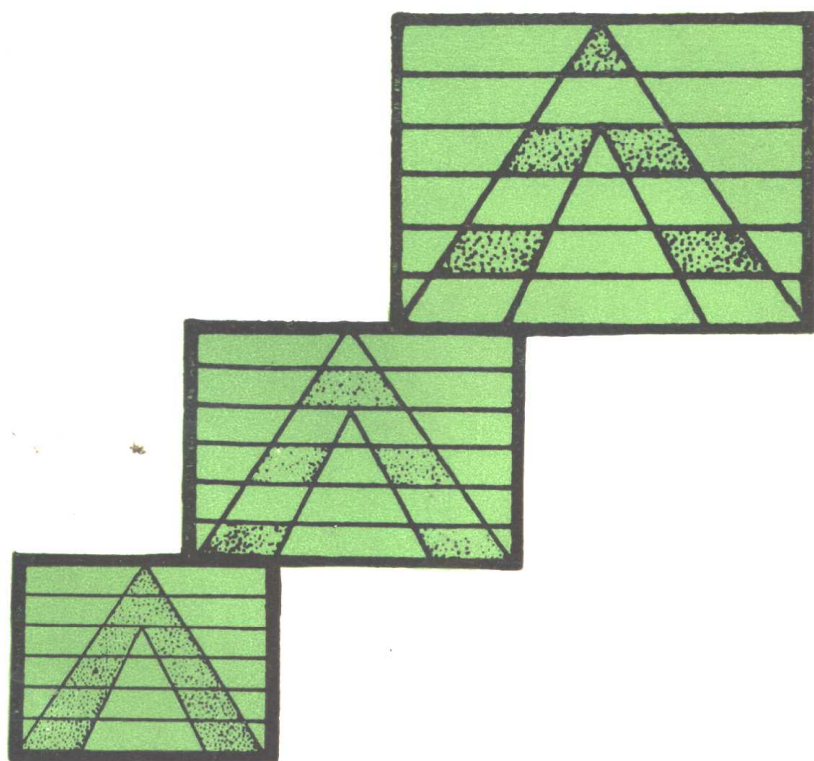


数字电视浅说

肖克昌 杜百川 编著



科学出版社

数字电视浅说

肖克昌 杜百川 编著

科学出版社

1987

内 容 简 介

数字电视是近十年来在数字视频处理技术领域迅速发展起来的一门新技术，它是计算机技术和电视技术相结合的产物。

本书介绍了数字电视的基本原理，模拟信号和数字信号的区别，并着重讲述了模拟信号转变成数字信号的三个步骤——取样、量化、编码，以及数字电视信号参数选择和码率压缩的基本方法；同时还介绍了数字特技，数字录像机，数字电视机等。全书共分十章。

本书可供数字电视技术的爱好者，从事广播、电信技术工作的广大职工和管理干部，以及有关的工程技术人员阅读、参考。

数 字 电 视 搜 索

肖克昌 杜百川 编著

责任编辑 曹美玉

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 1/32

1987年12月第一次印刷 印张：5 1/8 插页：1

印数：0001—2,700 字数：114,000

ISBN 7-03-000029-3/TN·4

统一书号：15031·891

定价：1.45元

前 言

数字电视是相对于模拟电视而言的，它是数字计算机技术和电视技术相结合的产物。虽然数字电视问世只有短短十多年的历史，但是发展速度之快，新成果、新设备之多，出乎人们的预料。现在，一个崭新的数字电视领域已经形成，各种功能的数字电视设备正在电视节目制作的各个环节大显身手。可以毫不夸张地说，离开了数字电视，现代电视节目的制作就无从谈起，电视图像质量的改进与提高就成为一句空话。对于大多数读者来说，数字电视仍然是陌生的。这本小册子就是为希望了解这一新技术的读者提供一些入门的知识。由于数字电视涉及到高深的数学理论和复杂的电路分析，要用比较通俗易懂的文字来描述它，确有力不从心之感，虽然我们尽了很大的努力，但肯定还会有许多不足甚至谬误之处，请广大读者不吝指正。

本书的初稿承蒙张永辉副教授审阅并提出修改意见，对此表示衷心感谢。

编 著 者

目 录

概述	(1)
第一章 模拟信号与数字信号	(7)
1.1 模拟信号	(7)
1.2 数字信号	(12)
1.3 二进制数	(15)
1.4 数字信号的传输	(19)
第二章 模拟电视系统是怎样工作的	(24)
2.1 从摄像到显像	(24)
2.2 扫描与同步	(27)
2.3 全电视信号的组成	(29)
2.4 彩色电视的基本原理	(32)
第三章 数字信号是怎样产生的	(40)
3.1 脉码调制 (PCM) 的基本原理	(40)
3.2 取样定理	(43)
3.3 量化和量化误差	(45)
3.4 编码与码型	(51)
第四章 模/数与数/模转换器	(55)
4.1 A/D转换器	(56)
4.2 D/A转换器	(63)
4.3 视频A/D与D/A转换器的特点及其主要性能	(66)
第五章 数字电视信号参数的选择	(69)
5.1 电视图像质量的主观评价	(69)
5.2 复合编码与分量编码	(72)
5.3 取样频率和样值结构图	(74)

•• i ••

5.4	量化比特数的选定	(77)
第六章	数码率的压缩	(81)
6.1	莫尔斯码是怎样发明的	(82)
6.2	差值脉冲编码调制	(84)
6.3	霍夫曼编码	(86)
6.4	预测编码	(88)
6.5	变换编码	(90)
6.6	利用人眼的生理特性进行压缩编码	(93)
第七章	存贮器在数字电视设备中的妙用	(97)
7.1	存贮器的大家族	(97)
7.2	时基校正器和帧同步机面临的共同问题	(99)
7.3	时基校正器的基本原理	(101)
7.4	数字视频参数的选择	(102)
7.5	存贮器	(103)
7.6	存贮器控制电路	(105)
7.7	失落补偿	(109)
7.8	帧同步机	(110)
7.9	静止图像存贮器	(112)
第八章	数字特技	(116)
8.1	特技的由来	(116)
8.2	数字特技设备的基本结构	(119)
8.3	由信号电平变换形成的特技	(120)
8.4	以水平、垂直方向扩大缩小为基础的特技效果	(121)
8.5	多通道处理	(126)
第九章	数字录像机	(130)
9.1	数字和模拟录像机信号处理系统的比较	(131)
9.2	磁记录设备中的高精尖产品	(133)
9.3	通道编码	(134)
9.4	纠错编码	(140)
9.5	同步和数据结构	(143)

第十章 数字电视机	(146)
10.1 采用数字处理的优点	(146)
10.2 电视信号从哪里开始数字化	(147)
10.3 用数字PAL解码改进图像分辨率	(149)
10.4 用数字滤波器改善图像清晰度	(151)
10.5 增强场频去除闪烁	(152)
10.6 使用自适应技术改善信噪比	(153)
结束语	(156)

概 述

六十年代末期，随着数字集成电路技术的迅速发展，计算机技术在国民经济的各个领域开始获得广泛的应用。以计算机技术为核心的数字技术很快地渗透到无线电电子学的各个领域，各种冠以“数字”的新技术象雨后春笋般地出现在科学技术的百花园中。如今，数字通信、数字电话、数字唱片、数字音响设备、数字图像处理、卫星数字通信以及数字控制、数字测量等数字技术已经或正在取代传统的模拟电子技术，把无线电技术推向了一个崭新的阶段。

电视图像信号的处理技术又称为视频处理技术，一直是以模拟方式进行的。直至七十年代初期，数字技术才叩响了视频处理技术的大门。最近十年来，数字视频技术有了迅速的发展，已经形成了一个全新的数字视频处理的新领域，这就是人们常说的数字电视。对数字电视，不要误认为是用数字来显示图像。电视机屏幕上的图像，无论是黑白的还是彩色的，都是被摄景物的光学重显，这种显示不可能用数字或数码的显示来实现。所谓数字电视，是相对于模拟电视而言的。模拟电视中，景物的亮度和彩色变化，是用电量的参数变化来模拟，而数字电视则是用数码来表示。对数字化的视频信号进行各种处理、校正、混合、切换、记录、存贮、传输，均属于数字视频技术的研究范畴。数字视频信号最后还要还原成模拟信号才能供监视收看。

数字技术并非始于今天，它的发展史可追溯到十九世纪三十年代。最早出现的电报就是属于数字通信。1832年，美

国人莫尔斯(Morse)发明了电报。几年之后,莫尔斯在同事的帮助下架通了从华盛顿到巴尔的摩(Baltimore)的电报线路,这是世界上第一条通信线路。1844年5月24日,在华盛顿举行了隆重的实验,莫尔斯的助手从64公里以外的巴尔的摩用点、划、空(隙)发来了一句简短的话:“上帝创造了何等的奇迹!”从此揭开了现代通信的序幕。这种用点(短脉冲电流)、划(较长的脉冲电流)、空(无电流)的适当组合来代表字母、数字和标点符号,称为莫尔斯码。这种由三种符号组成的代码,可以看成是最早出现的顺序三进制码。

数字技术的许多基础理论是在本世纪二十年代以后才逐步完善起来的。其中应该特别提到的是奈奎斯特(Nyquist)和香农(Shannon)在这方面的贡献。1928年,奈奎斯特在一篇题为“电报传输理论中的若干论题”的文章中,首次提出了取样原理。香农后来对这一原理作了明确的说明并作为定理加以应用,这就是著名的奈奎斯特取样定理。取样定理指出,如果取样频率是原始信号最高频率的两倍,则可以完全无失真地恢复原始信号。取样定理为模拟信号数字化奠定了基础。香农在信息论方面所作的贡献是开拓性的。他所提出的定量计算信息量的香农公式以及噪声信道容量的计算公式,对信息论和现代数字通信理论的建立均具有重大的意义。

1937年是数字通信发展史上值得纪念的一年,这一年英国人里夫斯(Reeves)首次提出了脉冲编码调制技术,简称脉码调制(PCM)。里夫斯认为,将取样的模拟信号值归并为有限个等级,再将其用二进制编码来表示,所得到的信号具有很高的抗干扰性能。于是一种新的数字传输方式——脉码调制应运而生。通常,脉码调制用英文缩写PCM表示。PCM技术的发明揭开了现代数字通信新的一页,预示着通信

技术将面临着一场新的变革。

但是,技术的发展必然受到历史条件的制约。由于器件和制作工艺方面的限制,PCM在通信领域里的实际应用却姗姗来迟。十年之后,第一个脉码调制设备在美国问世。但是这台庞大的设备并没有得到实际应用,因为当时唯一能作为高速开关的器件是电子管,而电子管并不是很好的开关,并且功耗大,稳定性差。直到六十年代初,速度高、开关特性好、功耗小的晶体管出现后,实用的脉码调制设备才研制成功。1963年,美国贝尔实验室研制的T1型24路脉码调制设备正式用于通信线路,并获得成功。这一成就标志着脉码调制技术开始迈出实验室的门槛,走向了实用阶段。以此为起点,美国、西欧和日本相继建立起庞大的数字通信系统,在通信领域中传统的模拟方式开始了向数字方式的革命性的过渡。

数字电视开创性的工作主要也是由贝尔实验室完成的。他们在可视电话的研制中完成了视频数字处理中许多基础研究的工作。可视电话是既能通话又能见到通话对方的一种通信方式。传输一路可视电话图像需要1兆赫的带宽,约需占用300—400路电话的容量。为压缩可视电话的带宽,贝尔实验室曾做过大量的研究工作,提出了多种方案,所有这一切对视频数字处理都是可以借鉴的。

电视图像信号的带宽比可视电话图像要高好几倍,对器件的速度和存贮容量的要求也高得多。数字技术本身就是植根于集成电路技术的沃土中而成长起来的,数字电视就更离不开大规模集成电路的发展。可以说,没有大规模集成电路工艺制造出来的高速模/数(A/D)转换器,大容量、高速度的半导体存贮器,以及快速运算器,数字电视的发展也就没有今天。

近十多年来,正是大规模和超大规模集成电路从诞生到迅速发展的时代,在此期间集成电路的密度提高了几个数量级,运算速度提高了几个数量级,而成本却下降了几个数量级。以数字设备中的核心器件A/D转换器为例,六十年代初期,一个A/D转换器要占用整整一个机柜,如今A/D转换器的全部结构可以集成在一块芯片上。美国生产的TDC100TJ视频A/D转换器,在 6.5×6.5 平方毫米的基片上容纳了17000个晶体管和电阻,可以在视频带宽内实现8比特模/数转换,取样频率为30兆赫,能在33纳秒内完成一次模/数转换。存贮器方面的进展也相当迅速,特别是金属-氧化物-半导体(MOS)集成电路的问世,推进了半导体集成电路技术向更高的集成密度方向发展。半导体存贮器的容量以几何级数的速度逐年递增。1973年存贮量为1K位(1024位)的MOS随机存贮器开始大批生产,仅仅过了几年,容量为64K位的随机存贮器已经出现在国际市场上,目前,256K位的存贮器也已商品化。

数字技术引入到视频处理中,是大规模集成电路发展的必然结果,也是电视技术发展的必然趋势。七十年代初期,电视技术正处在由黑白电视向彩色电视全面过渡的阶段。当时,NTSC制彩色电视广播已有近二十年的发展历史,六十年代中期出现的PAL制和SECAM制正以空前的速度席卷欧洲。人们对电视节目的质量和报道速度的要求日趋增高,出现了电子现场节目制作(EFP)和电子新闻采访(ENG),使电视新闻节目的制作摆脱了电影胶片的制约,加强了电视新闻的及时性和现场感。EFP/ENG和卫星传送相结合,使万里之遥发生的事件瞬间就能传遍千家万户。电视节目制作的变革要求提供小型、轻便、高质量的摄像和录像设备。当时作为广播录像用的主要机型是笨重复杂的四磁头录像机,这

种机型已经不能适应电视节目现场制作的需要，而轻便的螺旋扫描录像机因机械抖动等原因引起时基误差，又无法满足电视广播质量的要求。数字电视技术正是在这一问题上取得突破。1973年，美国联合视频公司研制出第一台数字式时基校正器，一举解决了螺旋扫描录像机在电视广播中的应用问题，结束了多年来对这种录像机前途的各种争论。正是由于数字式时基校正器的出现，导致了螺旋扫描方式取代四磁头录像方式的一场变革。现在这场变革已经取得了成功，四磁头录像机已经成为过时的机型而被淘汰。

数字时基校正器初战告捷引起了人们对数字电视的兴趣，数字电视技术在模拟电视系统的各个环节产生了连锁反应。短短几年间，各种功能的数字电视设备开始在各国的电视台中出现。除了时基校正器已广为采用外，还有数字制式转换器、数字帧同步机、数字特技设备、数字静止图像库及数字式杂波抑制器等一大批专用数字视频设备。数字电视技术在接收机中也大有用武之地，它不但可以提高现有电视图像的质量，还可以在同一屏幕上显示多个不同的电视画面供观众选看。利用电视图像的场逆程传送数字编码的静止图像，可以大大提高现有电视机的使用效率，这些静止图像可以用来传送文字新闻、气象预告、车船航班、商品广告等多种信息，这种系统称为文字图形电视（图文电视），在欧、美和日本已经付诸实施。

数字电视当前面临着制定统一标准的问题，各国电视工作者对于世界彩色电视制式长期无法统一所带来的后果都深感遗憾。目前，数字电视也存在类似的问题。因为彩色制式的差别一直影响各国数字电视的研究方向，各国电视工作者都希望在数字电视还处在襁褓期就将其标准统一起来。为此，美国的贝尔实验室、哥伦比亚广播公司（CBS），英国的独立

广播公司 (IBA) 和英国广播公司 (BBC), 以及日本广播协会 (NHK) 等许多广播电视机构, 还有有关专业组织和国际机构, 如美国电影电视工程师协会 (SMPTE)、欧洲广播联盟 (EBU) 等, 对数字电视标准的制定都进行了大量的探索实验和主观测试, 为制定统一的国际标准提供了科学的数据。1982年, 国际无线电咨询委员会 (CCIR) 通过了关于演播室数字电视设备编码参数的建议, 提出采用分量编码, 亮度信号和色度信号的取样频率为 $4:2:2$, 并在建议书中提出了详细的参数。采用这些规定将使各国的数字电视设备具有最大的兼容性, 这将为进一步制定数字电视全面的技术规范打下良好的基础。

数字电视信号要求的带宽是模拟信号的10倍以上, 需要大容量的数字干线来传输。近几年来, 不少国家都致力于研究在保证图像质量的同时使带宽能大幅度地压缩, 现在已经可能将数字电视信号的比特率由140兆比特/秒压缩到30—40兆比特/秒, 这样就有可能采用目前国际上通用的三次群的数据干线来传输一路数字电视信号。

近十年来数字电视技术已经给广播电视带来了巨大的变化, 它不仅在提高播出质量方面起着重要的作用, 而且使电视节目的制作发生了变革。许多以模拟方式难以解决或无法解决的技术及编排方面的难题, 例如实现图像在三维空间的任意变化及降低图像噪声等, 在数字电视范畴内都变得十分容易。现在, 全数字化的演播室已经列入许多国家的电视台规划之中。可以预见, 全数字化的电视中心将指日可待。

第一章 模拟信号与数字信号

自从1936年11月英国广播公司在伦敦首次向公众进行电视广播以来，电视一直是采用模拟方式进行工作的。十多年前出现了第一台数字电视设备，数字技术的光芒射进了视频处理领域，向人们显示出数字电视的巨大潜力和光辉前景。

人们不禁会问：数字电视为什么会有如此之魅力？它与模拟电视究竟有何不同？为了回答这些问题，还是先从模拟信号谈起。

1.1 模 拟 信 号

在日常生活中，各种物理量如温度、压力、重量及各种电量，都可以用模拟方式来计量，也可以用数字方式来计量。例如，水银温度计、计算尺、指针式电压表等均属于模拟计量装置。水银温度计用水银柱的高低来模拟温度的变化；计算尺用长度来模拟计算量的大小；指针式电压表则用指针的偏转角度来表示电压的高低。常见的数字计量装置有数字式钟表和各种数字式仪表等。

下面，用指针式电压表和数字式电压表为例来说明模拟和数字两种不同计量方式的特点。如图1.1所示，被测量电压从指针式电压表上读出值为12.5伏，而从数字式电压表上读出值则为12.512伏，两者稍有差别。原因是指针式电压表从原理上说可以连续显示电压的变化，但电压实际读出值的精度是与表盘刻度和测量人员的经验有关的。数字式电压表的

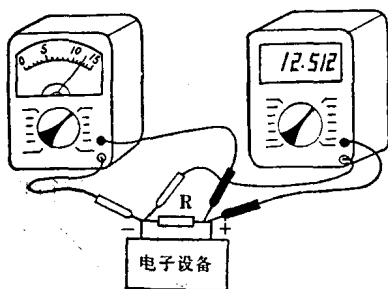


图1.1 测量电压的两种方法

读数不是连续的，是以基本计数单位作阶跃变化的，小于基本计数单位的电压值显示不出来。所以，数字电压表的精度由数字的有效位数决定，位数越多读数越精确。

一般说来，模拟量是连续变化的，它可以用一条随时间变化的曲线来表征。当歌唱家对着话筒歌唱时，在话筒电缆线中流动的是随时间连续变化的音频电流；舞蹈家在电视摄像机前翩翩起舞，摄像机输出电缆中流动的是随时间连续变化的视频电流。在电子示波器的屏幕上，它们显示出如图1.2所示的电压波形。这些波形是用电压幅值的变化来模拟声音强弱和景物的明暗。模拟信号的连续性，不仅时间上是连续的，幅度的取值也是连续的。我们假设图1.2中声音信号的变化范围是 ± 1 伏，如果不考虑噪声，那么信号的幅值可以是这一范围内的任一数值。也就是说，信号的幅值可以取无限多个值。

模拟信号对通道有很高的要求，这不仅因为模拟信号本身占有一定的带宽而包含有多种频率分量，而且通道对各种频率分量引起的失真具有累积

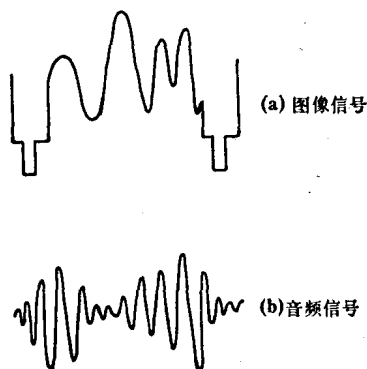


图1.2 模拟信号的波形

效应，信号经过的环节愈多，引入的失真就愈严重。下面我们看看传输通道对模拟信号会产生怎样的不良影响，人们又是如何来解决这些问题的。

通常，模拟信号要经过放大、调制、传输等环节才能到达接收端，接收端还要进行放大、解调才能还原出原来的信号。我们把信号传输的全部路径称为通道。实际通道包括各种放大器、各类信号处理装置以及电缆、微波和卫星通道等。对任何通道的要求总是应使接收端重现的信号尽可能与发送端一致。考虑到传送信息的实际需要和降低通信费用，对不同的信号有不同的要求。例如，电话只要有3—4千赫的带宽就可以分辨出讲话人的声调和所讲的内容；高保真的音乐节目需要占用20千赫的带宽；可视电话需要1兆赫的带宽；一路彩色电视图像信号的带宽可达6兆赫。由此可见，一路彩色电视信号所占用的带宽几乎是电话带宽的2千倍。为了不失真地传送图像信号，要求通道具有6兆赫平坦的频率特性，保证信号中各种频率分量都能顺利通过，这是对通道的最基本要求。从图像信号波形的组成来看，它既含有缓变的低频分量，也含有大量构成了图像细节的急剧跃变的脉冲分量，只有让信号波形不失真地通过所有的通道，才能在接收机屏幕上重现优质的图像。通道的低频响应不好会造成图像底色不均匀，通道的高频响应差将使重现图像失去细节，清晰度下降。彩色图像对高频响应的要求就更加严格，因为图像彩色还原的好坏与通道的高频特性有直接的关系，高频特性不良会使彩色变淡甚至完全失去彩色。通道的相位特性不良，可能会引起镶边效应，还可能使彩色和黑白图像错位，看上去就象一幅没有套好色的彩色印刷图片。通道的非线性失真还可能造成色调畸变，使屏幕上重视的彩色和现实生活中的色调格格不入。模拟信号对通道的各种失真

十分敏感这一固有缺陷，使得模拟信号的传送和复制变得困难。因为模拟信号要经过各种名目繁多的放大器、处理装置、混合与切换设备以及记录、复制设备，才能送入传输通道，再经由电缆、微波、卫星等通道转发到其它地方。在这样复杂的环节中，每一个环节都可能使信号产生畸变，对模拟信号来说，这种畸变一般是无法消除的。当信号由一个环节传到下一个环节，从一个中继站传到下一个中继站时，畸变就像滚雪球似地愈来愈大。在节目的多代复制过程中，畸变的累积性导致复制质量一次不如一次，这些问题长期以来一直困扰着电视工作者。

再看看人们最关心的噪声吧！噪声在电视图像上是以杂波的形式出现，在电视技术中也常把噪声称为杂波。一幅质量很好的电视图像往往由于增加了杂波而严重降级。经常出现在电视画面上的那种雪花似的杂波干扰，就是遍及通道各处而又难以消除的随机噪声。与噪声作斗争也许是无线电工作者最艰巨的任务之一，因为通道性能的基本限制因素是系统本身的噪声，这种噪声不但来自有源器件的电流起伏，还来自电路中无源元件如电阻的热噪声；除此之外，还有外部引入的各类干扰。对于模拟信号来说，噪声和畸变一样，具有累积特性，经过的环节越多，引入的噪声也愈严重。但是，噪声对信号质量的影响并不是由噪声本身的数值所决定，而是决定于信号与噪声的比值。例如，一个 10^{-16} 瓦（万分之一皮瓦）的噪声功率，在一般情况下是完全不用考虑的，因为它比电路中一个2千欧姆电阻在常温下所产生的噪声功率还要小150倍以上，与通常的信号功率相比完全可以忽略。但在宇宙通信中，它却足以把有用信号完全淹没，因为在这些场合所接收到的信号也是十分微弱的。在接收信号十分微弱的那些环节中，如微波接收机的输入变频器，电视摄象机