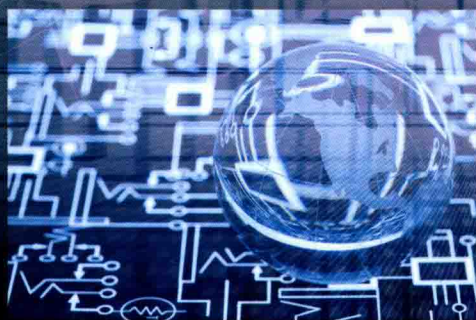


数字电视技术与应用

SHUZIDIANSHIJISHUYUYINGYONG

鲁业频 杨吉超 孔 敏 编著



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图冲空或漏目(CIP)被盖

数字电视技术及应用, 杨吉超, 孔敏, 鲁业频, 合肥工业大学出版社

目 录

· 3016.13

ISBN 978-7-302-3192-0

1. 第一章 绪论 1.1 电视技术的发展 1.2 数字电视技术的特点 1.3 数字电视系统的组成

数字电视技术与应用

鲁业频 杨吉超 孔 敏 主编

1.4 数字电视系统的标准 1.5 数字电视系统的组成

1.6 数字电视系统的组成 1.7 数字电视系统的组成

1.8 数字电视系统的组成 1.9 数字电视系统的组成

1.10 数字电视系统的组成 1.11 数字电视系统的组成

1.12 数字电视系统的组成 1.13 数字电视系统的组成

1.14 数字电视系统的组成 1.15 数字电视系统的组成

1.16 数字电视系统的组成 1.17 数字电视系统的组成

1.18 数字电视系统的组成 1.19 数字电视系统的组成

1.20 数字电视系统的组成 1.21 数字电视系统的组成

1.22 数字电视系统的组成 1.23 数字电视系统的组成

1.24 数字电视系统的组成 1.25 数字电视系统的组成

1.26 数字电视系统的组成 1.27 数字电视系统的组成

1.28 数字电视系统的组成 1.29 数字电视系统的组成

1.30 数字电视系统的组成 1.31 数字电视系统的组成

1.32 数字电视系统的组成 1.33 数字电视系统的组成

1.34 数字电视系统的组成 1.35 数字电视系统的组成

1.36 数字电视系统的组成 1.37 数字电视系统的组成

1.38 数字电视系统的组成 1.39 数字电视系统的组成

1.40 数字电视系统的组成 1.41 数字电视系统的组成

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电视技术与应用/鲁业频,杨吉超,孔敏主编. —合肥:合肥工业大学出版社,
2016.12

ISBN 978-7-5650-3125-0

I. 数… II. ①曹…②杨…③孔… III. ①数字电视—技术 IV. ①TN949.197

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 312499 号

数字电视技术与应用

主编 鲁业频 杨吉超 孔 敏

责任编辑 权 怡 刘 露

出 版 合肥工业大学出版社
地 址 合肥市屯溪路 193 号
邮 编 230009
电 话 综合编辑部:0551-62903028
市场营销部:0551-62903198
网 址 www.hfutpress.com.cn
E-mail hfutpress@163.com

版 次 2016 年 12 月第 1 版
印 次 2016 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张 19
字 数 462 千字
印 刷 安徽昶颜包装印务有限责任公司
发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-3125-0

定价:38.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

目 录

第 1 章 电视及数字电视信号的形成	(1)
1.1 数字电视的基本特点及其分类	(1)
1.2 数字摄像机	(6)
1.3 数字摄像机的特点及其新技术	(15)
1.4 电视信号的数字化过程	(18)
1.5 数字化信号的编码输出	(25)
第 2 章 视音频信号的压缩编码	(27)
2.1 压缩编码的必要性	(27)
2.2 视频信号的压缩依据	(28)
2.3 预测编码的基本原理	(30)
2.4 常用的快速块匹配搜索法	(33)
2.5 Huffman 编码与算术编码	(37)
2.6 离散余弦变换编解码的基本原理	(42)
2.8 音频信号的压缩编解码	(58)
2.9 非线性编辑	(62)
第 3 章 视音频压缩编码标准	(65)
3.1 H. 261 标准	(65)
3.2 JPEG 标准与 JPEG2000	(67)
3.3 MPEG-1、MPEG-2 和 MPEG-4 标准的主要内容	(69)
3.4 MPEG 标准的视频数据流结构	(75)
3.5 MPEG 标准的编码特点	(77)
3.6 MPEG 标准的编解码原理	(79)

3.7 支持 MPEG-2 标准的常用芯片	(82)
3.8 H.264、H.265 标准简介	(86)
3.9 先进音视频编码标准(AVS)	(90)
附录:视频格式及其转换技术	(98)
第4章 数字电视信号的复用与信道编码	(103)
4.1 数字电视的复用系统	(103)
4.2 复用传输流的组成特点	(107)
4.3 复用系统的同步技术	(111)
4.4 电视台的再复用系统	(114)
4.5 信道编码的必要性及其组成	(116)
4.6 差错控制编码	(118)
4.7 循环冗余校验原理与应用	(121)
4.8 基带处理与能量扩散技术	(124)
4.9 外码编码 RS 码的基本特性	(129)
4.10 低密度奇偶校验码(LDPC)特点	(131)
4.11 信道编码中的交织技术	(133)
第5章 数字电视信号调制与单频网广播	(137)
5.1 传输系统特性与滚降滤波	(137)
5.2 数字电视信号的调相与解调	(140)
5.3 DVB-S2 与 ABS-S 卫星传输标准	(147)
5.4 振幅键控的基本原理	(150)
5.5 多电平正交幅度调制与解调制	(151)
5.6 第二代有线传输标准 DVB-C2	(157)
5.7 正交编码频分复用(COFDM)	(158)
5.8 中国地面国标 DTMB 的基本内容	(164)
5.9 DMB-T 系统关键技术	(167)
5.10 地面数字电视单频网广播技术	(171)
5.11 全球数字电视地面传输标准及其进展	(178)

第 6 章 机顶盒与条件接收技术	(182)
6.1 机顶盒的功能与形式	(182)
6.2 机顶盒的基本结构与原理	(183)
6.3 机顶盒的主要技术参数与发展	(188)
6.4 电视接收中的电子节目指南	(196)
6.5 数字电视条件接收技术	(203)
6.6 加密基本原理	(208)
6.7 智能卡与条件接收	(212)
6.8 无卡条件接收技术	(214)
6.9 条件接收的破解与反破解	(216)
第 7 章 数字电视的接收技术	(220)
7.1 有线数字电视的传输特点	(220)
7.2 有线数字电视 C-DOCSIS 组网技术	(223)
7.3 有线数字电视信号的错误监测	(228)
7.4 有线数字电视传输的常见故障与解决方法	(230)
7.5 视频点播与准视频点播	(234)
7.6 主频点与远程在线升级	(237)
7.7 数字电视增值业务	(238)
7.8 三网融合及其特点	(240)
7.9 卫星数字电视接收技术	(242)
7.10 地面数字电视接收技术	(254)
7.11 网络电视特点及相关技术	(262)
7.12 IPTV 与 OTT TV 技术及业务比较	(264)
7.13 智能电视 APP 与多屏互动	(267)
附录:有线数字电视传输与卫星接收常见故障排查	(271)
第 8 章 新型平板显示器件	(275)
8.1 显示器特点及其发展	(275)
8.2 液晶显示器	(276)

8.3 LED 显示器及其他显示器比较	(280)
8.4 OLED 和量子点新型显示器件	(283)
8.5 显示器件的接口	(288)
附录: 立体电视简介	(291)
参考文献	(297)

第1章 电视及数字电视信号的形成

电视机是现代社会每个家庭不可或缺的也是人类感知世界最主要的信息产品之一,图像是人的视觉系统对事物辐射、反射或透射光的反应,电视是在电影基础上诞生而来,处理“光电-电光”的关系,实质是解决人眼与电光显示的问题,以满足人们对客观世界视觉信息之需求。1924年,英国人贝尔德通过机械式扫描原理实现了用电传输图像之目的,发明了最原始的模拟电视机。几乎同时,俄裔美籍科学家斯福罗金首次采用全面性的电子式扫描实现电视的收发系统,成为现代电视技术的先驱。美国 RCA 公司于 1939 年推出世界上第一台黑白电视机,1953 年确定全美彩电标准,并于 1954 年推出 RCA 彩色电视机。电视的诞生满足“百闻不如一见”,拉近了人与自然的距离,使人人都是千里眼,足不出户,便知天下事。所以,模拟电视的发明是 20 世纪人类最伟大的发明之一。

我国第一台“北京”牌黑白电视机 1958 年诞生于天津无线电厂,是参照当时的苏联“旗帜牌”电子管电视机而试制成功的,同年建立北京电视台即今天的“中央电视台”。我国彩电行业起步于 20 世纪 70 年代,第一台彩电于 1970 年在天津通信广播电视厂诞生,从此拉开了中国彩电生产的序幕。到了 20 世纪 80 年代,国内相关企业开始引进彩电生产线并开始大规模生产,同时国外(尤其是日韩)品牌也开始大批量引入中国。这期间国产彩电品牌无论是技术还是规模都有了长足的进步,涌现出长虹、熊猫、金星、牡丹、飞跃等一大批国产品牌,从此国内彩电开始进入了品牌竞争和技术飞速发展时代。

传统的模拟电视,从图像信号的产生、传输到接收机的复原,其整个过程几乎都是在模拟体制下完成的。其特点是采用时间轴取样,每帧图像在垂直方向取样,以幅度调制方式传送视频信号,为降低频带同时避开人眼对图像重现的敏感频率,将一帧图像又分成奇、偶两场的隔行扫描方式,以形成光电转换或电光转换。加上 20 世纪 50 年代电视理论和技术的缺陷,使传统的电视存在易受干扰,色度分解力不足且容易造成亮色串扰、行闪烁与行蠕动,清晰度低和临场感弱,时间利用率和频带利用率都不高,以及不能与现代因特网兼容等缺点。此外,传统模拟电视的 NTSC/SECAM/PAL 三大制式因频道带宽、视频信号带宽及行场结构等参数差异较大而无法兼容。随着计算技术、视音频压缩编码技术和通信技术等的飞速发展,以及超大规模集成电路水平的提高,至 20 世纪 90 年代末,以美欧日为代表的数字电视软硬件技术都达到了较高的应用水准,同时也相继推出各具特色的数字电视相关标准。所有这些,标志着模拟电视技术被推向一个更加崭新的阶段,即以数字电视为特征的第三代电视(黑白和彩电分别为第一代和第二代)从实验室走向寻常的工作和生活中。

1.1 数字电视的基本特点及其分类

1.1.1 数字电视的基本特点

所谓数字电视,指基于数字技术平台,从节目拍摄(图像的每个像素、伴音的每个音节以

及其他各类数据信息)、非线性编辑、压缩编码和信道编码、发射传输、接收到显示的全程数字化电视系统。一个典型的数字电视系统结构如图 1-1 所示。

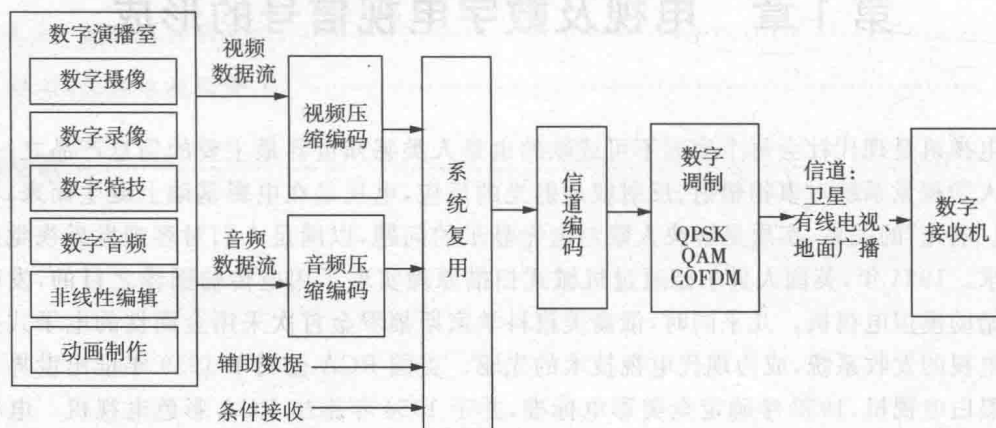


图 1-1 数字电视系统结构(传输信道的不同、调制方式也不同)

模拟电视画面最高质量仅达 VCD 质量(像素数最高是 352×288),而标清数字电视画面质量相当于 DVD 质量,像素数为 720×576 ,高清数字电视(HDTV)的像素数高达 1920×1080 ,画面质量接近 35mm 宽银幕电影水平。传统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得到根本改善,同时,数字电视音频多采用 AC-3 或杜比 5.1 环绕立体声技术,既可避免噪声、产生失真,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。此外,数字电视允许不同类型(音频、视频和数据)、不同等级(高清、标清)、不同制式(屏幕的宽高比、立体声伴音的通道数目)的信号可以在同一信道中传输,用同一台电视接收机接收。可以说,大信息、多业务、多功能和高质量是数字电视的总体特征。与模拟电视相比,数字电视有如下优点。

(1)信号处理与传输的质量主要取决于信源。因为数字电视系统只有“1”“0”两种电平,抗干扰强,非常适合远距离的数字传输,在多次处理过程中或在传输过程中引入杂波后,只要不超过杂波幅度某一额定电平,通过数字信号再生,都可以把它清除掉。即使某一杂波电平超过额定值,造成误码,也可以利用引入信道的纠错编码技术,在接收端把它们纠正过来,从而有效避免系统的非线性失真,大大提高声像质量。而在模拟系统中,非线性失真会造成图像的明显损伤,例如非线性产生的相位畸变会导致色调失真,在处理和传输中,每次都可能引入新的杂波,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,也即信杂比基本不变,即模拟电视的传输质量是抛物线式的,而数字电视的传输质量是矩形式的,即在其有效范围内质量一样(超出范围即马赛克或黑屏)。大量实验证明:收端有足够的信杂比,同一环境下的模拟信号要求 $S/N > 40\text{dB}$,而数字信号只要求 $S/N \geq 26\text{dB}$ 。这样在相同的覆盖面积下,数字电视就大大地节省了发射功率。

(2)数字视音频信号采用高效的压缩技术,节省了大量的频率资源。如原来 8MHz 带宽仅能传一套相当于 VCD 质量的模拟电视,现在可传 9 套以上相当于 DVD 质量的数字电视节目,且更高压缩标准,与时俱进、不断发展。

(3)便于实现计算机网、电视网、电信网走向融合,实现资源共享,构成新一代多媒体通

信系统,没有电视的数字化就没有三网融合。

(4)易于实现信号的存储,数字化后的视音频信号易存储,且存储时间与信号的特性无关。近年来,大规模集成电路尤其是半导体存储器技术、纳电子技术的发展,可以存储多帧的视频信号,从而实现模拟技术不可能达到的处理功能。

(5)为信息化世界的数字化、交互性新媒体、网络视频及其相关软硬件技术的不断快速发展提供动力,彻底颠覆传统收看电视的方式。如 iPhone、iPad 等新时代智能产品,以及 PPTV 在线视频软件的推出就是典型实例。

(6)具有开放性和兼容性。从发端到收端的数字电视系统形成的产业链涉及很多相关产业,包括节目源供应商、应用软件开发商、硬件制造商、网络运营商等,这些产业的产品开发和生产以一个业务平台为基础即符合业内相关标准包括接口标准,改变了模拟体制下的全球电视节目等软硬件产品各自为政、不能交换的特点。

(7)可以合理高效地利用各种类型的频谱资源。对于地面广播而言,数字电视可以启用模拟电视的禁用邻频频道,也能够采用单频率网络广播技术。

(8)很容易实现密码措施,便于开展增值业务、专业应用以及各种数据广播业务的应用。开展各种增值业务及各类条件接收的收费业务,数字电视广播在运营上可控可管,也是数字电视得以快速健康发展的保障。

(9)具有可扩展性、可分级性。可以依据应用形式的不同,将数字电视信号频率的高低进行分级调制传输,也便于在数据重新分组后,在质量不同等级的通信信道上传输,再现出对应的标清或高清视频图像。

(10)“电子节目指南”菜单式的收视界面,为人们选择电视节目、收听广播及接收各类信息提供了人性化的、引导式的操作窗口,这在传统模拟电视下是难以实现的。

(11)数字电视的内涵日益丰富,基于“互联网+电视”彻底改变了人们收看电视的习惯,依托海量的云端内容,用户如同浏览“节目超市”,为用户提供可下载、精准化、定制化服务的双向互动,真正实现“我的电视我做主”,且多屏互动将成为电视发展的趋势之一。

(12)数字电视的出现彻底改变了信息行业的市场结构。各种类型的数字视音频产品,各类形式的数字电视接收机顶盒,以及适用高清显示的 LCD、PDP、LED、OLED 等新型平板显示设备的不断问世等,使人们收视更加灵活多样。

(13)观众也转向个性化的定制消费。数字电视的收视不再是传统的有线、卫星和地面为主,网络电视结合智能电视(手机)更能满足观众的个性化需求,大大提高了收看收视的自主性和随意性,且看电视未必在电视机前,因而数字电视有更广阔的发展空间。

(14)高清智能电视进一步推动电视新技术的大发展。由标清到高清,再发展到超高清 800 万以上像素数,以及新近出厂的多数电视机安装了安卓或 TVOS 操作系统,等等。高清智能电视的问世,进一步提升了接收便利性,传输的信息量也显著增大。

(15)数字电视系统的超长产业链为社会提供了许多工作岗位。该系统涉及的软硬件技术、产品及其标准等,涉及面很广,其竞争更加激烈,在有力地推动世界数字电视事业蓬勃向前发展的同时,也为人们提供了许多大众创业、万众创新的机会。

【知识链接】所谓智能电视,是指将互联网和计算机的技术融合到电视机中,即像智能手机一样,搭载了操作系统,可以由用户自行安装或卸载软件、游戏等第三方服务商提供的程序,通过此类程序来不断对彩电的功能进行扩充,并可以通过网线、无线网络来实现上网冲

浪的这样一类彩电的总称。智能电视把互联网和电视连接起来,可以为用户提供无线的内容和服务,即可以为用户提供完整的互联网体验,包括搜索功能。云电视是指在智能电视基础上,运用云计算、云存储等技术对现有应用进行升级的智能化云设备,它拥有海量存储、远程控制等众多应用优势,并能实现软件更新和内容的无限扩充。通过大数据、云计算来控制后台数据和软件平台,包括基础操作平台和应用操作系统,彩电用户不需要为自家的电视进行任何升级、维护、资源下载,只需将电视连上网络,就可实现即时最新应用和海量资源的共享。实现看电视的同时,进行社交、办公等。能智能识别用户信息,鉴别用户喜好,快速响应用户需求,及时提供智能、专业、可靠的一对一服务。

由工信部、中国电子商会、中国广播电视产品质量监督检验中心等机构联合国内智能电视厂商发布了《智能云电视行业标准 2.0》。该标准规定智能云电视硬件最低配置必须达到:双核 CPU、多核 GPU、512kB cache、8GB 以上的内存,并支持 100GB 以上的外接存储。具有针对电视深度定制的智能云操作系统,同时需要内置高清数字一体机收解码系统,能够接收和解码有线电视高清信号和 3D 频道信号。且智能云电视必须具有专业的、可扩展的智能云平台,作为云端资源存储中心、极速运算中心、服务提供中心,为用户提供云端资源存储共享、设备互联互通、个性化服务集成及智能家居管控等智能云服务。比如,让家庭中的窗帘、灯具、冰箱、空调、洗衣机、门禁等智能终端在电视智能云平台实现远程控制和应用。智能云电视是互联网电视行业增长的源泉,也是电视发展的重要方向。

1.1.2 数字电视的分类

数字电视信源用数字压缩编码,传输用数字通信技术,接收可以是数字电视机一体机,也可借助机顶盒加模拟接收机,或其他移动接收设备(如手机等)。它是涉及广播电视、通信、计算机和微电子等诸多领域的高新技术,也是集近半个多世纪的图像编码技术与现代电子技术、通信技术等发展成就于一体的现代高科技成果。数字电视系统涉及三大部分:电视系统发送端的信源、信道(传输/存储)以及信宿部分(接收端),整个过程均为数字化的。其中第一部分核心内容是信源(图像/声音/数据)的压缩编码和数字多路复用,第二部分则是纠错编码/数字调制以便于数字信号的传输和存储,而解调制/解纠错编码和解复用/解压缩编码即信息还原则是第三部分的重点。

因此,根据数字电视的定义,按现阶段的研究与应用情况看,数字电视依据清晰度可以划分为两大类:

(1)第一类为标准清晰度的数字电视,其图像垂直分辨率在 400~500 线,相当于 DVD 的标准清晰度电视(SDTV)。SDTV 相当于目前的广播级数字电视,采用成熟的 MPEG-2 或 AVS 压缩编码标准,一套节目的视频码率在 2~5Mb/s。

(2)第二类为视频垂直分辨率在 720P(P 表示逐行)或 1080I(I 表示隔行)以上的高清晰度电视 HDTV。HDTV 采用 MPEG-4、H.264、AVS 等,一套节目的视频码率在 8Mb/s 以下。

此外,根据传送和接收方式的不同,数字电视又可分为卫星数字电视、有线数字电视、地面数字电视以及网络数字电视等。

须指出的是,我国数字电视和模拟电视一样,仍采用隔行扫描方式传送图像信号。其中,SDTV 的扫描参数和传统的模拟电视一样。HDTV 和 SDTV 信号的帧频都是 25Hz,每

帧图像采用隔行扫描图像的奇数行和偶数行分两次扫描和传送,各形成一场图像,所以每场图像都是 50 Hz,HDTV 和 SDTV 每帧图像总行数分别为 1125 行和 625 行,由于 HDTV 扫描行数增多,行频就由 SDTV 的 15625 Hz 提高到 28125Hz。HDTV 和 SDTV 每行有效像素数分别为 1920 个和 720 个,每帧有效扫描行数分别为 1080 行和 576 行。因此,每帧图像有效像素数分别是 201.6×10^4 个和 41.472×10^4 个,HDTV 与 SDTV 相比,每帧有效像素数约增多 5 倍,所以分辨率和清晰度显著提高。SDTV 和 HDTV 视频格式等方面的参数见表 1-1 所列。

表 1-1 SDTV、HDTV 视频格式(表中,I 为隔行扫描,P 为逐行扫描)

类别	图像分辨率(像素数)	扫描方式	画面宽高比
HDTV	1920×1080;1440×1080	P;I	16:9
	1920×1035;1440×1152	I	16:9;4:3
	1280×720	P	16:9
SDTV	576 或 480×(720,640,544,480,352)	I;P	16:9;4:3
	288×或 240×(720,640,544,480,352)	P	

注:我国规定 SDTV 为 720×576(4:3 或 16:9),HDTV 为 1920×1080(16:9),又称全高清(Full HD)。

国际电信联盟于 2012 年 5 月推出超高清电视技术标准。该标准由国际电联协调相关制造商、广电机构和监管机构组成的专项工作组起草,分两个等级:首先引入的超高清电视分辨率为 3840×2160 ,约 830 万像素;随后将采用更高的分辨率,即 7680×4320 ,达到 3200 万像素,两种制式分别简称为“4K”和“8K”超高清系统。与之相比,当前使用的高清电视分辨率仅为 100 万~200 万像素。除分辨率大幅提升外,新标准还增强了电视的色彩还原度,增加了帧数。超高清电视是对鲜活自然世界的再逼近,是电视领域的一场革命,超高清电视将给观众带来震撼的视觉体验。

【知识链接】平板高清晰度电视机重要的参数之一就是静态图像的清晰度是水平方向和垂直方向都大于 720 电视线,屏幕的幅型比为 16:9。因此要求电视机显示屏的固有分辨力为 1920×1080 或 1366×768 ,同时电视机的电路系统要好,特别是带宽要符合要求,才能保证显示图像的水平方向和垂直方向都大于 720 电视线。相反,尽管电视机显示屏的物理分辨力为 1920×1080 、 1366×768 、 1280×720 、 852×480 ,幅型比为 16:9,但由于多种因素的影响,显示图像的水平 and 垂直清晰度小于 720 线,仍不能称之为高清晰度电视机。高清电视更符合人的视角特性,视野更加开阔,其分辨力是普通电视的 4 倍,观众可获得更多的信息量。

在图像处理领域,分辨率与分辨力都是表征图像细节的能力。分辨率是用“点”来衡量的,这个点就是像素,在数值上是指整个显示器所有可视面积上水平像素和垂直像素的数量;而图像的分辨力是表征图像细节的能力,通常又分为图像信号的信源分辨力,由图像格式决定。分辨力越高,清晰度越高。但同一分辨力图像,演播室和一般显示终端看到的清晰度可能差距较大,即使显示器件固有分辨力足够高,但由于工作状态不佳,图像清晰度可能达不到信号源提供的与该显示器固有分辨力相当的图像清晰度。电视领域常用分辨力,计

算机领域常用分辨率。

1.2 数字摄像机

1.2.1 三基色原理

彩色是光的一种属性,没有光就没有彩色,没有光就没有视觉信息获取。在光的照射下,人们通过眼睛感觉到各种物体的彩色,亮度、色调和色饱和度是其三要素,这些彩色是人眼视觉特性和物体客观特性的综合效果。中学物理课中的棱镜试验,曾经清楚地告诉我们:白光通过棱镜后被分解成多种颜色逐渐过渡的色谱,波长为 380~780nm,按波长大小,其颜色依次为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫,这就是可见光谱。其中人眼对红、绿、蓝最为敏感,且这三种颜色在可见光谱分布上具有明显的区别,人的眼睛就是一个三色接收器的光敏传感器。进一步的试验还证明:

(1)自然界中的绝大部分彩色,都可以由三种基色按一定比例混合得到;反之,任意一种彩色均可被分解为三种基色。

(2)作为基色的三种彩色,要相互独立,即其中任何一种基色都不能由另外两种基色混合来产生。

(3)由三基色混合而得到的彩色光的亮度等于参与混合的各基色的亮度之和。

(4)三基色的比例决定了混合色的色调(颜色类别)和色饱和度(颜色深浅)。以上就是色度学的最基本原理,即三基色原理。该原理解决了自然界中丰富多彩的颜色分解和还原可由三基色来处理与实现,极大地简化了用电信号来传送实际复杂的彩色技术问题。红、绿、蓝是三基色,这三种颜色合成的颜色范围最为广泛,目前在所有的各类电视系统中,其彩色视频或图像均采用红绿蓝三基色,红、绿、蓝三基色按照不同的比例相加合成混色称为相加混色,如图 1-2 所示。

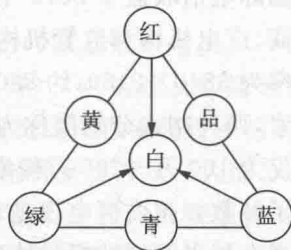


图 1-2 三基色原理

即:红色+绿色=黄色;绿色+蓝色=青色;红色+蓝色=品红;且红色+绿色+蓝色=白色。黄色、青色、品红都是由两种基色相混合而成,所以它们又称非谱色光即没有具体波长的光。以上混色是在等强度的情况下得出的结果,如果深红与浅绿混色,则得出黄偏红的结果,事实上任意两种颜色之间没有严格的界限,如在红色和绿色这条混色线上就有无数种颜色,诸如此类的红与蓝之间、蓝与绿之间同样有无数种颜色。因此,利用人眼的视觉错觉(人的味觉、听觉等都有类似属性),由三基色即可混出自然界绝大多数的颜色来。可见,在电视系统中,只有红、绿、蓝三基色是谱色光,其他任意颜色均为非谱色光。另外:红色+青色=白色;绿色+品红=白色;蓝色+黄色=白色。所以,青色、黄色、品红分别是红色、蓝色、绿色的补色。由于每个人的眼睛对于相同的单色光的感受有所不同,所以,如果用相同强度的三基色混合时,假设得到白光的强度为 100%,这时候人的主观感受是,绿光最亮,红光次之,蓝光最弱。

除了相加混色法之外还有相减混色法,如彩色绘画、彩色印刷、彩色胶片等。

须指出,三基色原理中的三种基色,要求是相互独立的,即任何一种基色都不能有其他两种颜色合成。在电视系统的前端,根据三基色原理,利用摄像机的分光棱镜,将五彩缤纷的客观世界转换成三基色光信号,进而转成电信号。而在电视系统的接收端,利用显示器的发光原理,将三基色电信号激励各自的荧光粉,或控制各自的液晶分子旋转透过相应的基色光,再利用人眼的视觉混色特性,恢复原来的彩色景象。

1.2.2 数字摄像机基本结构与原理

在数字电视系统中,信源端高质量图像的摄取即光电转换是接收端高质量恢复的前提。摄像机的基本功能就是实现光电转换,其成像的光敏靶为光电转换的基地,根据清晰度(标清还是高清)等指标的需要,该基地上有精密设计的多达几百万个光电二极管阵列,它就是一种重要的感光元件,每个感光元件叫一个像素,也是构成图像的基本单元。大多数图像传感器的感光元件采用光电二极管,其核心结构就是 $p-n$ 结,工作时加反向偏压,受到光照时该 $p-n$ 结可以在很宽的范围内产生与入射光强成正比的光电流,能把光信号变成电信号并使之输出。设备感光器件技术指标中的总像素数要大于有效像素数,总像素数则是整个感光器件上每一行的像素数与每一列像素数的乘积,有效像素数约为总像素数的 10%,不同生产厂家的百分比有所差异。同样尺寸情况下,大尺寸感光器件会拥有更多的像素数,所拍摄的视频画面质量也会更高。而具有同样像素数的感光器件,尺寸越大,则每个感光单元的尺寸也相对较大,它能捕捉到的光线也就更多,摄像机的灵敏度就相对较高。画面的像素越多,在相同尺寸画面上的像素就越精细,晶格就越小。因为人眼对于影像的垂直分辨率相当敏感,越高的垂直分辨率,人眼就能辨识越多的细节与层次。表现细节多少的分辨率上不去,屏幕越大,视觉效果反而越差。这就是分辨率与灵敏度相矛盾之处,也是不能只关心像素数同时还要关心感光器件尺寸的原因。

20 世纪 80 年代出现了 CCD(Charge Coupled Device)为感光器件的摄像机,20 世纪末 CMOS 影像感应器因其低功耗和体积小也得到迅猛发展,由最初的磁带存储发展到今天的硬盘存储。CCD 或 CMOS 都属于点阵型感光器件,它们在材料、结构和影像捕获方式上存在着差异,这种差异使得单片 CMOS 摄像机与传统的三片 CCD 摄像机相比,无论是在电源功耗、器件成本,还是在小型化等方面都更具优势,在影像质量方面已经达到或超过 CCD 摄像机。

CCD 可分为行间转移(IT)型、帧转移(FT)型和帧行间转移(FIT)型,常用的是 IT 型和 FIT 型。CCD 的基本单元就是金属-氧化物-半导体的半导体 MOS 结构,光照射到 CCD 硅片上时,在栅极附近的半导体体内产生电子空穴对,其多数载流子被栅极电压排开,少数载流子则被收集在势阱中形成信号电荷。CCD 是大规模集成电路(VLSI)的产品,随着 VLSI 技术的进步,近年来 CCD 器件的技术指标如信噪比、清晰度、灰度特性等获得了长足进展并走向今天的成熟阶段,数字摄像机正是在 CCD 器件的基础上发展起来的。相对于模拟摄像机而言,数字摄像机就在于对由 CCD 转换成的电信号进行各种处理和控制的电路系统中应用了全数字处理技术,能够保证最佳的图像质量,同时保证摄像机性能稳定,相对于模拟信号处理更加优越和细致,这包括黑电平处理、伽马校正、轮廓信号校正、拐点/自动拐点处理等。轮廓校正功能,使图像更细腻,色彩更逼真。自动白平衡和许多简单的调整模式使操作更简单。因为 CCD 输出的信号很微弱,必须经过放大

后再进行模数转换(A/D)才能得到数字信号,所以目前的数字摄像机还不能通过 CCD 直接把光信号转变成数字信号,现在新推出的数字处理摄像机,都包括模拟处理和数字处理两大部分。图 1-3 所示的就是 CCD 数字图像信号摄取的主要结构示意图(包括光学、CCD、ADC 和 DSP 系统)。

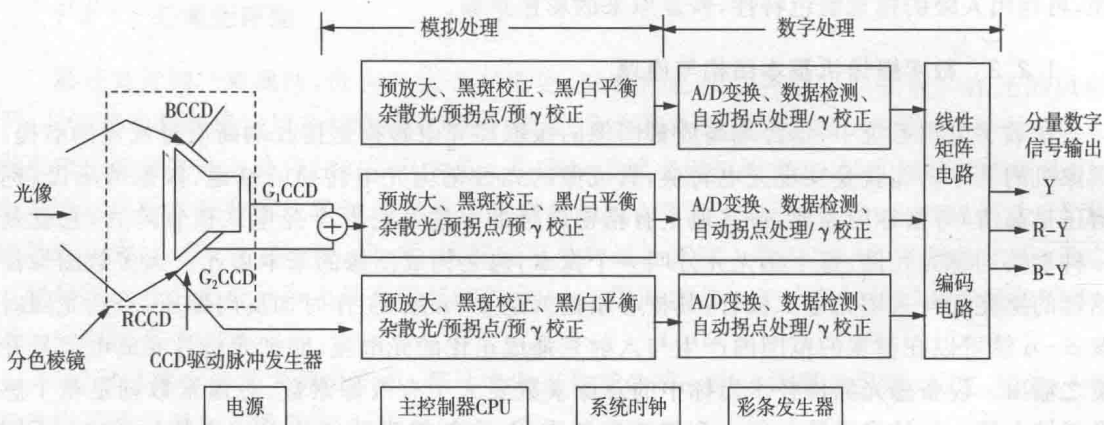


图 1-3 CCD 数字信号摄像机原理框图

在图 1-3 中, RCCD、GCCD、BCCD 分别代表红、绿、蓝三基色信号形成通道。广播级摄像机在氧化铝管时代就采用光学分光棱镜将入射光分成红绿蓝三个基色,再经过各自的摄像管转换成 R/G/B 信号,即俗称的三管机,这种分光棱镜方式在专业摄像机领域一直持续到 CCD 时代,甚至采用 CMOS 感光器件的摄像机也采用这种方式。在 4CCD 摄像机中, G_1 CCD 与 G_2 CCD 之间保持着空间位置设置,使 G_1 CCD 与 G_2 CCD 相对移动 $1/2$ 像素距离的空间像素偏置技术,使空间偏置图像存在于两个绿基色信号 CCD 之间,从而完全消除了 G 通道中的寄生信号,明显提高了 G 信号的清晰度,而高质量的 G 信号对恢复数字图像质量非常重要。与此同时 G_1 CCD 与 RCCD 形成对应, G_2 CCD 与 BCCD 也形成对应。RCCD 与 BCCD 之间也存在图像偏置。这种新型 CCD 的布局,使空间偏置图像技术得以完善,所以 4CCD 摄像机较 3CCD 更为理想。由于在 4CCD 摄像机中采用了 RCCD 与 BCCD 之间的图像偏置,使 R 和 B 分量之间也彼此抵消寄生信号,从而使摄像机视频通道中的寄生信号可以在更宽的范围内被消除。

数字摄像机与最新单片感光摄像机的光电转换部分的原理是一致的,即通过摄像镜头中的分光部分,将通过光学低通滤波片过来的输入光图像信号按照三基色原理分解,以获取 R、G、B 三色光信号,它将拍摄的光信号成像到各自的 CCD 光敏靶上,经 CCD 转换后即获取三色电信号,经放大、自动白平衡和预拐点校正后,送到模数转换器(ADC)变为数字信号。R、G、B 模数转换是在取样控制电路作用下的数字输出信号,实质是在主控制器即中央控制器的控制下,主控制器系统是数字信号的处理中心。以上数字信号处理(DSP)部分都是在大规模集成电路中完成的,据此,有时又称数字摄像机为数字信号处理摄像机,况且现代的数字摄像机已能够将 DSP 后得到的信号直接送到硬盘中。本节就数字摄像机的主要部分做一简介。

1. CCD 驱动脉冲与系统时钟

在主 CPU 的控制下, CCD 的位置精确地与 R、G、B 像对准,并粘贴在分光棱镜的 3 个

像面上即光敏靶上, CCD 将 3 个基色光像变成电荷信号, 它们是脉冲调幅信号, 经过双相关取样电路解调出视频图像信号, 并去除脉冲干扰, 经过预放大后送到视频信号处理电路。CCD 的基本功能就是将光(图像)照射到 CCD 硅片上产生的电荷像进行存储与转移, 并将所有光电二极管阵列上的像素电荷一行行、一场场地送到 CCD 外, 以形成视频图像信号。应用中的 CCD 输出信号中不仅可以获得光强信息, 而且还可以获得空间信息。其中, 输出信号的大小对应光强的大小, 输出信号的序号(p-n 结阵列的序号)对应空间像素的位置。此外, 在 CCD 摄像机内还设有基准时钟振荡, 由晶体振荡电路产生 27MHz 的时钟脉冲, 用以形成 CCD 的驱动脉冲, 再经过分频后得到可供同步信号发生器产生同步信号的时钟脉冲, 用同步信号发生器产生出行推动脉冲、场推动脉冲和奇偶场控制脉冲, 控制 CCD 的驱动脉冲, 使 CCD 能输出符合电视要求的行、场扫描标准的图像信号, 收端须恢复 27MHz。在数字电视系统中, 系统时钟的作用很大, 其在前端的作用如图 1-4 所示。

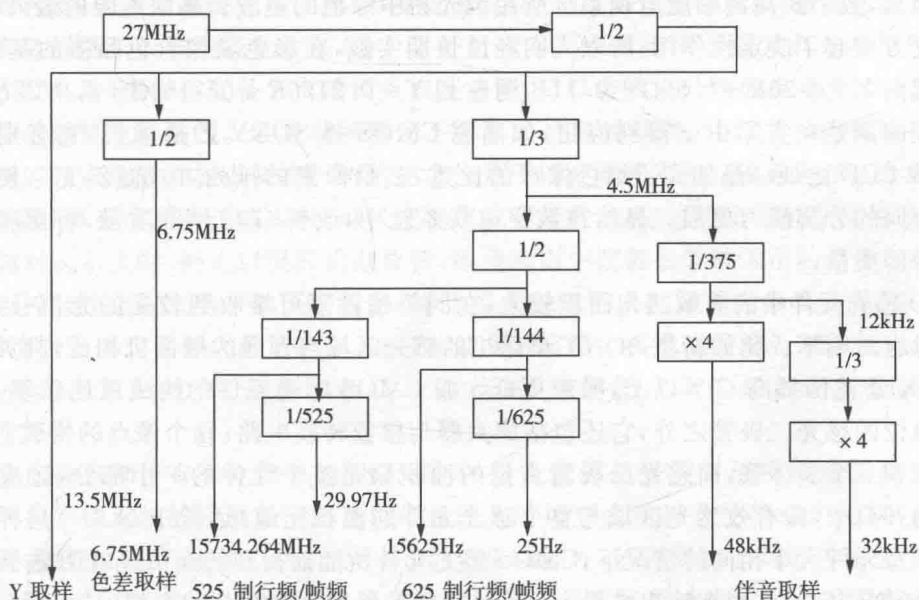


图 1-4 数字电视系统时钟频率 27MHz 的应用

2. 模拟信号处理部分

完成光电转换后的信号, 进行放大以提高信噪比是重要的一步, 由于镜头、分色系统及摄像器件的特性都不是理想的, 所以经过 CCD 光电转换产生的信号不仅很弱, 而且有很多缺陷, 例如图像细节信号弱、黑色不均匀、彩色不自然等。因此在视频信号处理放大器中必须对图像信号进行放大和补偿, 否则所拍摄图像将有清晰度不高、彩色不自然、亮度不均匀等缺陷。这部分电路的设计和调节以及稳定性对图像质量影响很大。视频信号处理放大器的主要功能包括黑斑校正、增益控制、白平衡调节、预弯曲、彩色校正、轮廓校正、 γ 校正、杂散光校正、黑电平控制、自动黑平衡、混消隐、白切割、线性矩阵和编码电路等。

3. 彩条发生器

摄像机内设置彩条信号发生器, 用以产生彩条图像的三基色信号, 它受面板上的摄像/彩条开关控制, 其中彩条信号可代替摄像信号送入编码器。彩条信号的用途还有调节编码

器,录像时调节电平,校准各摄像机之间的延时、同步基色副载波相位,也可以用来调节监视器的亮度、色度和对比度等。

4. 数字处理部分

经过上述模拟处理的视频信号送入模数变换器,变成 8~14 比特的数字信号,进入数字处理部分。对数字信号主要做以下处理:彩色校正、轮廓校正、 γ 校正、白切割、色度孔阑、数据检测、自动拐点处理及编码矩阵等。数字处理目的是优化图像信号,如轮廓校正是为了提高图像的观看锐度,在不增加像素分辨率的情况下通过在图像中加入轮廓即细节信号,使显示物体的边缘、轮廓部分看起来更突出、更清晰,俗称“加边”。数字视频处理后的数字分量信号可以直接送给数字分量设备用,如产生分量编码信号等,也可以复合编码形成复合数字信号。整个数字信号处理摄像机的绝大部分是在主控制器控制下工作的,主控制器由微处理器 CPU、ROM、RAM、EP²ROM、模数转换电路等组成。此外,由于绿色对物体轮廓锐度的贡献最大,数字式高清晰度电视系统所用荧光粉中绿色的主波长移向人眼的最灵敏段,在提高亮度方面起了决定性作用,所以人们经过长期实践,在彩色显像管色品图的基础上,使亮度方程由 $Y=0.30R+0.59G+0.11B$ 调整到 $Y=0.2126R+0.7152G+0.0722B$ 。这种亮度方程的调整在实际中已得到应用,如晶锐 CMOS 是 SONY 的摄像机,它有别于普通 CMOS 和 CCD 之处一是加大了绿色像素的比重,二是像素的排列方式倾斜 45°,使得水平和竖直方向的分辨能力更强。显然在数字电视系统中,改善 G 信号的质量,将意味着提高亮度信号的质量。

CCD 感光元件中的有效感光面积较大,在同等条件下可接收到较强的光信号,对应的输出图像也更明晰。比如新型 SONY 摄像机的感光区域与普通的摄像机相比,其灵敏度提高 20%,动态范围提高 50% 以上,噪声更低。而 CMOS 感光元件的构成就比较复杂,除处于核心地位的感光二极管之外,它还包括放大器与模数转换电路,每个像点的构成成为一个感光二极管和三个晶体管,而感光二极管占据的面积只是整个元件的一小部分,造成 CMOS 传感器的开口率(即有效感光区域与整个感光元件的面积比值)远低于 CCD。这样在接受同等光照及元件大小相同的情况下,CMOS 感光元件所能捕捉到的光信号就明显小于 CCD 元件,灵敏度较低。体现在输出结果上,就是 CMOS 传感器捕捉到的图像内容不如 CCD 传感器来得丰富,图像细节丢失情况严重且噪声明显,这也是早期 CMOS 传感器只能用于低端场合的一大原因。每个感光元件对应图像传感器中的一个像点,由于感光元件只能感应光的强度,无法捕获色彩信息,因此必须在感光元件上方覆盖彩色滤光片。在这方面,不同的传感器厂商有不同的解决方案,最常用的做法是覆盖 RGB 三色滤光片,以 1:2:1 构成,由四个像点构成一个彩色像素,即红蓝滤光片分别覆盖一个像点,剩下的两个像点都覆盖绿色滤光片,采取这种比例的原因是人眼对绿色较为敏感。在接受光照之后,感光元件产生对应的电流,电流大小与光强对应,因此感光元件直接输出的电信号是模拟的。在 CCD 传感器中,每一个感光元件都不对此作进一步的处理,而是将它直接输出到下一个感光元件的存储单元,结合该元件生成的模拟信号后再输出给第三个感光元件,依次类推,直到结合最后一个感光元件的信号才能形成统一的输出。由于感光元件生成的电信号实在太微弱了,无法直接进行模数转换工作,因此这些输出数据必须做统一的放大处理——这项任务是由 CCD 传感器中的放大器专门负责,经放大器处理之后,每个像点的电信号强度都获得同样幅度的增大;但由于 CCD 本身无法将模拟信号直接转换为数字信号,因此还需要一个专门