

SHUZI DIANSHI JISHU

数字电视技术

● 张宏伟/著



兵器工业出版社

数字电视技术

数字电视技术

（第2版）



人民邮电出版社

数 字 电 视 技 术

张宏伟 著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书注重基本概念的阐述,深入浅出地介绍了数字电视的原理和应用技术。全书共十章,内容包括数字电视技术基础、数字电视的通用国际标准、世界各国采用的主流数字电视制式标准、数字电视节目制作和播控、数字电视信号编码、信道调制、传输、接收及相关技术、数字交互式电视、数字移动式电视、我国的数字电视标准、接收机顶盒实例等。

本书适合广播电视系统中从事电视设备值机、维护,有线、无线数字电视系统设计、安装维修人员阅读,可作为大专院校相关专业的教学参考书和电视机生产营销人员的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电视技术/张宏伟著. —北京: 兵器工业出版社,
2007.11

ISBN 978-7-80172-904-0

I. 数… II. 张… III. 数字电视—技术

IV. TN949.197

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 113014 号

出版发行: 兵器工业出版社

发行电话: 010-68962596, 68962591

邮 编: 100089

社 址: 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京业和印务有限公司

版 次: 2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

责任编辑: 周宜今

封面设计: 揽胜视觉

责任校对: 郭 芳

责任印制: 赵春云

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 23

字 数: 320 千字

定 价: 48.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

数字电视的迅速发展，使我国电视广播事业正经历着由模拟电视向数字电视过渡的时代，而一系列新技术的出现，给广播电视系统技术人员、有线电视从业人员、电视机生产及营销人员、广大电视机维修人员提出了新课题——必须迅速了解我国数字电视相关标准，了解和掌握数字电视信号的产生方法、传输特点及接收过程，并熟悉数字电视设备及接收机的特点、工作原理、关键部分的工作过程，以便得心应手地进行系统设计、系统维护和从事维修服务，本书就是针对这种需求而编写的。

本书第一、二章，从模拟电视信号的数字化到数据压缩编码技术，讲述了数字电视技术基础理论；第三、四章，不仅介绍了数字电视的国际标准和建议，同时也介绍了世界各国采用的主流数字电视制式标准；第五、六章，内容主要包括数字电视节目制作和播控；第七、八章，讲述了数字电视信号的信道调制、传输系统及相关技术；第九章，叙述了数字电视信号的接收原理及技术；第十章，介绍了数字电视的应用现状，即数字交互式电视、数字移动式电视。

附录提供了《数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编



码和调制》的 GB20600-2006 国家标准 (部分), 提供了数字电视地面接收机机顶盒实例, 以及数字电视常用术语、缩略语英汉对照。

本书在编写上力求做到浅显易懂、重点突出。既阐述理论又介绍应用技术, 并把最新的技术及相关资料呈现给读者。

本书主要供广播电视系统中从事电视设备值机、维护, 有线电视、地面无线电视系统设计、安装维修人员阅读, 也可作为大专院校相关专业的教学参考书和电视机生产营销人员的培训教材。

由于我们的水平有限, 加之时间仓促, 书中错误和疏漏之处在所难免, 敬请读者批评赐教。

作者

2006 年 12 月

目 录

第一章 概 述	/ 1
第一节 模拟电视	/ 1
第二节 数字电视	/ 1
第三节 模拟信号的数字化	/ 4
第四节 模拟电视信号的数字化	/ 10
第五节 数字电视的实现	/ 16
第二章 数据压缩编码技术基础	/ 22
第一节 视频数据压缩的依据及基本方法概述	/ 22
第二节 统计编码	/ 25
第三节 预测编码	/ 27
第四节 变换编码	/ 29
第五节 差值脉冲编码	/ 32
第六节 图像压缩编码技术的新进展	/ 32
第三章 数字电视的国际标准和建议	/ 35
第一节 CCIR 601 号建议	/ 35
第二节 H.261 标准	/ 36



第四节	MPEG-1 标准	/ 39
第五节	MPEG-2 标准	/ 49
第六节	MPEG-4 标准	/ 57
第七节	MPEG-7 标准	/ 66
第四章	数字电视主流制式标准综述	/ 68
第一节	数字电视制式标准	/ 68
第二节	美国 ATSC 制式标准	/ 69
第三节	欧洲 DVB 制式标准	/ 71
第四节	日本 ISDB 制式标准	/ 74
第五节	DVB 与 ATSC 的比较	/ 75
第六节	三种标准的数字地面广播系统比较	/ 76
第七节	我国数字电视广播标准化工作的现状	/ 77
第五章	数字电视节目编制	/ 80
第一节	数字电视摄像技术	/ 80
第二节	数字录像技术	/ 90
第三节	编辑技术	/ 117
第六章	数字电视信号的播出与控制	/ 131
第一节	数字演播室系统	/ 132
第二节	数字电视的播控系统	/ 142
第三节	演播室应用的传输结构和传送协议	/ 147
第四节	数字播控系统平台实例	/ 152
第七章	数字电视信号传输	/ 155
第一节	数字电视信号的基带传输	/ 155
第二节	数字电视信号的载波调制	/ 160
第三节	数字电视信号的纠错编码	/ 171
第四节	数字电视主要传输方式	/ 181
第五节	世界主要数字电视传输标准	/ 182

第八章 数字电视主要传输系统及技术 / 185

第一节 数字卫星电视系统 / 185

第二节 数字有线电视系统 / 195

第三节 数字电视地面开路广播传输 / 224

第四节 国际上数字电视地面广播传输系统及我国标准 / 232

第五节 ITU—R 数字电视地面广播模型 / 256

第六节 HDTV 地面广播传输技术简介 / 257

第九章 数字电视的接收 / 262

概述 / 262

第一节 数字卫星电视接收系统（室外部分） / 263

第二节 数字卫星电视接收机组成原理 / 266

第三节 数字有线电视接收系统 / 271

第四节 数字电视地面广播接收系统 / 276

第五节 数字电视条件接收基本原理 / 280

第十章 数字电视的应用与进展 / 290

第一节 数字交互式电视的种类及其特点 / 291

第二节 数字交互电视网的一般组成及各部分的作用 / 293

第三节 数字交互式电视的现状和发展 / 297

第四节 数字移动式电视 / 305

附录一 GB20600—2006 标准 / 313

附录二 地面数字电视机顶盒(DMB—TH)实例简介 / 334

附录三 数字电视常用缩略语、术语英汉对照 / 345

参考文献 / 359

第一章 概述

第一节 模拟电视

电视技术，从黑白电视到彩色电视经历了几十年的发展，彩色电视已经达到了色彩艳丽、形象逼真、声音悦耳且具有临场感的高级程度，但它仍然处于模拟状态，即模拟电视。它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。

模拟电视信号通过各种方式传输时容易产生噪声，且噪声累加使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，模拟电视还具有稳定度差、可靠性低、调整繁杂、不便集成、自动控制困难以及成本高等缺点。

第二节 数字电视

近十多年来，由于微电子、超大规模集成电路技术，数字信号处理技术、电子计算机技术的飞速发展，使电视技术跨入了数字时代，世界各国正加速模拟到数字电视的转换，进而实现电视广播的数字化。

数字电视是将图像画面的每一个像素、伴音的每一个音节的描述量都用二进制数编成多位数码，并以非常高的比特率进行数码流



发射、传输、接收的系统工程。也就是说在数字电视这个系统工程中发射台发射的电视信号是一种高比特率的数码脉冲串；空中或有有线电视中传输的电视信号也是高比特率的数码脉冲串；电视接收机，从接收到视频放大、色度解码、音频放大等所有过程均为数码流的处理过程。在这个过程中没有数/模或模/数转换，仅在显像管激励终端经数/模转换为负极性图像信号，扬声器功率推动终端经数/模转换为正弦波音频信号，使显像管荧屏显示高清晰画面，扬声器还原出近似临场的立体声或丽音效果。

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、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。

数字电视与模拟电视相比，有如下优点：

(1) 数字电视信号噪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两个电平来表示的，因而在连续处理过程中或在传输过程中混入噪波后，其噪波幅度只要不超过某一额定电平，通过数字信号再生，都可以把它清除掉，即使某一噪波电平超过额定值，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，不会降低信噪比。而模拟信号在处理和传输中，每次都可能引入新的噪波，为了保证最终输出有足够的信噪比，就必须对各种处理设备提出较高信噪比的要求。模拟信号要求 $S/N \geq 40\text{dB}$ ，而数字信号只要求 $S/N \geq 20\text{dB}$ 。模拟信号在传输过程中噪声逐步积累，而数字信号在传输过程中，基本上不产生新的噪声，即信噪比基本不变。

(2) 数字电视可避免系统的非线性失真的影响。而在模拟系统中，非线性失真会造成图像的明显损伤。

(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”电平就可以，电平大一点或小一点无关紧要。

(4) 数字信号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) 由于采用数字技术，与计算机配合可实现各种自动控制和操作。

(6) 数字技术可实现时分多路复用，充分利用信道容量，利用数字电视信号中行、场消隐时间可实现文字多工广播 (Teletext)。

(7) 与模拟电视一样，压缩后的数字电视信号经数字调制后，可进行开路广播，在设计的服务区内（地面广播），观众将以极大的概率实现“无差错接收”（发“0”收“0”，发“1”收“1”），收看到的电视图像及声音质量非常接近演播室质量。

(8) 数字电视可以合理地利用各种类型的频谱资源。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，例如一套电视节目仅占用同一个数字电视频道而覆盖全国。此外，现有的 6MHz 模拟电视频道，可用于传输一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。

(9) 在同步转移模式 (STM) 的通信网络中，数字电视可实现多种业务的“动态组合” (Dynamiccom-Bination)。例如，在一套普通的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（如电子节目指南、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) 数字电视很容易实现加密/解密和加扰/解扰技术，便于专业应用（包括军用）以及广播应用（特别是开展各类收费业务）。

(11) 具有可扩展性、可分级性和互操作性，便于在各类通信信道特别是异步转移模式 (ATM) 的网络中传输，也便于与计算机网络联通。

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



第三节 模拟信号的数字化

一、PCM

PCM 是“数字化”的最基本的技术，模拟信号正是通过 PCM 变换成数字信号的。PCM 是 Pulse Code Modulation（意为脉冲编码调制，简称脉码调制）的缩略语，其具体操作通过取样、量化和编码三个步骤，用若干代码表示模拟形式的信息信号（如图像、声音信号），再用脉冲信号表示这些代码来进行传输/存储。

所谓“代码”是指表示数值的一组二进制或多进制的数字符号，如表示数值“六”的十进制代码是“6”，二进制代码是“110”。PCM 技术中，通常用二进制代码。这些抽象的代码如何表示一个信息信号呢？我们知道，图 1-3-1 (a) 所示的模拟式信息信号的基本特征是其连续性。因为它是连续的，所以在它出现的时域的 $t_0 \sim t'$ 内，任何一个时刻 (t) 都对应一个信号幅值 $u(t)$ （唯一值）。若用一个代码表示一个信号幅值，则因为在 $t_0 \sim t'$ 的有限时段内存在无数个时刻而需无数个代码才能将原信号表示出来；而另一方面，因为原信号是连续的，所以其幅值是在 $u_0 \sim u'$ 内（用 A 表示动态范围，即 $A = u' - u_0$ ）动态变化的任一实数值。而即使在 $u_0 \sim u'$ 这一有限区间内，也存在无数个不同的实数值。若用一个 n 位代码表示一个信号幅值，则需要 $n \rightarrow \infty$ 位代码才能将这些实数值表示出来。显然，沿这一思路来“用代码表示模拟信号”在技术上是不可行的，因为任何技术都无法在有限的时间内处理无数个代码，每个代码又是无穷位。为解决这两个“无穷”的问题。PCM 技术采用了“取样”和“量化”两项措施。

取样 (Sampling) 就是在信息信号出现的时域 $t_0 \sim t'$ 内，用间隔为 T_s 的 $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ 等 7 个时刻所对应的信号幅值，近似地代表原信号在 $t_0 \sim t'$ 内的无数个幅值。其具体实现方式：用原信号对周期为 T_s （即频率为 f_s ）、脉宽 $\Delta \rightarrow 0$ 的脉冲序列见图 1-3-1 (b)，称为取样脉冲，其频率只称取样频率）进行幅度调制。结果如图 1-3-1 (c) 所示，因为取样脉宽无限窄，故调幅后每一脉冲的

幅值等于其出现时刻所对应的原信号幅值。我们把这些用于代表原信号无数个幅值的有限个幅值称为取样值，简称样值。

图 1-3-1 (c) 所标出的各样值是实测值，它们是实数，这就势必存在前述的第二个“无穷”的问题，为此，PCM 技术采取了第二个措施——量化 (Quantization)。其具体操作：将信号幅值变化的动态范围 A ，人为地划分为若干等级 U_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$)，图 1-3-1 (d) 中划分为 $U_0=1V$, $U_1=2V$, $U_2=3V$, $U_3=4V$ 等 4 个等级电平；然后，用“四舍五入”的方式将各样值 (无限个可能值的实数) 变换成有限的 n 个 (上例是 4 个) 量化等级电平值，这样就可以用有限位代码完全表示这有限个等级电平值。我们将相邻两个量化等级电平的差值称为量化步长 ΔA (上例的 $\Delta A=1V$ ，当然也可以选择任意值的电平差，如 $0.1V$ 或 $0.5V$ 等)。

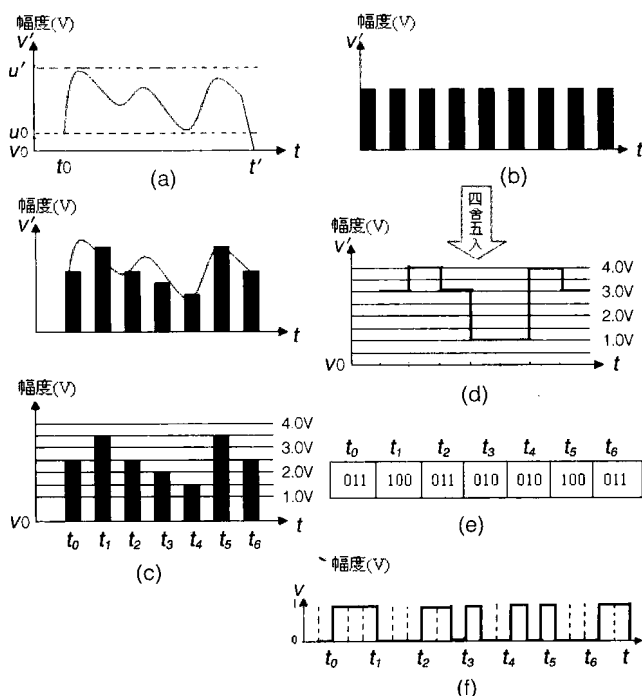


图 1-3-1 PCM(脉冲编码调制)过程

(a)模拟信号；(b)取样信号；(c)取样；(d)量化；(e)编码；(f)数字信号；



编码 (Coding) 就是用 N 位 (bit) 二进制代码表示各样值的量化等级电平值, 在上例中, 可用 3 位二进制代码就完全可以穷尽表示 1V、2V、3V 和 4V 等 4 个量化电平值, 如图 1-3-1 (d) 所示。我们将代码的位数 N 称为量化位数或量化比特数。

显然, 原信号的动态范围 A 一定时, 量化步长 ΔA 愈小, 则量化等级数 n 愈大, 且 $n=A/\Delta A$; 量化等级数 n 愈大, 所需的量化比特数 N 愈大, 且 $n=2^N$ 。

这样, PCM 技术通过取样和量化, 实现了用有限个代码, 且每个代码只用有限位就将原来具有无限个信号幅值的连续模拟信号近似地表示出来了, 如图 1-3-1 (e) 所示。但这些抽象的数字符号代码还不能供机器处理、传输和存储, 它们必须转换成物理信号形式, 通常 PCM 技术用低电平代表“0”, 高电平代表“1”的脉冲信号表示这些代码, 如图 1-3-1 (f) 所示。这些脉冲信号称为脉码调制 (PCM) 信号, 它就是数字信号。众所周知, 这种信号形式正是现代电子计算机能够直接识别和处理的。正因为数字化的信息能直接由电子计算机处理, 所以人们可以在各种信息系统中引入电子计算机, 从而使信息系统的各种信息处理自动化、智能化成为可能。

二、取样及其概念

取样是在时间轴上将如图 1-3-1 (a) 所示的连续的模拟信号转换成离散信号的过程。这一过程是通过模拟信号对一个重复频率为 f_s 的取样脉冲序列 [见图 1-3-1 (b)] 进行脉冲幅度调制 (PAM) 而实现的 [见图 1-3-1 (c)]。

取样定理 (又称奈奎斯特定理或准则): 设原模拟信号的最高频率为 f_c , 当取样频率 $f_s \geq 2f_c$ 时, 从取样的离散信号可完全恢复原模拟信号。这可由具有矩形频率响应曲线的截止频率为 f_c 的 LPF 实现。由于该 LPF 完成的是信号内插的工作, 故它又称为内插波器。 $2f_c$ 称为奈奎斯特频率。

取样噪声: 模拟信号经 PCM 变换成数字信号, 这一过程中, 由于取样而使数字信号表示原信号发生失真的因素主要有混叠噪声和孔径失真。混叠噪声是指在 $f_s \geq 2f_c$ 时, 出现频谱重叠 (见图 1-3-2

PAM 信号的频谱),而使解调后原信号基频混入了 $\pm f_s$ 基频中叠入的频率成分,而造成后者对前者的串扰。后者被看成是前者的噪声,称为混叠噪声。为了抑制混叠噪声,除满足 $f_s \geq 2f_c$ 条件外,实际 PCM 系统还通常在取样电路之前设置一个截止频率为 f_c 的 LPF,将信息信号频谱以外即大于 f_c 的频率成分滤除。但无论是这个 LPF,还是恢复环节的内插 LPF,其滤波特性都不可能那样理想,故不可能完全避免混叠噪声。孔径失真是指由于实际取样脉冲的时间宽度 Δt 不可能趋于零,而是有限值,从而使取样信号(PAM)恢复(解调)后的高频段频率特性下降,由此而引起的失真。

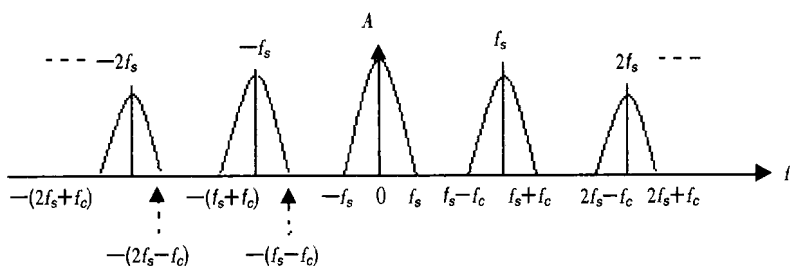


图 1-3-2 PCM 信号的频谱

三、量化及其概念

量化是将取样后在幅度轴上仍然是连续的信号变换成离散信号的过程。这一过程是通过人为地将信息信号幅值连续变化的动态范围划分成若干量化等级,每一等级用一个电平值表示,然后用四舍五入的办法将无限个不同的信号幅值分别用若干个等级电平值表示而实现的[见图 1-3-1 (d)]。量化又可分为均匀量化、非均匀量化、标量量化和矢量量化等多种形式。

均匀量化是指量化步长 ΔA 在原信号幅度变化动态范围 A 内保持不变的一种量化方式,又称线性量化。非均匀量化是指量化步长 ΔA 在原信号幅度变化动态范围 A 内,根据信号幅度而变化(通常大信号时 ΔA 大,小信号时 ΔA 小)的量化方式,又称非线性量化。通常有两种实现方法:①直接采用非均匀量化器,②采用均匀量化器。而在其前面用压缩器对输入信号进行压缩,解码时,在量化解码后,用扩张器恢复原信号特性。这种量化又称压扩量化。目前,



压扩量化只在数字电话网中实际应用。

PCM 编码中, 一个样值一个样值地进行量化叫标量量化 (Scale Quantization, SQ) 或无记忆量化。上述均匀量化和非均匀量化都是标量量化。标量量化将信号的各样值看作是彼此独立的, 而实际上视音频信号各样值之间存在着较强的相关性。利用这些相关性, 就能在只知道一个样值参数的情况下, 推算出其邻近样值, 从而进一步提高编码效率。所以, 在数字视音频的实际信源编码中, 大多不采用标量量化, 而采用矢量量化等带记忆的量化器。

矢量量化 (Vector Quantization, VQ) 又称记忆量化, 是指先将信号的样值进行分组, 每组由 K 个样值构成一个 K 维矢量, 然后以矢量为单元, 逐个矢量进行量化。其编、解码原理如图 1-3-3 所示。矢量量化可更有效地提高压缩比, 但一般存在失真。

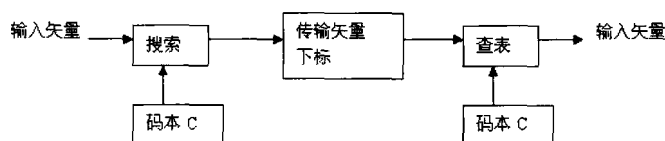


图 1-3-3 矢量编/解码原理框图

图中输入量是一个待编码的 K 维矢量, 即先将输入图像分割成 m 个方块, 每个块的尺寸为 n^2 , 然后把每一个方块以列 (行) 堆叠成 K ($K=n^2$) 维矢量, 作为编码输入矢量。码本 C 是一个具有 N 个 K 维矢量的集合, $C = (y_i), i=1, 2, \dots, N$ 。码本 C 实际上是一个长度为 N 的表, 这个表的每一个分量是一个 K 维矢量 y_i , 称其为码字。在接收端有一个与发送端完全相同的码本 C 。矢量量化编码过程就是从码本 C 中搜索一个与输入矢量最接近的码字 y_i 的过程, 在码本中寻找与输入矢量完全一致的码字的概率很小, 但只要二者之间误差最小时, 便可使用该码字 y_i 来代替输入矢量。传输时并不传送码字 y_i 本身, 只传送其下标号 i 。若码本长度为 N , 传送下标所需要的比特数为 $\log_2 N$ 。传送一个像素所需要的平均比特数为 $(1/K) \cdot \log_2 N$ 。矢量量化的关键问题是设计一个良好的码本, 再就