

高等学校教材

# 数字电视 设计原理

张晓林 编著



高等教育出版社  
Higher Education Press

# 数字电视 设计原理

张晓林 编著

责任编辑 张... 封面设计 张... 插图设计 张... 文字编辑 张... 校对 张... 印刷 张... 发行 张...

ISBN 7-04-019312-2  
定价 35.00元  
北京邮电大学出版社  
北京 262600  
电话 010-28261600  
网址 www.bupt.edu.cn

## 内容简介

本书系统地介绍了数字电视设计和中国数字电视地面广播传输标准 GB 20600—2006 的详细原理与关键技术, 对与标准相关的音视频信源编解码技术、信道编解码技术、数字调制与解调技术、信道估计与均衡技术、数字电视系统与主要设备的设计、数字电视基带处理器集成电路芯片的设计、数字电视系统的测试方法以及数字电视的技术发展进行了系统的论述。

本书的内容兼顾企业、科研机构、使用部门和高校的需求, 可以作为高等学校本科高年级、研究生的数字电视课程教材, 同时也可作为科研技术人员理解、掌握中国数字电视地面广播传输标准系统的技术内容、研究设计数字电视系统和设备的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

数字电视设计原理/张晓林编著. —北京: 高等教育出版社, 2008. 8

ISBN 978 - 7 - 04 - 024558 - 5

I. 数… II. 张… III. 数字电视 - 设计 - 高等学校 - 教材 IV. TN949. 197

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 113412 号

策划编辑 吴陈滨 责任编辑 唐笑慧 封面设计 张楠 责任绘图 尹文军  
版式设计 余杨 责任校对 胡晓琪 责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16  
印 张 28. 25  
字 数 680 000

购书热线 010 - 58581118  
免费咨询 800 - 810 - 0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 8 月第 1 版  
印 次 2008 年 8 月第 1 次印刷  
定 价 35.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24558 - 00



## 序

2006年8月18日,采用了我国自主知识产权技术的地面数字电视广播传输系统标准 GB 20600—2006《数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制》由国家标准化管理委员会正式批准成为强制性国家标准。

数字电视地面广播系统是国家广播电视综合覆盖网的重要组成部分,它与卫星数字电视广播系统和有线数字电视广播系统等协同为受众提供全面的覆盖。数字电视地面广播传输系统标准的正式颁布,将进一步推动我国电视地面广播系统快速、有序地完成数字化改造,促进我国电视产业的优化升级和可持续发展。

在有关主管部门的领导下,我国高校、科研院所、制造企业和运营部门积极参与标准的研发、制定和对国标系统的测试和试验,数字电视地面广播系统的试播是集中各方智慧的成果。其中北京航空航天大学作为数字电视联合工作组技术组组长单位和数字电视特别工作组的重要成员,在张晓林教授的带领下,对标准技术方案的仿真、融合方案的研制、标准文稿的撰写,测试和单频网实验以及标准的宣贯都提供了重要的技术支持,还研制完成了国标全模式激励器和调制器及其中的集成电路芯片。

数字电视地面广播系统的推广应用还需要做很多工作,其中标准的宣贯是重要的一环,它将有助于产业部门和使用部门深入理解标准,以便在对标准系统的开发和应用中进一步创新。为了适应标准的宣贯和教学的需要,张晓林教授及其团队总结了他们参与标准研究开发和试验的实践,在对国标所采用的技术和特点深入理解的基础上,以科学严谨的学术态度编写了《数字电视设计原理》一书。该书的写作兼顾了企业、研究机构、使用部门和高校的需要,本书可作为高等学校本科高年级、研究生的数字电视课程教材,同时也可作为科研技术人员理解掌握国标系统的技术内容,研究设计数字电视设备的参考书。

希望本书能够为数字电视地面广播传输系统国家标准的推广和数字电视产业的发展起到一定的作用,在通信和广播技术的普及以及人才培养中体现出本书的价值,期望有更多的中青年科技工作者投身到信息技术的创新中,为我国从电视大国发展为数字电视强国做出贡献。



2008年2月26日

## 前 言

21 世纪是信息技术飞速发展的时代,数字化、网络化与信息化是目前技术发展的基本特征。信息技术领域发生了重大变革,信息革命的浪潮席卷全球,人类已经真正步入信息时代。与此同时,科学技术的飞速发展推动电视技术不断进步和完善,电视领域也在经历一场深刻的变革。

数字电视是继黑白电视与彩色电视之后的第三代电视,是电视发展史上的一个新的里程碑。数字压缩编码技术与音、视频技术的结合,一方面使电视广播以崭新的面貌出现,从根本上提高了图像和声音的质量,并以业务上的灵活性与多样性,使消费者获得全新的视听感受;另一方面,广播电视的本质正在改变,数字技术促进了广播电视、通信和计算机网络技术的汇聚与融合,同时也促进了音、视频产品与通信及计算机技术的结合,形成了一系列交互式的多媒体产品。

和传统的模拟电视相比,数字电视从技术上解决了模拟电视传输过程中难以解决的非线性与相位失真累积和信噪比恶化的问题,提高了传输的稳定性与可靠性,简化了调整,便于操作、控制与处理;节省了信道和发生功率,兼容性和互操作性好,可与多媒体计算机网络连接,便于开展多种数字信息业务。

2006 年 8 月 18 日,采用我国自主知识产权技术的数字电视地面广播传输系统标准 GB 20600—2006《数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制》由国家标准化管理委员会正式批准为强制性国家标准,并于 2007 年 8 月 1 日正式实施。

数字电视地面广播传输系统是国家广播电视综合覆盖网的重要组成部分,它与数字电视卫星广播系统和数字电视有线广播系统等协同为受众提供全面的覆盖。数字电视地面广播传输系统标准的正式颁布,将进一步推动我国电视地面广播系统快速、有序地完成数字化改造,促进我国电视产业的优化升级和可持续发展。

目前,国内讲述数字电视的教材和著作还比较匮乏,尤其针对近几年在信息传输和宽带通信领域所出现的新技术、新发展及其在数字电视传输上的应用等内容的覆盖较少。在中国数字电视地面广播传输标准出台之后,针对中国标准详细技术内容的专著尚未出现。数字电视地面广播系统的推广和应用还有许多工作要做,其中标准的宣贯是重要的一环。为了适应标准的宣贯和教学的需求,编者将中国数字电视地面广播传输标准制定过程中的技术积累和设计经验进行了总结,并在参考国内外相关数字电视标准和技术文献的基础上,编写了《数字电视设计原理》一书,其宗旨是全面、系统地向广大读者介绍数字电视系统,尤其是中国数字电视地面广播传输系统国家标准的基本理论和设计实践。

本书兼顾企业、科研机构、使用部门和高校的需求,可以作为高等学校本科高年级、研究生的数字电视课程教材,同时也可作为科研技术人员理解、掌握中国数字电视地面广播传输系统标准的技术内容、研究设计数字电视设备的参考书。

全书共分 13 章。第一章概述数字电视的基本概念、数字电视的优点及数字电视系统的关

键技术,并对中国地面数字电视标准以及标准的制定过程进行介绍。第二章介绍电视信号的基础知识。第三、四章对数字电视音、视频信号信源编、解码进行阐述。第五章介绍数字电视传输系统中的信道编、解码技术,尤其对中国标准中使用的先进的 LDPC 编、解码理论和设计进行系统的论述。第六章介绍数字调制技术。第七章对数字电视系统接收端的同步、信道估计与均衡技术等进行论述。第八章分别对国际上已有的 3 个地面数字电视标准 DVB-T、ATSC 和 ISDB-T 进行介绍,对标准的格式和内容进行分析。第九章系统地论述中国数字电视地面广播传输系统标准 GB 20600—2006 的主要技术内容和参数,指出标准中的主要关键技术,对标准的一些技术难点进行讲解,并给出标准的性能分析测试结果。第十章详细论述数字电视系统激励器、单频网适配器和数字电视接收机等设计方法。第十一章阐述数字电视相关的基带芯片的设计方法。第十二章讲述数字电视系统的各种指标参数的测试方法。第十三章对数字电视技术的发展进行了介绍。

本书是在中国数字电视标准联合工作组北京航空航天大学研究团队的研究工作与成果的基础上编写而成的。

本书由张晓林教授策划和编著,参与编写工作的有张超、张展、路程、姚远、赵岭、李铀、王哲、房林堂、李春宇。书稿的校对工作由张超、张展、李春宇完成。

衷心感谢中国数字电视标准联合工作组组长、中国工程院副院长郭贺铨院士审阅本书、作序并提出指导意见。

全书承蒙天津大学刘开华教授审阅,刘教授提出了许多修改意见,对保证书稿质量起到了重要的作用,在此表示衷心的感谢。

衷心感谢中国数字电视标准联合工作组清华大学龚克教授、杨知行教授,上海交通大学张文军教授、国家广播电影电视总局广播科学研究院马矩研究员、北京大学项海格教授、西安交通大学朱世华教授、电子科技大学朱维乐教授、西安电子科技大学葛建华教授、北京邮电大学张平教授、浙江大学王匡教授、国防科技大学唐朝京教授及其领导的研究团队和中国数字电视标准联合工作组的全体专家与工作人员在中国数字电视标准研究工作中的重要贡献。

衷心感谢国家广播电影电视总局科技司、无线局、规划院和中央电视台、江苏电视台等部门、单位的领导和工作人员对中国数字电视标准研究和应用试验工作的支持和做出的重要贡献。

衷心感谢国家发展和改革委员会、中国工程院、国家标准委员会、国家广播电影电视总局、信息产业部、科技部、国家知识产权局的领导和工作人员对中国数字电视标准研究工作的支持和做出的重要贡献。

高等教育出版社一直非常关心本书的出版,为本书的出版创造了良好的条件,在此表示衷心的感谢。

由于数字电视技术在不断发展与完善之中,且编者水平有限和时间仓促,书中难免有不准确、不恰当和错误与不足之处,诚恳希望广大读者提出批评及指导意见,以便完善本书,邮件请寄 [zxl@buaa.edu.cn](mailto:zxl@buaa.edu.cn)。

编者

2008年2月7日于北京航空航天大学

# 目 录

<b>第一章 概论</b> .....	1
1.1 数字电视的概念 .....	1
1.1.1 数字电视 .....	1
1.1.2 数字化电视 .....	2
1.1.3 高清晰度电视 .....	3
1.2 数字电视的优点 .....	3
1.3 数字电视系统的关键技术 .....	6
1.3.1 音频、视频信号的数字化 .....	6
1.3.2 音频、视频信号的信源编码 .....	7
1.3.3 国际数字电视地面广播传输系统标准 .....	9
1.3.4 中国数字电视地面广播传输系统国家标准——DTMB 标准 .....	13
1.4 中国数字电视的发展历程 .....	14
小结 .....	15
习题 .....	15
参考文献 .....	15
<b>第二章 电视信号基础知识</b> .....	17
2.1 光学基础 .....	17
2.1.1 光的特性与光源 .....	17
2.1.2 光的度量 .....	18
2.1.3 色度学概要 .....	19
2.2 人眼的视觉特性 .....	21
2.2.1 视觉灵敏度 .....	21
2.2.2 彩色视觉 .....	21
2.2.3 分辨力 .....	22
2.2.4 视觉惰性 .....	23
2.3 电视图像的传送及基本参数 .....	24

2.3.1 电视图像的传送 .....	24
2.3.2 电视图像的基本参数 .....	27
2.4 电视信号的频谱 .....	29
2.4.1 静止图像信号的频谱 .....	29
2.4.2 活动图像信号的频谱 .....	30
2.4.3 色度信号的频谱与频谱间置 .....	31
2.4.4 全电视信号的频谱 .....	32
小结 .....	33
习题 .....	33
参考文献 .....	34
<b>第三章 音频信号 MPEG 信源编码</b> .....	35
3.1 音频信号的数字化 .....	35
3.2 比特率压缩的基础知识 .....	36
3.3 MPEG 语音编码技术 .....	37
3.3.1 MPEG-1 音频压缩编码的基本结构 .....	37
3.3.2 第一层编码 .....	38
3.3.3 第二层编码 .....	40
3.3.4 第三层编码 .....	41
3.3.5 解码 .....	41
3.3.6 MPEG 音频参数 .....	43
3.3.7 MPEG-2 音频编码 .....	44
3.3.8 MPEG-4 音频编码 .....	44
小结 .....	46
习题 .....	46
参考文献 .....	46
<b>第四章 视频信号信源编码</b> .....	47
4.1 视频信号数字化 .....	47
4.1.1 为什么要视频信号数	

字化 .....	47	4.7.1 MPEG-4 视频编码功能 与特点 .....	67
4.1.2 图像的分类方法 .....	47	4.7.2 MPEG-4 视频编码 技术 .....	68
4.1.3 视频信号数字化方法 .....	47	4.8 H.264 视频编码标准 .....	69
4.1.4 视频信号数字化的 缺点 .....	49	4.8.1 H.264 编码标准概述 .....	69
4.1.5 电视信号的数字化 .....	49	4.8.2 H.264 的编码与解码 结构 .....	70
4.2 压缩编码标准概述 .....	50	4.8.3 H.264 的特色算法 .....	73
4.2.1 图像数据压缩机理 .....	50	4.9 AVS 数字视频编码标准 .....	75
4.2.2 图像编码技术 .....	52	4.10 信源编码器与国家标准的 关系和数字接口 .....	75
4.2.3 图像压缩编码标准 分类 .....	57	小结 .....	78
4.3 数字视频信号的物理接口 .....	58	习题 .....	78
4.3.1 同步并行传输流 标准——SPI .....	58	参考文献 .....	79
4.3.2 异步串行传输流 标准——ASI .....	58	<b>第五章 数字电视传输系统中的     信道编、解码 .....</b>	<b>80</b>
4.4 JPEG 编码 .....	60	5.1 信道编码基础 .....	82
4.4.1 JPEG 标准的内容 .....	60	5.1.1 数字通信系统 .....	82
4.4.2 JPEG2000 .....	60	—5.1.2 香农公式及相关结论 .....	83
4.4.3 JPEG 压缩算法 .....	61	5.1.3 信道编码概述 .....	84
4.5 MPEG-1 .....	62	5.2 能量扩散 .....	86
4.5.1 MPEG-1 的标准内容 .....	62	5.3 条件接收机制 .....	87
4.5.2 MPEG-1 的帧结构 .....	62	5.3.1 条件接收与条件接收 系统 .....	87
4.5.3 MPEG-1 视频压缩 处理结构 .....	63	5.3.2 条件接收系统对加解扰 技术的基本要求 .....	88
4.5.4 MPEG-1 编码器的 结构 .....	63	5.3.3 加解扰技术的种类及其 特点 .....	88
4.6 MPEG-2 标准 .....	63	5.4 数据交织和解交织 .....	90
4.6.1 MPEG-2 标准的内容 .....	63	5.4.1 分组交织 .....	91
4.6.2 MPEG-2 视频标准的 图像规范 .....	64	5.4.2 卷积交织 .....	93
4.6.3 MPEG-2 与 MPEG-1 预测方法的差别 .....	65	5.4.3 纠错性能分析 .....	93
4.6.4 MPEG-2 编码技术 要点 .....	65	5.5 RS 码 .....	94
4.6.5 MPEG-2 码流与结构 复用 .....	67	5.5.1 RS 码的结构 .....	94
4.7 MPEG-4 .....	67	5.5.2 RS 码的编码和解码 .....	95
		5.6 卷积码 .....	100



5.6.1 卷积码的结构 ..... 101

5.6.2 卷积码的编码和解码 ..... 107

5.7 级联码 ..... 115

5.8 Turbo 码 ..... 115

5.8.1 Turbo 码的编码结构 ..... 115

5.8.2 Turbo 码的解码结构 ..... 116

5.8.3 Turbo 码的性能 ..... 117

5.9 LDPC 码 ..... 118

5.9.1 LDPC 码的定义和二分图表示 ..... 118

5.9.2 LDPC 码构造基本方法 ..... 121

5.9.3 LDPC 码的编码方法 ..... 127

5.9.4 LDPC 解码算法概述 ..... 129

5.10 TPC 码概述 ..... 140

5.10.1 TPC 码的提出 ..... 140

5.10.2 TPC 码的优点 ..... 140

5.10.3 TPC 码的应用 ..... 141

5.10.4 TPC 码的编码 ..... 142

5.10.5 TPC 码的解码 ..... 143

5.10.6 TPC 码的纠错性能 ..... 144

小结 ..... 145

习题 ..... 146

参考文献 ..... 146

**第六章 数字调制技术 ..... 148**

6.1 数字调制技术基础 ..... 148

6.1.1 带宽受限信号 ..... 148

6.1.2 正交相移键控 QPSK ..... 149

6.1.3 数字正交幅度调制 QAM ..... 150

6.1.4 残留边带调制 VSB ..... 152

6.1.5 网格编码调制 TCM ..... 153

6.2 单载波调制系统 ..... 156

6.2.1 单载波调制系统简介 ..... 156

6.2.2 单载波调制系统组成 ..... 157

6.3 编码正交频分复用 COFDM ..... 158

6.3.1 COFDM 技术简介 ..... 158

6.3.2 COFDM 技术特点 ..... 161

6.3.3 保护间隔和循环前缀 ..... 163

6.3.4 参数选择 ..... 164

6.3.5 关键技术 ..... 166

小结 ..... 169

习题 ..... 169

参考文献 ..... 169

**第七章 数字电视接收技术 ..... 171**

7.1 同步技术 ..... 171

7.1.1 载波频率偏差 ..... 171

7.1.2 样值定时偏差 ..... 174

7.1.3 符号定时偏差 ..... 176

7.1.4 系统同步过程综述 ..... 177

7.1.5 载波同步 ..... 179

7.1.6 定时同步方法 ..... 183

7.2 信道估计 ..... 186

7.2.1 信道估计性能分析 ..... 188

7.2.2 导频的设计 ..... 189

7.2.3 信道估计算法 ..... 190

7.2.4 基于国家标准数字电视帧头序列的信道估计 ..... 201

7.3 均衡技术 ..... 202

7.3.1 时域均衡 ..... 203

7.3.2 频域均衡 ..... 215

7.4 抗干扰技术 ..... 216

7.4.1 载波频率偏移引起的 ICI 及其消除 ..... 216

7.4.2 多普勒扩展引起的 ICI 及其消除 ..... 220

7.5 多天线技术 ..... 220

7.5.1 空时码 ..... 221

7.5.2 空间复用 ..... 222

小结 ..... 223

习题 ..... 223

参考文献	223	9.3.13 带外频谱模板	266
<b>第八章 国外数字电视传输标准</b>	<b>225</b>	9.3.14 DTMB 系统净荷数 据率	267
8.1 DVB 标准概述	226	9.4 DTMB 标准的技术特点	269
8.1.1 DVB-T 标准	227	9.5 DTMB 标准的模式	270
8.1.2 DVB-S 标准	231	9.5.1 $C=1$ 和 $C=3$ 780 两种 模式	270
8.1.3 DVB-C 标准	234	9.5.2 各种模式及组合应用 说明	271
8.1.4 DVB-H 标准	236	9.6 DTMB 标准性能分析	271
8.2 ATSC 标准	240	小结	272
8.2.1 ATSC 数字电视标准 文件简介	240	习题	272
8.2.2 ATSC 系统	241	参考文献	272
8.3 ISDB-T 标准	245	<b>第十章 中国数字电视地面广播 传输系统标准激励器和 接收机设计</b>	<b>273</b>
8.3.1 ISDB 卫星传输系统	246	10.1 数字电视激励器	273
8.3.2 ISDB-T 标准内容	246	10.1.1 信道调制器	274
小结	250	10.1.2 数字预校正	275
习题	250	10.1.3 $I/Q$ 调制器和 UHF 变频	275
参考文献	250	10.1.4 时钟和同步	276
<b>第九章 中国数字电视地面广播 传输系统标准</b>	<b>251</b>	10.1.5 比特率适配器	277
9.1 DTMB 标准概述	252	10.1.6 SFN 输入模块	277
9.2 DTMB 标准的主要技术模式 和参数	252	10.1.7 控制单元	277
9.3 DTMB 标准的主要技术内容	253	10.2 射频功率放大器的主要技术 指标	277
9.3.1 DTMB 标准系统框图	253	10.2.1 常见技术指标	277
9.3.2 DTMB 系统输入输出 接口	253	10.2.2 功率放大器非线性 描述	279
9.3.3 扰码	254	10.2.3 功率放大器非线性 理论分析	280
9.3.4 前向纠错编码	254	10.3 功率放大器线性化方法	283
9.3.5 星座映射	255	10.3.1 功率放大器的非线性 模型	283
9.3.6 符号卷积交织	258	10.3.2 功率放大器线性化 方法	286
9.3.7 复帧结构	259		
9.3.8 信号帧	260		
9.3.9 帧头	261		
9.3.10 系统信息	263		
9.3.11 帧体数据处理	264		
9.3.12 基带后处理	265		

10.4 OFDM 系统失真的补偿技术 ... 302

    10.4.1 QAM 调制与星座图 ... 303

    10.4.2 中频调制失真 ... 303

    10.4.3 中频调制失真对输出  
        信号性能的影响 ... 305

    10.4.4 中频调制失真的校正 ... 305

10.5 数字电视单频网适配器 ... 308

    10.5.1 单频网和多频网 ... 308

    10.5.2 单频网组网的必要性 ... 309

    10.5.3 单频网系统 ... 309

    10.5.4 单频网同步原理 ... 311

    10.5.5 单频网组网同步的  
        技术保证 ... 317

    10.5.6 单频网适配器基本  
        功能 ... 318

10.6 数字电视接收机设计 ... 324

    10.6.1 测量接收机总体实现  
        方案 ... 325

    10.6.2 信道解码电路原理  
        设计 ... 328

    10.6.3 控制程序设计方案 ... 335

小结 ... 338

习题 ... 338

参考文献 ... 339

**第十一章 中国数字电视地面广播  
传输系统标准基带芯片  
设计 ... 340**

11.1 概述 ... 340

11.2 数字电视标准基带芯片设计  
    流程 ... 341

11.3 数字电视标准基带芯片详细  
    设计 ... 345

    11.3.1 芯片前端设计 ... 345

    11.3.2 后端设计 ... 359

    11.3.3 芯片设计验证 ... 369

小结 ... 383

习题 ... 383

参考文献 ... 383

**第十二章 数字电视系统的测试  
技术 ... 384**

12.1 数字电视测试的参数和  
    概念 ... 384

    12.1.1 传输码速率 ... 384

    12.1.2 误码率 ... 385

    12.1.3 信号功率 ... 386

    12.1.4 载噪比、信噪比 ... 387

    12.1.5 多径模型 ... 388

    12.1.6 传输质量的主观评价 ... 390

    12.1.7 传输质量的客观评价 ... 391

12.2 数字电视测试环境介绍 ... 392

    12.2.1 实验室测试环境 ... 392

    12.2.2 现场测试环境 ... 393

    12.2.3 被测设备 ... 393

    12.2.4 测试仪器列表 ... 394

    12.2.5 重点测试仪器介绍 ... 395

12.3 数字电视传输性能的实验室  
    测试 ... 398

    12.3.1 最小接收信号电平 ... 399

    12.3.2 高斯信道下的载噪比  
        门限 ... 400

    12.3.3 高斯信道下的最小  
        误码率 ... 400

    12.3.4 静态两径条件下的  
        最大回波延时 ... 401

    12.3.5 静态两径条件下的  
        D/E 门限 ... 401

    12.3.6 静态多径信道下的  
        载噪比门限 ... 402

    12.3.7 动态多径信道下的  
        载噪比门限 ... 403

    12.3.8 动态多径信道下的  
        最大频移 ... 403

    12.3.9 同(邻)频模拟干扰  
        数字测试 ... 404

12.3.10	同(邻)频数字干扰 数字测试 .....	405	13.1.4	数字交互式电视系统 规范 .....	422
12.3.11	同(邻)频数字干扰 模拟测试 .....	406	13.1.5	数字交互式电视的 发展策略 .....	424
12.3.12	抗脉冲噪声测试 .....	407	13.2	视频点播 .....	424
12.3.13	抗单频干扰 .....	408	13.2.1	视频点播技术概要 .....	424
12.3.14	抗相位噪声 .....	408	13.2.2	真视频点播、准视频 点播与全视频点播 .....	425
12.3.15	峰均值功率比 .....	410	13.2.3	视频点播原理剖析及 实现结构 .....	426
12.3.16	同步时间测试 .....	410	13.3	IPTV .....	428
12.3.17	传输透明度 .....	411	13.3.1	IPTV 业务系统 .....	428
12.3.18	实验室测试典型测试 结果举例 .....	411	13.3.2	IPTV 对承载网的需求 .....	429
12.4	数字电视传输性能的现场 测试 .....	412	13.3.3	IPTV 内容分发组网 模式 .....	430
12.4.1	固定点室外接收测试 .....	413	13.3.4	IPTV 承载网改造 .....	431
12.4.2	固定点室内接收测试 .....	414	13.4	移动多媒体与手机电视 .....	433
12.4.3	车载移动接收测试 .....	415	13.4.1	概述 .....	433
12.4.4	室内移动接收测试 .....	415	13.4.2	移动多媒体的技术 要求 .....	433
小结 .....		416	13.4.3	手机电视系统组成 .....	434
习题 .....		417	13.4.4	手机电视的业务管理 .....	435
参考文献 .....		417	13.4.5	手机电视实现方式 .....	435
13.4.6	手机电视业务的运营 模式 .....	437	小结 .....		438
习题 .....		438	参考文献 .....		438
参考文献 .....		438			
<b>第十三章 数字电视技术的发展</b> .. 418					
13.1	数字交互式电视 .....	418			
13.1.1	三网融合 .....	418			
13.1.2	数字交互式电视的 基本特征 .....	420			
13.1.3	数字交互式电视关键 技术 .....	422			



# 第一章 概 论

近几个世纪以来每个世纪均有一项主导型的技术：18世纪发生了伟大的工业革命，可以称为机械工业时代；19世纪则是蒸汽机时代；20世纪最重要的是信息技术与计算机互联网的发展，这包括遍布全球的电话网与数据网的安装、无线电与电视的发明与普及、计算机的诞生与飞速发展，尤其是电信网、计算机网、有线电视网带来的深刻的社会变革；而21世纪的基本技术特征则是数字化、网络化和信息化，伴随着经济的不断发展，信息技术革命的浪潮已经席卷全球，人类已真正步入信息时代。

与此同时，广播电视领域也在进行一场深刻的革命，电视的数字化和网络化则集中体现了这场革命的深刻内涵。科学技术的巨大进步、用户对高品质视听生活的不断追求正加速推动着模拟电视数字化的进程，模拟电视向数字电视转变已是大势所趋。数字电视代表着现代电视技术的发展潮流，因而正日益成为现代电视系统的主流。

## 1.1 数字电视的概念

所谓数字电视，严格来说就是从信源开始，将图像画面的每一个像素、伴音的每一个音节都用二进制数编码成为多位数码，经过高效的信源压缩编码和前项纠错、交织与调制等措施的信道编码后，以非常高的比特率进行数码流发射、传输和接收的系统工程。仅在接收端的显像管和扬声器的输入端，分别得到经数模转换后的模拟视频信号和模拟环绕立体声音频信号。

自1936年英国首先开通电子式的黑白电视广播以来，电视技术历经了黑白电视、模拟彩色电视、数字高清晰度电视的发展历程。与此同时，电视也具有了无线广播、有线广播、卫星直播、数据广播、双向通信等多种传输方式。PAL、NTSC、SECAM是广播电视历经几十年发展而逐步形成的模拟彩色电视的国际3大制式。如今，数字电视与高清晰度电视正轰轰烈烈地在全球实施及推广，中国数字电视产业的发展已经进入一个关键时期。

### 1.1.1 数字电视

电视界有这样一种说法：将黑白电视称为第一代电视，模拟彩色电视称为第二代电视，数

字高清晰度电视称为第三代电视。这种说法在一定意义上揭示出电视技术的发展和趋势。

数字电视(DTV)是相对于模拟电视而言的,是指节目录制、采编、传输、接收等环节全部采用数字化技术来实现的电视系统,包括数字摄像、制作、编码、调制和接收等,达到高质量传送电视信号的目的。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、信道纠错码、各种传输信道的调制解调以及高清晰度显示器等技术,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、有线数字电视和地面数字电视。

数字电视按其传输视频(活动图像)比特率的大小可以粗略划分为标准清晰度数字电视(SDTV)和高清晰度电视(HDTV)。标准清晰度电视视频比特率为3~8 Mbit/s,显示清晰度为350~600线;高清晰度电视视频比特率为18~20 Mbit/s,显示清晰度为800~1 000线。

## 1.1.2 数字化电视

任何事物的发展都不是一蹴而就的,而是循序渐进、逐步完善的,电视领域也是如此。在数字电视的漫长发展历程中,必然会出现一些过渡技术,因而会诞生相应的过渡产品,数字化电视正是电视技术由模拟电视向数字电视方向演变的过渡产品。所谓数字化电视(或者称数码电视),是在现有模拟彩色电视机中采用了多种数字化处理技术,如数码100扫描技术、3D/5D数字化图像处理技术、I<sup>2</sup>C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。但它的核心处理方式是将天线接收到的电视信号通过调谐器选台变频以及图像、伴音中频放大之后,再分别解调处理,从而获得调制在电视载波上的全电视信号和音频信号。这一部分工作流程与普通模拟彩色电视基本一样,高频接收、中频放大等电路并未实现数字化,因而数字化电视本质上仍然属于模拟电视的范畴,并不能称之为真正的数字电视。

数字化电视作为电视技术从模拟方向发展到全数字方向的一种过渡性产品,从信号特性分析,它与模拟电视的共同之处在于电视图像、伴音传输信号仍为模拟信号,它与模拟电视的最大区别则是信号处理方式不同。模拟电视接收机与数字化电视接收机的信号处理流程图分别如图1-1和图1-2所示。由图1-2可见,数字化电视采用了模数(A/D)转换技术,先将模拟电视信号转化为数字电视信号,再利用现代数字信号处理技术进行一系列数字化处理,同时采用双倍行、场扫描技术,克服模拟电视单倍行、场扫描带来的大面积闪烁感,最后进行数模(D/A)转换,还原为模拟彩色R、G、B信号。



图1-1 模拟电视接收机信号处理流程图

数字化电视与模拟电视相比有诸多优点:第一,采用场频加倍技术,消除了目前50 Hz场频带来的大面积闪烁感,对眼睛有益;第二,实现了逐行显示的标准VGA图像,去除行间闪

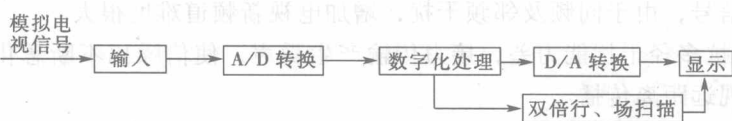


图 1-2 数字化电视接收机信号处理流程图

烁，提高图像垂直清晰度，可作为计算机的显示器；第三，采用数字降噪技术，减轻了画面噪点；第四，采用数字梳状滤波器，使亮度信号与色度信号完全分离，消除了亮色串扰现象；第五，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之间的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；而两者的共同点是在电视接收部分都采用了数字化处理技术。

这里要特别指出的是，数字化电视并不是真正的数字电视，而只是对模拟电视信号采用了数字化的接收处理方法，是接收机数字化的模拟电视系统。

### 1.1.3 高清晰度电视

数字高清晰度电视(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，可以达到 35 mm 宽银幕电影的放映效果。

国际无线电咨询委员会(CCIR,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到清晰细节的程度，达到与视力正常的观看者看原始景物相同的感受。报告中观看距离为屏面高度 3 倍是根据人眼视觉的空间频率特性(即人眼对单位空间内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(相当于医学视力 1.0)。

## 1.2 数字电视的优点

纵观电视技术的发展历程，从黑白电视到彩色电视、从模拟电视到数字电视、从标准清晰度电视到数字高清晰度电视，可以看出这个发展历程正映射出现代科学技术在电视领域的应用日益成熟、日益广泛。那么与传统模拟电视相比，数字电视究竟有什么优点，以至于国家要投入如此大的力气来进行推广呢？

首先传统模拟电视存在的一系列问题不能满足人们对高品质视听生活的不断追求。模拟电视存在的主要问题如下：

- ① 模拟电视清晰度差，存在亮色干扰、大面积闪烁现象，节目源不能多次复制。
- ② 模拟电视带宽受限很大，模拟 PAL 制电视在 8 MHz 带宽内只能传送 1 路模拟视频信号

和 1 路模拟音频信号, 由于同频及邻频干扰, 增加电视新频道难度很大。

③ 模拟电视抗多径干扰能力差, 接力传输产生噪声, 使信噪比不断恶化, 图像损伤越来越严重, 不能实现远距离传播。

④ 在模拟电视发送传输设备中, 电路的非线性使图像几何失真越来越大, 而放大器的相位失真则产生色彩失真, 使“鬼影”现象越来越严重。

⑤ 模拟电视稳定度及可靠性差, 还存在时域混叠、调整复杂、不便集成及不易实现自动控制等缺点。

与模拟电视相比, 从技术层面分析, 数字电视具有以下特点和先进性:

① 信号处理与传输的质量主要取决于信源。因为数字设备只输出 1、0 两个电平, 在恢复时不究其大小, 因而信号稳定可靠, 抗干扰强, 非常适合远距离数字传输。正因为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, 因而在多次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, 都可能把它消除掉。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, 在接收端纠正它们, 从而可避免系统非线性失真的影响, 大大提高图像的质量。而在模拟系统中, 非线性失真会造成图像的明显损伤, 例如放大器的非线性产生的相位畸变会导致色调失真。模拟信号在传输过程中基本上不产生杂波, 为了保证最终输出有足够的信噪比, 模拟信号要求  $S/N > 40 \text{ dB}$ , 而数字信号只要求  $S/N \geq 26 \text{ dB}$ 。换言之, 在相同的覆盖面积下, 数字电视大大地节省了发射功率。

② 数字电视采用数据压缩技术, 传输信道带宽较模拟电视大为减小, 使现有的 1 套模拟频道带宽可以传输 8~10 套标准清晰度数字电视节目, 大大降低信号发射、传输费用。同时便于实现计算机网、电视网、电信网走向融合, 构成新一代多媒体通信系统, 也是国家信息基础设施的重要组成部分。三网融合是大势所趋, 是充分实现真正意义上的信息资源共享、避免重复投资的关键所在。此外, 压缩后的数字电视信号可进行多种分级形式的广播。当设计在开路地面广播时, 在其服务区内的观众将以极大的概率实现无差错接收, 包括移动接收, 收到的声像质量非常接近演播室声像质量。

③ 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, 大规模集成电路尤其是半导体存储器技术、微纳电子技术的发展, 使得多帧的电视信号可被存储, 从而完成用模拟技术不可能达到的处理功能。例如, Flash、SDRAM 存储器的广泛应用, 使帧存储器可用来实现压缩记忆帧同步和制式转换等处理, 从而获得多个中心的电视图像特技效果。

④ 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(容易实现数字变换, 为图、文、声、数据并茂的综合业务数字网开拓了广阔的应用领域。数据广播是典型的应用形式)。

⑤ 具有开放性和兼容性。从发送端到接收端的数字电视系统形成的产业链涉及很多相关产业, 包括节目源或数据信息供应商、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, 即符合专业内标准, 包括接口标准, 如 H. 26x、MPEG 系列标准以及中间件标准等。通过机顶盒和数字电视接收机实现信号接收和回传, 也改变了模拟体制下的 NTSC、PAL 和 SECAM 制电视节目不能交互的特性。

⑥ 数字电视设备广泛使用超大规模集成电路(Very Large Scale Integrated Circuit, VLSI)技



术,可增强系统功能、提高系统稳定性,数字电视在图像格式上与计算机相兼容,易于与计算机相连接处理图像信息,同时将数字技术与计算机技术相结合可实现电视设备的自动控制及操作。

⑦ 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,而且在今后能够采用单频率网络技术。例如,1套电视节目仅占用1个数字电视频道即可覆盖较大地区甚至全国。

⑧ 具有可扩展性、可分级性和互操作性。数字电视信号可以依据频率的高低进行分级调制传输,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,也便于与计算机网连网。股票市场、视频点播、网络游戏、移动电视、网络电视(IPTV)/流媒体电视和手机电视已开始流行。

从通用层面分析,数字电视的优点如下:

① 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。例如,在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。这是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、电子政务、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。

② 很容易实现密码措施,即加密/解密和加扰/解扰技术,便于专业应用(包括军用)以及数据广播业务的应用。特别是开展各类条件接收的收费业务,这是数字电视的重要增值点,也是数字电视得以快速滚动式发展的基础。

③ 在数字电视通信中可以互不干扰地同时传送文字、数据、语音、精致图像等多种数字信息。数字电视网可与计算机网、电信网互连互通,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。

④ 数字电视内容丰富,电子节目指南大大方便用户快速找到自己喜爱的频道,平均每月500部电影,还有大量的娱乐性节目。

⑤ 数字电视提供的最重要的服务就是视频点播(VOD)。VOD是一种全新的电视收视方式,它不像传统电视那样,用户只能被动地收看电视台播放的节目,它提供了更大的自由度、更多的选择权、更强的交互能力,传用户之所需,播用户之所点,有效地提高了节目的参与性、互动性、针对性。因此,可以预见,未来电视将朝着点播模式的方向发展。

⑥ 灵活的人机交互界面,便于用户操作。除显示设备外,其余设备可系统集成,进行大规模生产,因此便于推广普及。虽然目前数字电视价格普遍较高,但随着它的广泛应用,价格必然越来越低廉。

所以,不管是从技术上来说还是从通用性来说,数字电视取代模拟电视都将是必然的趋势。但并不是说数字电视就是完美无缺的,它同样存在着一些弱点。例如采样、量化误差,压缩编码所带来的信号损伤,在节目制作及传输过程中的贯通延迟。有些损伤可以修复,并不影响图像的最终质量,而有些损伤只能通过一些补偿措施削弱它的影响,但这并不能影响电视领域向数字化的转变。与电视信号数字化后所带来的好处相比,这些影响往往会被忽略。