ATSC标准：ATSC是美国高级电视系统委会的简称，与1995年经美国联邦通信委员会正式批准作为美国的高级电视(ATV)国家标准。ATSC标准规定了一个在6MHz带宽内传输高质量的视频、音频和辅助数据的系统，在地面广播信道中可靠地传输约19Mbit/s的数字信息，在有线电视频道中可靠传输38Mbit/s的数字信息，使该系统能提供的分辨率达常规电视的5倍之多。ATSC被加拿大、韩国、阿根廷、中国台湾省以及墨西哥采用，亚洲及中北美洲的许多国家也正在考虑使用。

(2) DVB标准：DVB即数字视频广播，是欧洲广播联盟组织的一个项目。目前已有220多个组织参加。DVB项目的主要目标是找到某一种对所有传输媒体都适用的数字电视技术和系统。因此，它的设计原则是使系统能够灵活地传输MPEG-2视频、音频和其他数据信息，使用统一的MPEG-2传输比特流复用，使用统一的服务信息系统，使用统一的加扰系统(可有不同的加密方式)，使用统一的RS前向纠错系统，最终形成一个统一的数字电视系统。不同传输媒体可选用不同的调制方式和通道编码方法，其中，DVB-S采用QPSK，DVB-C采用QAM，DVB-T采用COFDM。所有的DVB系列标准完全兼容MPEG-2标准，同时制定了解码器公共接口标准、支持条件接收和提供数据广播系统等特性。目前，DVB已经扩展到欧洲以外的国家和地区，世界上现有30个国家、200多家电视台开始了DVB各种广播业务，100多个厂家生产符合DVB标准的设备。欧洲的DVB重点放在SDTV，其COFDM制式的地面广播正在欧洲各国陆续开播。卫星的MPEG-2/DVB-S广播已于1996年开播。

DVB是一个系列标准。各标准在视、音频编码方案和系统复接方案上是一致的，都符合MPEG-2标准，区别主要在于传输系统采用不同的方案，分别适用于不同的传输媒介和应用环境。

截止到1997年已发布的DVB标准及适用的传输媒介如下。

DVB-S：采用11/12GHz卫星频段进行传输的DVB系统标准，广泛适用于各种转发器的频带和功放。

DVB-C：采用有线电视系统进行传输的DVB系统标准。

DVB-T：采用地面广播进行传输的DVB系统标准。

DVB-CS：采用共用电视天线(SMATV)接入用户的DVB系统标准，可与DVB-C或DVB-S联合使用。

DVB-MC：在DVB-C传输系统基础上，采用10GHz以下频率的MMDS直接向用户传输的DVB系统标准。

DVB-MS：在DVB-S传输系统基础上，采用10GHz以上频率的MMDS直接向用户传输的DVB系统标准。

DVB-SI：DVB服务信息系统标准，它使得DVB解码器能够进行自我配置，并帮助用户浏览DVB环境。

DVB-TXT：DVB固定格式的图文电视标准。

DVB-CA：DVB条件接收以及其他应用的公共接口标准。

DVB-RCT: DVB 在有线电视传输系统中的上行回传信道标准。

DVB-RCC: DVB 在共用电话交换网 (PSTN) 和综合业务数字网 (ISDN) 中的上行回传信道标准。

DVB-NIP: DVB 双向交互业务中与具体传输网络无关的协议标准。

DVB-PDH: DVB 与准同步数字系列 (PDH) 网络的接口标准。

DVB-SDH: DVB 与同步数字系列 (SDH) 网络的接口标准。

DVB-M: DVB 系统的测试指标。

DVB-PI: DVB 与有线电视和 SMATV 前端的接口标准。

DVB-IRDI: DVB 综合接收机/解码器 (IRD) 的接口标准。

(3) ISDB 标准: 日本数字电视 ISDB 标准, 于 1993 年 9 月制定, 其核心内容是既传数字电视节目, 又传其他数据。该综合业务服务系统中的视频编码、音频编码、系统复用等均遵循 MPEG-2 标准; 传输信道以卫星为主。迫于欧洲和美国的发展形势, 已将原定于 2005 年才开始数字电视广播的计划改为 2000 年开始, 并提出了 ISDB-T 制式。使数字电视地面广播再次出现三大制式并存的局面。

ATSC 和 DVB 标准在信道的传输方式、数字音频压缩标准和节目信息表上都有所差别。同时美国 ATSC 标准关注的是 UHF 和 VHF 频道的数字地面 HDTV, 在 6MHz 信道内只提供 19.3Mbit/s 的固定码率, 而欧洲 DVB 以单一系统方式针对 SDTV 和 HDTV。可用于所有广播媒体。在设计上码率可变, 在 8MHz 内可选择 4.9~31.7Mbit/s 不同的传输码率, 在支持条件接收方面, ATSC 还没有进行相应的工作。

上述 3 个标准的比较:

在传输方面, 美国首先考虑的是地面广播信道, 而欧洲和日本考虑卫星信道。

在图像规格方面, 美国考虑地面广播 HDTV, 欧洲强调图像可分级性, 日本强调多种数字业务集成, 不只传一种 HDTV 信号。

数字调制方式方面, 美国地面广播采用 8-VSB 或 16-VSB, 欧洲和日本地面广播采用 COFDM。而有线广播均采用 QAM, 卫星广播均采用 QPSK。

在音、视频编码复用方面, 除美国采用 AC-3 外, 其余均采用 MPEG-2。

1.2 数字电视的优点

与模拟电视相比, 数字电视有如下优点。

1. 图像传输质量较高, 距离远

模拟电视图像信号在传输过程中, 要受到传输信道特性 (幅频特性、微分增益、微分相位特性) 和噪声干扰等的影响, 质量不高, 而且经过多次转换传输, 通道特性和噪声干扰等影响的积累, 导致图像质量的进一步下降, 而这些影响对于数字电视信号来说有些是不存在的。数字电视信号在传输过程中, 多次中继 (或复制) 后不会发生干扰和噪声的积累, 同时可采用纠错编码技术, 提高抗干扰能力。所以数字电视在传输中保持信噪比基本不变, 收端图像质量基本保持与发端一致, 且传输距离不受限制。

2. 频谱资源利用率高

频谱资源是重要的国家资源, 模拟电视的频谱资源有限, 一套模拟电视节目要占用

36MHz 带宽的卫星转发器, 占用 8MHz 的地面电视广播和有线电视频带。而数字电视采用压缩编码技术, 在 36MHz 的卫星转发器中传输 5 套 SDTV 节目, 显示清晰度约 400 线, 在一个 8MHz 频道内传输 4 套以上的 SDTV 节目。

3. 提供全新的业务, 实现高速数据传输

在数字电视通信中可以互不干扰地同时传输文字、数据、语音、静止图像等多种数字信息。数字电视网可与计算机网、电信网互联互通, 不仅使信息源更为丰富, 还可以增加用户与各种信息源之间的交互性, 实现用户自由点播节目、电子商务、网上购物、网上教学、网上医疗、网上游戏等多种高速数据业务。(在 8MHz 带宽内采用 64QAM 调制, 可以传输约 32 ~ 38Mbit/s 的数据率)

4. 信号稳定可靠, 设备维护简单、使用方便

模拟电视信号数字化后, 信号以二进制码的形式出现, 它只有“0”和“1”两种状态, 二进制数字信号不受电源波动、器件非线性影响, 所以信号能保持稳定、可靠。处理数字信号可采用大规模集成电路, 可降低设备的功耗, 减少体积, 提高设备的可靠性。同时数字化设备不需调节, 维护简单, 使用方便。

5. 节省发送功率, 覆盖范围广

数字电视发射设备在相同覆盖服务区所需平均功率, 比模拟电视发射设备的峰值功率要低一个数量级, 比如模拟 MMDS 的接收电平最低为 56dB。而数字 MMDS 在 64QAM 调制下接收电平仅为 39dB, 所以数字电视发射设备的覆盖范围比模拟电视相同功率的发射设备的覆盖范围大几倍。

6. 灵活友好的人机界面

灵活和实用的人机交互界面, 便于普通群众操作, 除显示设备外, 容易系统集成而大规模生产, 价格低廉, 便于推广普及。

7. 易于实现条件接收

数字电视信号容易进行加密/加扰, 有利信息安全, 便于实现付费电视、视频点播及交互式电视。

因此, 技术上先进的数字电视系统, 必然会取代模拟电视系统 (但不是取消模拟电视技术)。

1.3 视频压缩编码

视频图像的数据量非常大, 按照 4:2:2 标准进行分量编码, 亮度信号的数据传输速率(码率)为 108Mbit/s, 两个色差信号的码率为 108Mbit/s, 如果传输信道每赫带宽能传输的最高码率是 2bit/s, 则传输一路数字电视信号需要 $216/2\text{MHz} = 108\text{MHz}$ 的带宽。为了提高传输效率, 一般将数字化的视频信号先进行压缩编码, 从数字视频信号中移去自然存在的冗余度, 尽量减少图像各符号的相关性, 提高图像的传输效率。就好像将牛奶中水分去掉制成奶粉, 在需要时将水倒进去又做成牛奶一样, 在接收端则通过解码将图像信号恢复。

1.3.1 视频信号压缩的可能性

视频信号可以压缩的根据主要有两点: 一是视频信号中存在大量的冗余度可供压缩, 包括图像结构和编码统计方面的冗余度, 这种冗余度在解码后可无失真地恢复。另一点是利用

人的视觉特性，通过减少表示视频信号的精度，以一定的客观失真换取视频数据压缩。

视频信号结构上的冗余度表现为很强的空间（帧内的）和时间（帧间的）相关性，如图 1-2 和图 1-3 所示。一幅图像在不同行、不同场、不同像素之间存在着许多相同的信息可供压缩。一般情况下电视画面中的大部分区域信号变化缓慢，尤其是背景部分几乎不变，正如观看电影胶卷，可以发现连续几十张画面变化甚小。据统计不同类型的彩色电视节目，在一帧时间内，亮度信号平均只有 7.5% 的像素有变化，而色度信号平均只有 6.5% 的像素有变化，这样就有大量的时间或空间的冗余信息可进行压缩。

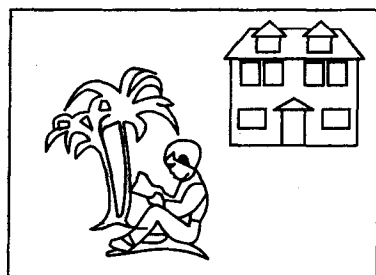


图 1-2 图像空间相关冗余

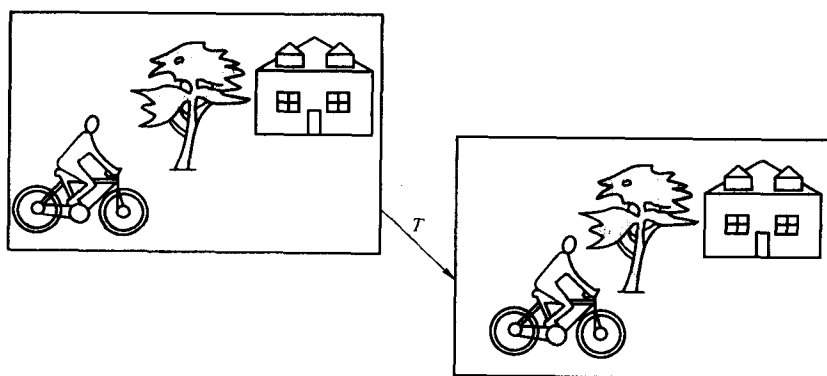


图 1-3 图像的时间相关冗余

视频信号在编码过程中，被编码视频信号的概率密度分布是不均匀。例如，在预测编码中，需要编码的信号是预测误差信号 E ，而这种预测误差信号的概率 $P(E)$ 高度集中分布在 0 附近，形成如图 1-4 所示的概率分布曲线。对这种极不均匀的概率分布的信息，可采用变字长编码，即出现概率低、预测误差大的用长码，出现概率高、预测误差信号为 0 或小误差的用短码，这样总的平均码长要比用固定码长编码短得多，可消除编码信息所含的统计冗余度。

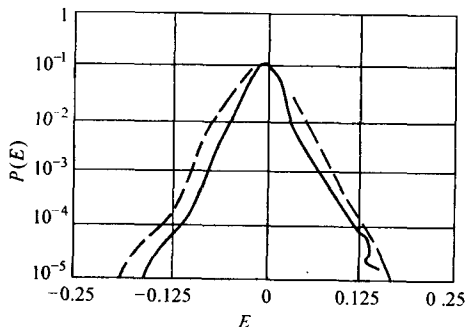


图 1-4 预测误差信号概率分布曲线

利用人眼的视觉特征，在不影响图像主观评价质量的条件下，通过减少表示视频信号的精度来实现数码压缩。人眼的视觉特征表现在人眼对图像细节分辨率，运动分辨率和对对比度分辨率的要求都有一定的限度，而且这 3 个方面互相制约。利用这一特征，可采用自适应技术。根据每帧图像的特点来决定对它的采样频率和量化精度，尽量做到与人眼在观看这幅图像所反映的视觉特征相适应，做到在不损伤图像主观质量的条件下压缩码率。

1.3.2 视频压缩编码的种类与特点

按照收信端解码后信号的信息量是否与发信端原信号的信息量完全一致来分类，可分为

如下两种。

(1) 可逆压缩编码 (又称为信息保持编码或无损压缩编码): 收信端解码后的信息量与发信端原信息量完全相同, 再现的图像也与原图像严格一致, 即压缩图像是完全可以恢复的或无损伤的。

(2) 不可逆压缩编码 (又称为信息非保持编码或有损压缩编码): 在编码过程中损失一部分信息, 故收信端解码后还原的图像与发信端的原图像质量有一定的差异。但是这种图像质量差异从视觉效果上看是完全可以接受的。此方法主要以消去对人眼视觉为冗余的信息为前提, 可根据图像的质量标准 (允许误差大小) 来选定数据压缩的程度。

按照视频压缩编码器处理的像素分布范围来分类, 可分为如下两种。

(1) 帧内编码: 压缩编码是在一帧 (或一场) 内进行的, 其目的在于消除一帧 (或一场) 内图像的空间冗余。

(2) 帧间编码: 压缩编码是在相邻两帧或几帧之间进行的, 利用图像信号的时间相关性来消去冗余。这种方式对静止图像或慢速运动图像有很强的压缩能力, 但对于快速运动的图像, 由于时间相关度降低, 故压缩能力相应减弱。

按照视频压缩的方法或工作原理分类, 可分为如下 4 种。

(1) 预测编码 (又称差值码、 Δ 编码): 这种方式目的在于消除图像的统计相关冗余, 包括消除空间相关冗余 (帧内预测) 和消除时间相关冗余 (帧间预测)。它又分为如下几类: ①前值预测; ②一维预测; ③二维预测; ④三维预测。

(2) 变换编码: 利用图像在空间分布上的规律性来消除图像冗余, 即把图像的光强空间矩阵变换到系数空间矩阵上进行处理。在空间上具有很强相关性的信号, 反映在变换域上则表现为某些特定区域内能量很集中, 或者说系数矩阵具有某种规律性。这就把时域相关信号的传输变成了变换域上有限个系数量化比特数的传输, 达到压缩码率的目的。它又分为如下几类: ① K-L 变换; ② 哈尔 (Haar) 变换; ③ 沃尔什-哈达玛 (Walsh-Hadamard) 变换; ④ 离散余弦变换 (DCT) 等。

(3) 熵编码 (统计编码): 熵编码是一种无损 (即信息保持) 编码。根据熵冗余产生的原因, 对于概率大的用短的码字, 反之用长的码字, 使平均码长与信息熵相接近。它又分为如下几类: ①霍夫曼 (Huffman) 编码; ②双字长编码; ③游程编码等。

(4) 量化编码: 指在模/数转换之后进行的数字到数字的映射变换。它又分为如下两类: ①白适应量化编码; ②矢量量化编码等。

1.3.3 基本的视频压缩编码方法

1. 预测编码

预测编码也称差分脉冲编码调制, 用 DPCM 表示, DPCM 不直接传输图像样值本身, 而是对实际样值 (X_n) 与它的一个预测值 (X'_n) 之间差值即预测误差 ($E_n = X'_n - X_n$) 进行再次量化、编码。这种方法可以消除图像信号的空间相关冗余 (帧内预测) 和时间相关冗余 (帧间预测)。DPCM 系统框图如图 1-5 所示。

DPCM 系统的输入信号 X_n 是 PCM 图像信号。对于每一个输入样值 X_n , 预测器产生一个预测值 X'_n 。预测值是根据已传出的相邻像素亮度估算 (预测) 出来的, 如果所选的参考样值 (在 X_n 前已传出的样值) 与 X_n 处在同一扫描行内, 称为一维预测, 如果参考样值除