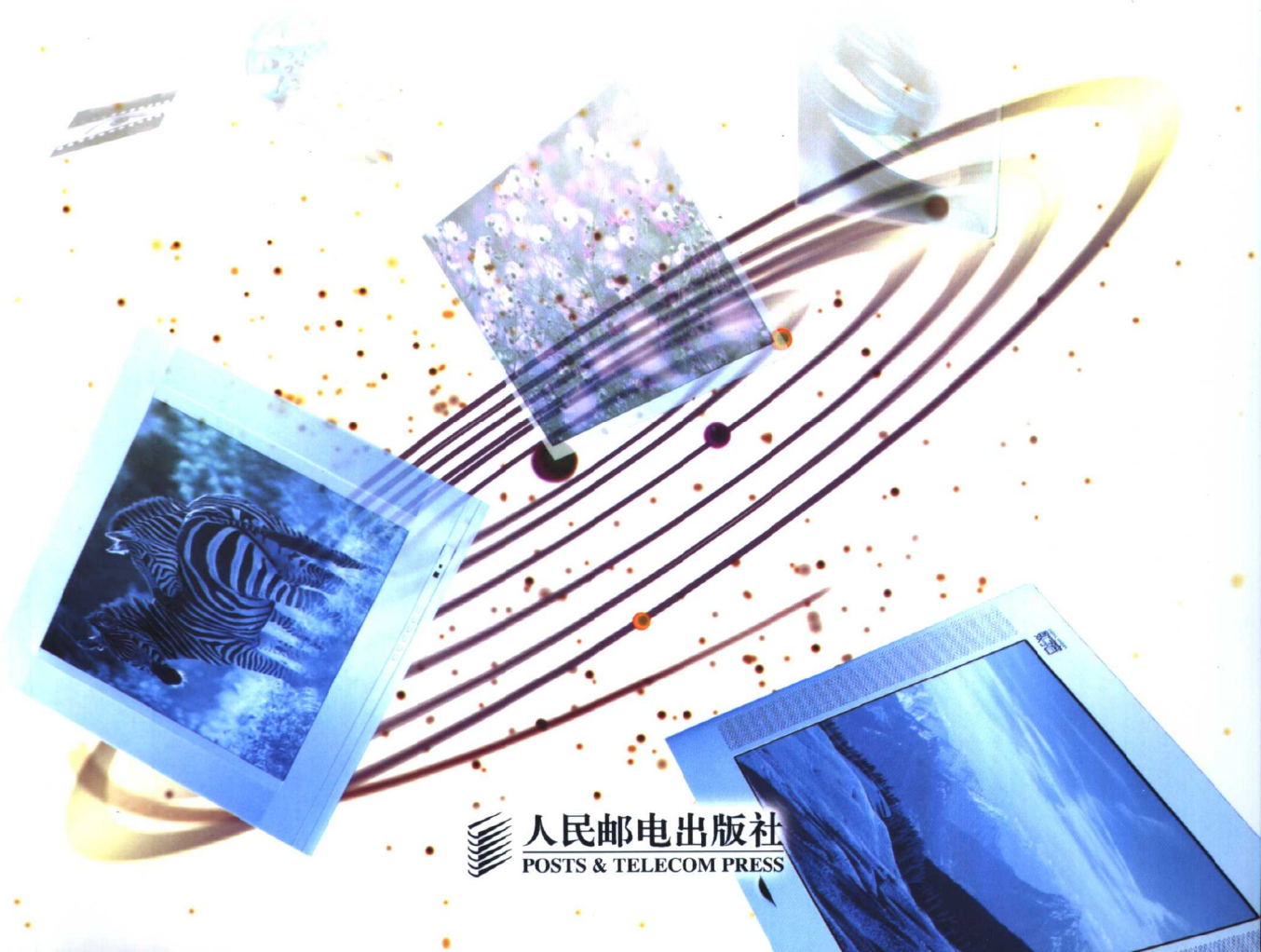


数字电视原理

余兆明 余智 编著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

数字电视原理

余兆明 余 智 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电视原理/余兆明, 余智编著. —北京: 人民邮电出版社, 2004.4

ISBN 7-115-12006-4

I. 数... II. ①余...②余... III. 数字电视—理论 IV. TN949.197

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 123536 号

内 容 提 要

本书共分 8 章, 重点介绍了数字视频编码压缩原理、数字电视的国际标准、数字电视传输组网技术和数字音频技术。在叙述中结合了大量的图表和电路框图, 形象生动地阐明了晦涩难懂的技术概念, 有助于读者对数字电视原理的全面认识和了解。

本书内容丰富、系统性强, 可供高等院校广播电视专业、通信专业、多媒体通信专业以及相关专业的师生阅读, 也适合电视台的技术人员, 广大数字视频设备的生产厂家、公司、用户以及从事宽带组网的工程技术人员和管理人员阅读参考。

数 字 电 视 原 理

◆ 编 著 余兆明 余 智

责任编辑 申 苹

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67129264

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 18.75

字数: 452 千字

2004 年 4 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2004 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12006-4/TN · 2232

定价: 25.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

自从 1948 年提出视频数字化概念至今, 电视编码压缩技术已经历了 50 多个年头。在这 50 多年内, 视频数据压缩编码方法像雨后春笋般层出不穷。目前, 电视正迅速地走向“数字时代”, 数字电视的飞速发展远远超出人们的预料。世界发达国家, 广播电视从模拟向数字的过渡已全面展开, 从部分(单机设备)数字化向全系统(节目制作、信号传输、发射和接收)数字化方向发展。数字电视设备日新月异, 数字 VCD、数字 DVD、数字摄像机、数字录像机、数字点播电视(VOD)、数字交互电视(ITV)、数字调制解调器、数字电视接收机、数字加密电视、数字电视机顶盒、全数字高清晰度电视, 逐步形成整个电子行业潮流的主导, 如日中天。

我国著名学者徐孟侠教授称数字电视的发展经历着五大浪潮, 即: “第一次浪潮”, 1994 年初, VCD (MPEG-1 标准) 播放机在我国上市, 并持续“暴热”达 8 年之久; 1994 年 6 月, 美国 DirecTV 开始数字 SDTV (标准清晰度数字电视) 的卫星直接广播; 2002 年 7 月, 美国两家公司 DirecTV 和 EchoStar 共有卫星数字电视 1840 万用户, 占 DTH 用户总数的 96.4 %。“第二次浪潮”, 1998 年 11 月, 美国开始以 HDTV 为重点数字电视(MPEG-2 标准)的地面广播, 英国开始数字 SDTV 的地面广播; 2000 年夏, 美国数字电视用户数接近 100 万。“第三次浪潮”, 2000 年 12 月~2004 年, 亚洲东部和拉丁美洲各国推出数字电视。日本于 2000 年 12 月采用其 ISBT-S 标准, 发展 BS 卫星直接广播业务; 新加坡于 2000 年 12 月采用欧洲 DVB-T/COFDM 标准开展数字 SDTV 业务在公共交通车辆上的移动接收; 韩国于 2001 年 12 月采用美国 ATSC/8-VSB 标准, 在汉城地区先后有 5 家公司发射地面广播的数字 HDTV。中国广电总局已于 2001 年 11 月采用其行业标准(DVB-C)在有线电视网络中发展数字电视业务, 作为“切入点”。“第四次浪潮”, 2004 年~2008 年, 亚洲其余国家(特别是东南亚各国)、俄罗斯、富裕的阿拉伯国家、少数非洲国家发展数字电视。“第五次浪潮”, 2008 年~2012 年, 贫穷的阿拉伯国家、多数贫穷的非洲国家发展数字电视。全球大约在 2025 年完成从模拟电视到数字电视的过渡。

鉴于数字电视设备的推陈出新, 习惯于模拟电视的技术人员, 对数字电视技术有不知所措的感觉, 急需补充新的知识、新的概念、新的推广应用手段。为帮助从事数字视频技术的工程技术人员更深入地了解视频数字化的基本知识、电视信号压缩的基本原理、数字电视的实现方法以及已公布的各种视频编码的国际标准, 作者结合自己 20 多年的教学和科研的体会编写了此书。书中除了引用作者的科研成果外, 还引用了国内外公开发表的成果, 所引用的部分均附了参考文献。

全书共分 8 章。第 1 章概论。第 2 章电视信号的分析, 分析了电视信号的一维、二维、三维频谱和不同的电视信号波形的频谱分布情况。第 3 章视频信号数字化, 介绍了视频信号 A/D、D/A 变换和 PAL 信号亮、色数字分离的原理和方法。第 4 章图像压缩编码, 介绍了各种压缩编码原理及其实现方法, 并介绍了运动估值在序列图像编码中的应用情况。第 5 章数字电视的国际标准, 介绍了已公布的主要数字编码国际标准, 分析了它们的不同点。第 6 章数字电视传输, 介绍数字电视传输技术。第 7 章数字电视调制和解调, 介绍各种数字调制技术。第 8 章数字音频技术。本书第 6、8 章由北京邮电大学余智博士编写, 其余各章均由余兆明教授完成, 余兆明教授对全书章节进行了仔细安排, 并负责书稿的审校工作。

此书是继《数字电视和高清晰度电视》(1997年人民邮电出版社出版,余兆明教授编著)、《数字电视设备及测量》(2000年人民邮电出版社出版,余兆明教授、李晓飞副教授、陈来春高工编著)、《MPEG标准及其应用》(2002年北京邮电大学出版社出版,由余兆明教授、李晓飞副教授、陈来春高工编著)和《数字电视传输与组网》(2003年人民邮电出版社出版,余兆明教授、余智博士编著)的续集。希望本书能为从事数字电视原理教学、数字电视设备研制及推广应用的工程技术人员,为急需了解数字电视传输知识的工程技术人员和从事数字电视传输与组网及推广应用的工程技术人员稍尽绵薄之力。

书中部分插图为研究生等辛勤劳动的结晶,在此深表谢意。数字技术发展一日千里,数字电视设备不断推陈出新,相关文献浩如烟海,由于时间仓促,加之作者水平有限,常感力不从心,疏漏之处还望读者不吝赐教。

作 者

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 数字电视的优点	1
1.2 视、音频数字化参数	3
1.2.1 视频信号的抽样结构和不压缩时码率的计算	4
1.2.2 视、音频信号量化及量化噪声	7
1.2.3 全信号和分量信号编码	9
1.2.4 图像分量信号量化比特数的确定和码电平的分配	10
1.3 数字电视系统	12
1.4 数字电视机顶盒	13
1.4.1 数字电视机顶盒的组成	13
1.4.2 数字 CATV 高频头电路	13
第 2 章 电视信号的分析	16
2.1 电视信号的频谱	16
2.1.1 静止图像信号的频谱	17
2.1.2 活动图像信号的频谱	18
2.2 电视信号的空间频率和空间频谱	18
2.2.1 空间频率	19
2.2.2 空间频谱	21
2.3 电视信号离散化	25
2.3.1 一维抽样	25
2.3.2 二维抽样	30
第 3 章 视频信号数字化	33
3.1 视频 A/D、D/A 变换	33
3.1.1 A/D 变换器	33
3.1.2 PCM 编码器	34
3.1.3 D/A 变换器	35
3.1.4 电流相加型 D/A 变换器	36
3.1.5 并串型 A/D 变换器	36
3.2 PAL 信号亮、色数字分离	38
第 4 章 图像压缩编码	43
4.1 图像压缩编码概述	43
4.1.1 图像数据压缩机理	43

4.1.2	图像编码过程	44
4.1.3	图像压缩编码的分类	44
4.2	熵编码	52
4.2.1	前缀码	52
4.2.2	离散、无记忆信源的信息量	53
4.2.3	无失真信源编码定理	53
4.2.4	Huffman 码	54
4.2.5	准可变字长编码	55
4.2.6	混合编码	55
4.3	预测编码	56
4.3.1	差分脉冲编码调制(DPCM)	57
4.3.2	预测编码的类型	57
4.3.3	预测器	59
4.3.4	后向预测和双向预测	62
4.3.5	像素块预测	64
4.3.6	量化与编码	68
4.3.7	具有运动补偿的帧内插	69
4.4	变换编码	73
4.4.1	变换的物理意义	73
4.4.2	正交变换的矩阵表示	74
4.4.3	协方差矩阵和 K-L 变换	75
4.4.4	二维离散余弦变换(DCT)	76
4.4.5	二维离散余弦整数变换	83
4.4.6	沃尔什—哈特马(Walsh-Hadamard)变换	86
4.5	子带编码	88
4.5.1	子带编码原理	88
4.5.2	子带滤波	89
4.5.3	正交镜像滤波器(QMF)	91
4.5.4	二维子带编码	93
4.5.5	塔型编码	94
4.6	小波变换编码	95
4.6.1	基于小波变换的静态图像编码方法	95
4.6.2	小波变换的数学分析基础	95
4.6.3	图像小波多分辨分解的数据特性	106
4.6.4	基于小波变换的静态图像压缩算法	107
4.7	分形编码	111
4.7.1	分形的引出	111
4.7.2	分形压缩算法概况	114
4.7.3	分形编码的理论基础	114
4.7.4	分形编码的 IFS 方法	116

4.7.5 分形编码实例	118
4.8 模型基编码	119
4.8.1 模型基编码的引出	119
4.8.2 语义基图像编码	120
4.8.3 物体基图像编码	124
第5章 数字电视的国际标准	128
5.1 数字电视的国际标准概述	128
5.2 CCIR (现 ITU-R)601 号建议	131
5.2.1 CCIR (现 ITU-R)601 号建议内容	132
5.2.2 电视声音信号的编码参数	133
5.3 H.261 标准	135
5.3.1 图像格式	135
5.3.2 信源编码器	137
5.3.3 信源解码器	142
5.3.4 图像复用和解复用	143
5.4 JPEG 标准	146
5.4.1 基于 DCT 的编码器和解码器	146
5.4.2 DCT 和 DCT 系数量化	147
5.4.3 熵编码器	149
5.4.4 数据交换格式	149
5.5 MPEG-1 标准	149
5.5.1 MPEG-1 标准的内容	150
5.5.2 MPEG-1 视频流结构	152
5.5.3 MPEG-1 音频压缩处理单元	153
5.5.4 通信处理板	154
5.6 MPEG-2 标准	154
5.6.1 系统部分	155
5.6.2 图像部分	157
5.6.3 声音部分(略)	159
5.6.4 图像格式	159
5.7 H.263 建议	162
5.7.1 ITU 极低码率视频编码标准	162
5.7.2 极低码率视频编码近期标准 H.263	163
5.7.3 H.263 中的帧间预测算法	164
5.8 MPEG-4 标准	167
5.8.1 MPEG-4 标准概述	167
5.8.2 MPEG-4 可视信息编码	168
5.8.3 MPEG-4 基于 VOP 的视频编码	171
5.8.4 MPEG-4 的视频编码	173

5.8.5	MPEG-4 的音频编码	174
第 6 章	数字电视传输	176
6.1	数字电视传输系统	176
6.1.1	数字通信系统	176
6.1.2	数字电视卫星传输系统	177
6.1.3	数字电视有线传输系统	179
6.1.4	数字电视地面广播传输系统	180
6.2	能量扩散	182
6.3	R-S 纠错	183
6.3.1	R-S 码的结构	184
6.3.2	R-S 码的编码	185
6.3.3	R-S 码的译码	185
6.3.4	R-S 码的纠错	187
6.3.5	R-S 码在数字电视传输标准中的应用	188
6.4	数据交织和解交织	188
6.4.1	块交织	188
6.4.2	卷积交织	190
6.4.3	时间交织和频率交织	191
6.4.4	纠错性能分析和数字电视中的实际交织电路	192
6.5	格状编码(TCM)	195
6.5.1	格状编码调制	195
6.5.2	格状编码调制的维特比译码算法	204
第 7 章	数字电视调制和解调	213
7.1	数字电视调制的种类	213
7.1.1	数字电视调制的分类	213
7.1.2	数字电视信号经调制后的几项性能	214
7.2	QPSK 数字调制技术	215
7.2.1	QPSK 的谱分析	215
7.2.2	QPSK 误码性能要求	219
7.3	OFDM 数字调制技术	221
7.4	MVSB (残留边带)数字调制技术	229
7.4.1	8VSB 和 16VSB 数字调制后的频谱利用率	229
7.4.2	QPSK、MQAM、OFDM、MVSB 小结	230
7.5	字节到符号映射	231
7.6	MQAM 调制	232
7.6.1	QAM 的功率谱分析	232
7.6.2	16QAM 频谱利用系数和它的星座图	234
7.6.3	64QAM 奈奎斯特基带滤波器的特性	237

7.7	$\pi/2$ 旋转不变 QAM 星座的获得	238
7.8	Offset-QAM 数字调制技术	241
7.8.1	Offset-QAM 调制电路	241
7.8.2	Offset-QAM 调制原理	242
7.9	反向信道(上行信道)数字调制技术	243
7.10	美国 ATSC 数字电视地面广播系统介绍	245
第 8 章	数字音频技术	248
8.1	数字音频广播	248
8.1.1	DAB 的技术特点	248
8.1.2	尤里卡(Eureka)147/DAB 发射系统	249
8.1.3	尤里卡(Eureka)147/DAB 接收系统	253
8.2	MPEG 音频压缩技术	255
8.2.1	音频特性及其编码	255
8.2.2	MPEG-1 音频压缩技术	257
8.2.3	MPEG-2 音频压缩技术	263
8.2.4	MPEG-1、MPEG-2 音频参数的比较	266
8.2.5	MPEG-2 中的 AAC 编码	266
8.2.6	MPEG-4 数字音频压缩技术	268
8.3	美国 HDTV AC-3 音频压缩技术	270
8.4	家庭影院和环绕立体声	274
8.4.1	从留声机到家庭影院	274
8.4.2	家庭影院的概念及构成	275
8.4.3	现实声场诸要素	276
8.4.4	家庭影院杜比环绕声	276
8.4.5	家庭影院杜比定向逻辑环绕声系统	279
8.4.6	家用 THX 系统	280
8.4.7	家庭影院扬声器系统	282
8.4.8	关于多声道环绕声	284

第1章 概 论

电视技术, 经历着从黑白电视到彩色电视的发展过程, 现在的彩色电视虽已发展到色彩鲜艳、形象逼真的高超地步, 但是它们仍然是“模拟电视”。在图像信号的制作处理、控制调节、记录重放、调制解调、传输转播、接收显示等过程中, 图像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。模拟电视明显的缺点是: 易受干扰、亮色互串、色度畸变、行闪烁、大面积闪烁、清晰度低; 在接力传输时产生噪声, 长距离传输的信噪比恶化, 使图像清晰度越来越受到损伤; 发送传输设备中, 放大器的非线性积累使图像对比度产生越来越大的畸变; 相位失真的积累产生色彩失真, 使“鬼影”现象愈来愈严重。同时, 模拟电视还有稳定度差、可靠性低、调整繁杂、不便集成、自动控制困难以及成本高昂等缺点。近十多年来, 由于微电子技术、超大规模集成电路技术、数字信号处理技术、计算机技术的突飞猛进, 使数字电视的发展已取得了令人鼓舞的成果, 特别是数字图像获取、数字存储、位图打印和图形显示的数字设备的出现带来了许多数字图像方面的应用。技术先进国家的电视演播室设备数字化已完成, 数字电视接收机已上市出售, 各种数字图像编码压缩设备随多媒体技术的发展已投入使用。国际上也相应地制定了统一的数字电视的编码压缩标准, 为数字电视的发展奠定了坚实的基础。从应用讲, 数字电视的使用范围已超越了广播娱乐界, 并逐渐地扩展到文化教育、科研管理、工矿企业、医疗卫生、公安交通、军事宇航等各个重要部门。

1994年~2015年被世界公认为发展数字视频的黄金时代。以美国为代表, 到2006年将要完成图像数字化的整个进程, 要更换所有模拟图像设备, 并将把普通电视的图像质量提高到全数字高清晰度电视(HDTV)的图像质量。欧洲、日本等工业发达国家也计划到2010年停止模拟彩色电视广播, 以标准清晰度数字电视(SDTV)和全数字高清晰度电视(HDTV)取而代之。我国北京、上海和深圳也已开始试播数字电视和全数字高清晰度电视。

所谓数字电视, 是将传统的模拟电视信号经过抽样、量化和编码转换成用二进制数代表的数字式信号, 然后进行各种功能的处理、压缩、传输、存储和记录, 也可以用电子计算机进行处理、监测和控制。采用数字技术不仅使各种电视设备获得比原有模拟式设备更高的技术性能, 而且还具有模拟技术不能达到的新功能, 使电视技术进入崭新的时代。

1.1 数字电视的优点

数字电视技术与原有的模拟电视技术相比, 有如下优点:

(1) 信号杂波比和连续处理的次数无关。电视信号经过数字化后是用若干位二进制的“0”、“1”两个电平来表示, 因而在连续处理过程中或在传输过程中引入杂波后, 其杂波幅度只要不超过某一额定电平, 通过数字信号再生, 都可能把杂波清除掉, 即使数字电视在传输的过程中, 某一杂波电平超过额定值, 造成误码, 也可以利用纠错编、解码技术把它们纠正过来。所以, 在数字信号传输过程中, 不会降低信杂比。

(2) 可避免系统非线性失真的影响。在模拟系统中, 非线性失真会产生亮度对比度畸变、

亮色串扰、色度畸变,造成图像的明显损伤,而在数字系统中,可避免这种影响。

(3) 数字设备输出信号稳定可靠。因数字信号只有“0”、“1”两个电平,“1”电平的幅度大小只要满足处理电路中可能识别出是“1”电平即可,大一点、小一点无关紧要。

(4) 易于实现信号的存储,而且存储时间与信号的特性无关。近年来,大规模集成电路(半导体存储器)的发展,可以存储多帧的电视信号,从而完成用模拟技术不可能达到的处理功能。例如,帧存储器可用来实现帧同步和制式转换等处理,获得各种新的电视图像特技效果。

(5) 可以实现设备的自动化操作和调整,与计算机配合可实现各种自动控制和操作。

(6) 可充分利用信道容量。数字技术可实现时分多路复用,实现数字视频、数字音频和其他多媒体信号混传,充分利用信道容量。

(7) 容易实现“无差错接收”。压缩后的数字电视信号经数字调制后,可进行地面广播,在覆盖的服务区内,用户将以极大的概率实现“无差错接收”(发“0”收“0”,发“1”收“1”),看到的电视图像及声音质量非常接近演播室质量。数字电视还可实现高质量的移动接收。

(8) 可以合理地利用频谱资源。以地面广播而言,数字电视可以启用模拟电视的“禁用频道”(taboo channel),而且在今后能够采用“单频率网络”(single frequency network)技术,即用单个频道就可覆盖全国。此外,现有的8MHz模拟电视频道(对PAL制而言),可用于传输1套数字高清晰度电视节目,或者4~6套质量较高的数字常规电视节目,或者16~24套与家用VHS录像机质量相当的数字电视节目(在有线电视中,这些数字都可加倍)。

(9) 在同步转移模式(STM)的通信网络中,可实现多种业务的“动态组合”(dynamic combination)。例如,在一套数字高清晰度电视节目中,经常会出现图像细节较少的时刻。这时由于压缩后的图像数据量较少,便可插入其他业务(如电视节目指南、传真、电子游戏软件等),而不必插入大量没有意义的“填充比特”。

(10) 很容易实现“加密/解密”和“加扰/解扰”技术,便于专业应用(包括军用)以及点播应用(VOD)(收费电视)。开展各类条件接收的收费业务,是数字电视的重要增殖点,也是数字电视得以快速滚动式发展的基础。

(11) 具有可扩展性、可分级性和互操作性,能够实现不同层次质量图像的相互兼容,易于建立全国数字电视传输网。

(12) 可以与计算机“融合”而构成一类多媒体计算机系统,成为未来“国家信息基础设施”(NII)的重要组成部分。

(13) 可以实现不同制式节目的交换。通过CCIR 601号建议,可把三大模拟电视制式的PAL制、NTSC制、SECAM制建立统一的数字电视参数规范,改变了模拟体制下的3种制式电视节目不能交换的特性。

(14) 改变人们接收电视的方式。如交互电视的诞生为电视的应用开辟了新天地,交互电视、视频点播使人们在收看高清晰度电视的同时,可以享受到“电视导演或电视编辑”的乐趣,可以足不出户地收看高清晰度电影。

(15) 将极大地改变信息家电的市场结构。目前,模拟电视机除了产业结构不合理外,重要的是因其技术含量不高,导致在飞速发展的电子产品市场竞争中处于不利地位;而数字电视能够促进电视机扩大画面、提高分辨率及展宽屏幕,并以全新型电视机的姿态提高销售价格。

使用数字电视带来如下6点好处:

(1) 高质量的画面。HDTV的画面质量接近35mm宽屏幕电影水平,一帧图像的像素数高

达 1920×1080 。一般来说,计算机在 SVGA 模式下的像素数为 800×600 ,PAL 制下 VCD 的最高像素数为 352×240 ,DVD 为 720×576 。常规模拟电视常有的模糊、重影、闪烁、雪花点、图像失真等现象在数字电视中大大改善。

(2) 丰富的功能。数字化信号便于存储,可方便地实现制式转换以及画中画、画外画和电视图像幅型变换等功能。

(3) 高质量的音效。数字电视采用 AC-3 或 MUSICAM 等环绕立体声编解码方案,既可避免噪声、失真,又能实现多路纯数字环绕立体声,使声音的空间临场感、音质透明度和高保真等方面都更胜一筹。同时还具有多语种功能,使得收看同一个节目可以选择不同的语种。

(4) 丰富多彩的电视节目。用数字信号处理技术可以对电视信号数据率大幅度地压缩,充分利用有限的频带资源,使原先传送 1 套节目的电视频道同时传送 4~5 套数字电视节目,电视台将设置更多的专业频道,以满足不同行业、不同层次、不同爱好的观众的需要。

(5) 具有交互性。音频、视频和数据可以在同一条信道内传输,共用一台设备接收,传输方向可以是双向的。观众由被动接受转为积极参与,收看现场转播时可以选择以不同拍摄角度获得的图像。

(6) 具备通信功能。配备相应的机顶盒后,可以拨打可视电话、查询图文信息、进行远程教学等;还可以实现微机联网以浏览互联网,收发电子邮件,实现网上购物、学习、娱乐等许多增殖业务。所以数字电视不仅使图像质量提高,而且使现有的频率资源大幅度地增殖,引起电视业务和经营方式及制作方式的变革。不想购买数字电视机的用户也可以在模拟电视机上增加一个机顶盒,将同轴电缆传来的数字电视信号进行解码,变为模拟的视频和音频信号,再送入模拟电视机的视音频(AV)插孔,就可以收看数字电视节目了。有了机顶盒,用遥控器按屏幕菜单进行查询,适时选择所喜欢的节目,并将此信息反馈到信息中心,几秒钟后就可看到自己选定的节目,实现视频点播等交互功能。

此外,数字电视还有一个显著特点,就是允许不同类型(音频、视频和数据)、不同等级(高清晰度电视 HDTV、标准清晰度电视 SDTV 和低清晰度电视 LDTV)、不同制式(屏幕的宽高比、立体声伴音的通道数目)的信号在同一信道中传输,用同一台电视接收机接收,甚至是双向传输。可以说,多信息、高质量和多功能是数字电视的总特征。

1.2 视、音频数字化参数

数字电视不进行数据压缩时,码率太高。例如,亮度信号 Y 抽样频率一般选为 13.5MHz (3 倍彩色副载波频率),每样品值经 8bit 量化后,码率为 $13.5 \times 8 = 108\text{Mbit/s}$ 。两个色差信号 U、V 抽样频率,分别为 6.75MHz ($3/2$ 倍彩色副载波频率),每样品值经 8bit 量化后为 54Mbit/s 。所以在不采用任何压缩措施时,总的数码率为 $108 + 54 + 54 = 216 (\text{Mbit/s})$ 。这相当于 3000 多路数字电话话路。从理论上讲,PCM 二进制传输信道每 1Hz 带宽能传输的最高码率是 2bit/s 。因此,这相当于要求信道提供 108MHz 的带宽,是现有视频信号带宽的 10 倍以上。所以说,不压缩时的数字电视信号的数码率太高,频带太宽,从通信系统的观点来看,PCM 传输方式是以带宽为代价换取高的传输质量。为了提高图像通信的有效性,一般不采用直接 PCM 方式传输,而是对数字化后的信源信号先进行数据压缩,然后再传输。现已建立了各种数据压缩的国际标准,数码率可以大大降低。例如:美国所提出的全数字高清晰度电视方案,数据压缩后经数字

调制的信号带宽，可做到与普通 NTSC 制彩色电视信号的带宽相同(6MHz)，但图像质量实现了飞跃。我国的全数字高清度电视压缩后经数字调制的带宽计划为 8MHz，可以在我国 PAL 标准一套普通模拟电视带宽内传输。按照 MPEG-2 MP@ML (主档次主等级)标准，可把一路普通彩色电视数字化后的 216Mbit/s 的数码率压缩到 8.448Mbit/s，它是未压缩前数据量的 3.7%，相当于模拟信号带宽为 4MHz，但与模拟彩色电视相比，其主观图像质量没有任何降低。另外，彩色数字会议电视系统，其国际标准为 H.261 (2.048Mbit/s)，数据量仅为未压缩前的 1%，图像质量也可以达到满意的程度。可见，数据压缩的前景可观，数字调制技术更是方兴未艾。例如，8.448Mbit/s 的数字电视信号，经 64QAM 数字调制以后的模拟带宽可降到 1.2MHz，则在 8MHz 带宽中，可传 6 路 8.448Mbit/s 经调制以后的数字电视信号。

目前已被采用的数字电视设备有数字电视编解码器、数字演播室设备(包括数字摄像机、数字特技、数字时基校正器、数字帧同步机、数字录像机等)、数字调制解调器、数字电视接收机等。数字化设备可大大扩展特技功能，加强艺术效果。

从数字电视发展的趋势来看，可有如下进程：第一步实现普通电视的数字化，利用 MPEG-1 的国际标准，将数据率压缩到 2.048Mbit/s 速率(VCD 质量)，其图像质量可优于家用录像机 VHS 的质量；第二步按 MPEG-2 标准中的主级标准，将数据率压缩到 8.448Mbit/s，其图像质量可达现有电视演播室的质量(DVD 质量)；第三步按 MPEG-2 的高级标准，将数据率压缩到 20Mbit/s 左右，其图像质量可达 HDTV 的质量。将来，人们不会只满足于 HDTV，还会有更高级的电视。例如，可能出现垂直和水平清晰度分别为现有电视的 4 倍和 8 倍的特高清晰度电视和超高清晰度电视，扫描行数可达 2248 行，其图像质量可达 70mm 电影的水平。

1.2.1 视频信号的抽样结构和不压缩时码率的计算

经过大量的主观测试表明，固定的抽样结构比移动抽样结构图像质量要好，从时序的产生和电视信号的数字处理方面来说，要实现固定的抽样结构比移动抽样结构要容易得多。因此，广泛采用固定的抽样结构。固定抽样结构常采用正交结构，即各帧、各场、各行的样点都是垂直对准的。正交抽样结构可直接由时钟频率为行频(f_H)整数倍(m 倍)的抽样频率抽样产生。

例如，对我国 PAL 制电视来说，行频 $f_H = 15625\text{Hz}$ ，如果取抽样频率为 13.5MHz 的话，每行得出来的样点刚好为正交整数样点结构，即为

$$\frac{13.5\text{MHz}}{15625\text{Hz}} = 864$$

CCIR 601 号建议中，要求采用分量信号 Y、U、V 进行编码压缩。在对数据压缩之前，必须对分量信号进行正交抽样。Y:U:V 抽样点结构可分为 3 种，即 4:4:4、4:2:2、4:2:0。

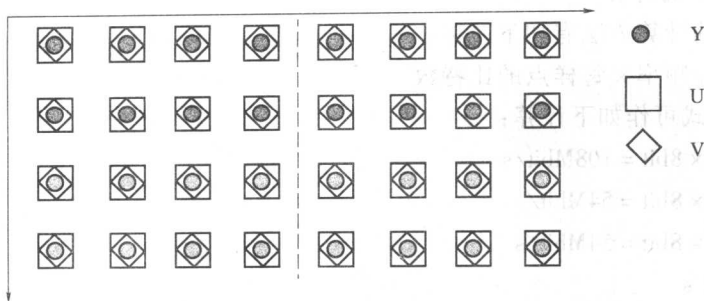
一、4:4:4、4:2:2、4:2:0 抽样点结构

图 1.2.1 表示出 4:4:4、4:2:2、4:2:0 三种抽样结构。图 1.2.1 (a)为 4:4:4 样点结构，该结构中每 1 个抽样点都有亮度信号 Y 和 2 个色差信号 U、V。图 1.2.1 (b)为 4:2:2 样点结构，该结构中每 1 个抽样点都有亮度信号 Y，而在行方向每 4 个亮度 Y 样点才分别有 2 个色差信号 U、V 样点。图 1.2.1 (c)为 4:2:0 样点结构，该结构中每 1 个抽样点都有亮度信号 Y，而在上、下两行每 4 个亮度 Y 样点才分别有 1 个色差信号 U、V 样点。

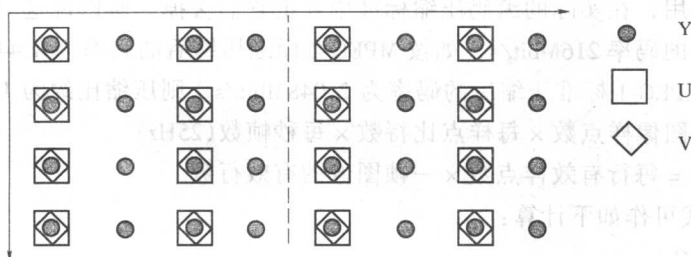
二、图像数据格式和不压缩时码率的计算

1. 几种典型数字电视设备的图像数据格式

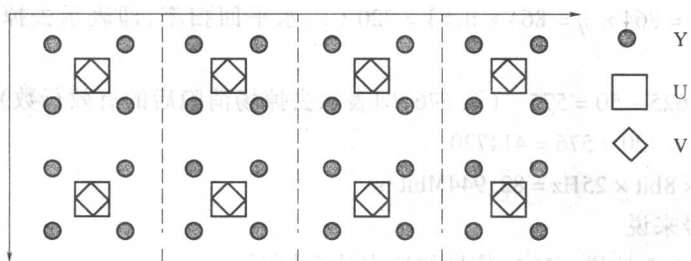
表 1.2.1 列出了几种典型的数字电视设备的数据格式。



(a) Y:U:V=4:4:4



(b) Y:U:V=4:2:2



(c) Y:U:V=4:2:0

图 1.2.1 4:4:4、4:2:2、4:2:0 抽样结构

表 1.2.1

几种典型的数字电视设备的数据格式

系 统	编 码 方 式	Y 像素结构 (宽 × 高)	U、V 像素结构	帧 数 / s
电 视 电 话	QCIF	176 × 144	88 × 72	25
VCD	MPEG-1 (CIF)	352 × 288 (PAL)	176 × 144	25
	(SIF)	352 × 240 (NTSC)	176 × 120	30
DVD	MPEG-2 (D1)	720 × 576 (PAL)	360 × 576	25
		720 × 480 (NTSC)	360 × 480	30
HDTV	MPEG-2 (高级窄屏)	1440 × 1152	720 × 576	25
		4:3	1440 × 960	720 × 480
	MPEG-2 (高级宽屏)	1920 × 1152	960 × 576	25
		16:9	1920 × 960	960 × 480

注：QCIF: Quarter Common Intermediate Format (四分之一公用中间格式)；CIF: Common Intermediate Format (公用中间格式)；SIF: Source Input Format (源输入格式)；VCD: Video Compact Disk (视频光盘)；DVD: Digital Video Disk (数字视频光盘)；HDTV: High Definition Television (高清晰度电视)；D: Definition (分辨率)。

2. 不压缩时码率的计算

不压缩时码率的计算方法有如下两种：

(1) 码率 = 抽样频率 × 每样点的比特数

对 DVD 图像格式可作如下计算：

$$Y \quad 13.5\text{MHz} \times 8\text{bit} = 108\text{Mbit/s}$$

$$U \quad 6.75\text{MHz} \times 8\text{bit} = 54\text{Mbit/s}$$

$$V \quad 6.75\text{MHz} \times 8\text{bit} = 54\text{Mbit/s}$$

合计为 216Mbit/s

按照这种计算方法包括了行、场消隐期间的所有的样点数据。实际上行、场消隐期间的样点数据对显示图像无用，在实际的编码压缩标准中要把它们去掉。所以说这只是一种粗略的估算。按此方法算出来的码率 216Mbit/s，如按 MPEG-2 标准压缩后的码率为 8.448Mbit/s，则压缩比约为 26:1；如按 MPEG-1 标准压缩后的码率为 2.048Mbit/s，则压缩比约为 100:1。

(2) 码率 = 一帧图像样点数 × 每样点比特数 × 每秒帧数(25Hz)

一帧图像样点数 = 每行有效样点数 × 一帧图像的有效行数

对 DVD 图像格式可作如下计算：

① 对 Y 信号来说

$$\text{一行样点数} = \text{抽样频率} / \text{行频} = 13.5\text{MHz} / 15.625\text{kHz} = 864$$

一行有效样点数 = $864 \times \eta = 864 \times 0.83 = 720$ (η : 水平回扫率, 即表示去掉行消隐后的有效样点)

$$\text{一帧有效行数} = 625 - 50 = 575 \quad (\text{取 } 576, \text{即表示去掉场消隐后的有效行数})$$

$$\text{一帧图像样点数} = 720 \times 576 = 414720$$

$$Y \quad 720 \times 576 \times 8\text{bit} \times 25\text{Hz} = 82.944\text{Mbit/s}$$

② 对 U、V 信号来说

如按 Y:U:V = 4:2:2 抽样, U、V 信号的速率计算如下：

$$V \quad 360 \times 576 \times 8\text{bit} \times 25\text{Hz} = 41.472\text{Mbit/s}$$

$$U \quad 360 \times 576 \times 8\text{bit} \times 25\text{Hz} = 41.472\text{Mbit/s}$$

合计为 165.9Mbit/s

按这种计算方法算出的数据速率不包括行、场消隐期间的样点数据。如按 MPEG-2 ML@MP 标准压缩后的速率为 8.448Mbit/s，则压缩比约为 20:1；如按 MPEG-1 标准压缩后的速率为 2.048Mbit/s，则压缩比约为 82:1。

上述(1)、(2)两种计算方法带来的差异只在于行、场消隐期间的样点数据。

实际计算不压缩时的数据速率常采用(2)方式，而且只要知道表 1.2.1 所列出的数据格式就可直接算出。

例如：按 Y:U:V = 4:2:0 计算表 1.2.1 中 VCD 格式不压缩时的数据速率如下：

$$Y \quad 352 \times 288 \times 8\text{bit} \times 25\text{Hz} = 20.2752\text{Mbit/s}$$

$$V \quad 176 \times 144 \times 8\text{bit} \times 25\text{Hz} = 5.0688\text{Mbit/s}$$

$$U \quad 176 \times 144 \times 8\text{bit} \times 25\text{Hz} = 5.0688\text{Mbit/s}$$

合计为 30.4128Mbit/s

如果压缩比为 20:1 时，则经压缩后的数据为 1.52064Mbit/s。这就是我们通常使用的 VCD 的速率。

1.2.2 视、音频信号量化及量化噪声

把幅度上连续变化的信号变为二进制离散信号时，必经过抽样、量化和编码的过程，这3个过程虽然现在可在 A/D 芯片中一次完成，但在严格考察图像质量时有必要分析量化和量化噪声。

视频信号量化采用舍入量化。如图 1.2.2 所示，即用四舍五入来处理被量化信号与预置量化级数电平之间的差值。图中， ΔA 表示量化间距，细线表示视频信号 $f(t)$ ，粗线表示量化后的电平函数 $f'(t)$ 值。这样， $f(t) - f'(t)$ 为舍入量化的量化误差，最大量化误差为 $\frac{\Delta A}{2}$ 。下面分析舍入量化的量化噪声。

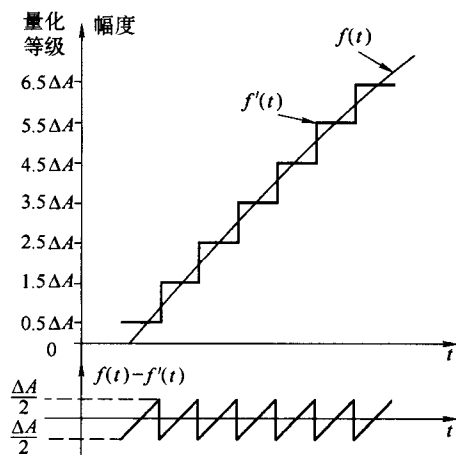


图 1.2.2 舍入量化示意图

若输入信号的动态范围 A 一定时，把它变换为有限个 M 量化电平级，则量化间距 ΔA 越小，量化级数 M 越多， M 可表示为

$$M = \frac{A}{\Delta A} \quad (1.2.1)$$

采用二进制编码，所需的比特数 n 也随 M 而增大，有

$$M = 2^n \quad (1.2.2)$$

M 与 n 的取值主要由量化的信噪比决定。

一、均匀量化时的信噪比

在输入信号的动态范围内，任何处的量化间隔幅度相等的量化称均匀量化或线性量化，从图 1.2.2 可以看出舍入量化的量化误差为 $+\frac{\Delta A}{2}$ 或 $-\frac{\Delta A}{2}$ 范围。设 $f(t)$ 为连续信号， $f'(t)$ 为量化后输出的阶梯信号， $e(t)$ 为量化误差，则有

$$e(t) = f(t) - f'(t) \quad (1.2.3)$$

舍入量化时， $e(t)$ 除 $f'(t)$ 的极大值和转折点缓变区外，其余部分都是锯齿状。 $e(t)$ 的斜率 $k = \Delta A/T$ ，所以 $e(t) = kt + \frac{\Delta A}{T}t$ 。设量化噪声功率为 N_q ，它是单位负载电阻上量化误差电压的平方在周期 T 中的平均值。即