

# 数 字 电 视 技 术

---

<b>第1章 数字电视技术概述 .....</b>	<b>9</b>
<b>本章目标 .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 电视技术的演进.....</b>	<b>9</b>
1.1.1 电视技术的发展背景.....	9
1.1.2 我国数字电视发展状况.....	10
1.1.3 彩色电视的国际制式.....	12
<b>1.2 数字电视技术基础.....</b>	<b>14</b>
1.2.1 数字电视概念及发展史.....	14
1.2.2 数字电视的原理及优势.....	16
1.2.3 数字电视的分类.....	19
1.2.4 数字电视信号编码方式.....	20
<b>1.3 数字电视系统组成及关键技术.....</b>	<b>22</b>
1.3.1 数字电视系统架构.....	22
1.3.2 数字电视关键性能指标.....	23
1.3.3 电视系统数字化趋势.....	23
<b>1.4 数字电视的发展方向.....</b>	<b>24</b>
1.4.1 高清晰度电视.....	24
1.4.2 图文电视.....	27
1.4.3 卫星电视.....	28
1.4.4 有线电视.....	29
1.4.5 多媒体电视.....	31
1.4.6 交互式电视.....	31
<b>本章总结 .....</b>	<b>33</b>
<b>第2章 数字信号基础知识 .....</b>	<b>34</b>
<b>本章目标 .....</b>	<b>34</b>
<b>2.1 倍频基础知识.....</b>	<b>34</b>
2.1.1 普通电视系统存在的缺陷.....	34
2.1.2 传统低场频隔行扫描的缺陷.....	35
2.1.3 减小行间闪烁的方法.....	36
<b>2.2 数字通信的特点.....</b>	<b>38</b>
<b>2.3 数字信号的产生.....</b>	<b>39</b>
2.3.1 模拟信号和数字信号.....	39
2.3.2 信号的数字化过程.....	40
2.3.3 数字视频信号的编码方式和格式.....	42
<b>2.4 数字视频的基本原理.....</b>	<b>43</b>
2.4.1 二进制原理.....	43
2.4.2 数字通信系统的主要性能指标.....	46

---

2.4.3 传输速率和带宽的关系.....	47
2.5 数字视频常用技术.....	47
2.5.1 NICAM 的基本原理 .....	47
2.5.2 两倍速扫描的基本原理.....	52
2.5.3 I2C 总线的控制技术.....	54
2.5.4 IM 总线的控制技术.....	58
2.5.5 模糊技术的应用.....	60
本章总结 .....	62
<b>第 3 章 数字电视信源编码技术.....</b>	<b>63</b>
<b>本章目标 .....</b>	<b>63</b>
3.1 数字电视的信源编码概述.....	63
3.2 数字电视信号参数和演播室参数标准.....	64
3.2.1 亮度信号取样频率.....	64
3.2.2 亮度信号每行取样数.....	64
3.2.3 色度信号格式.....	65
3.2.4 编码方式和量化.....	67
3.2.5 数字电视演播室参数标准.....	68
3.3 数字视频压缩技术分析.....	70
3.3.1 概述 .....	70
3.3.2 数据压缩的可行性.....	72
3.3.3 图像压缩编码方法的分类.....	73
3.3.4 压缩编码方法简介.....	75
3.4 数字视频压缩标准详述.....	82
3.4.1 JPEG 编码标准 .....	83
3.4.2 H.261 标准.....	86
3.4.3 MPEG-1 标准 .....	88
3.3.4 MPEG-2/H.262 标准 .....	93
3.3.5 MPEG-4 标准 .....	107
3.3.6 MPEG-7 标准 .....	111
3.3.7 H.264/AVC 标准.....	111
3.3.8 其它压缩标准.....	114
本章总结 .....	115
<b>第 4 章 数字电视信道编码及传输技术.....</b>	<b>116</b>
<b>本章目标 .....</b>	<b>116</b>
4.1 信道编码概述.....	116
4.1.1 信道编码的作用.....	116
4.1.2 纠错编码的分类.....	117
4.1.3 信道编码基本概念.....	118
4.2 奇偶校验码和 RS 码.....	119

---

4.2.1 奇偶校验码.....	119
4.2.2 RS 码.....	121
4.3 卷积码 .....	121
4.3.1 卷积码分两种形式.....	121
4.3.2 编码器的形式.....	122
4.3.3 状态图.....	123
4.4 交织编码 .....	124
4.4.1 基本原理.....	125
4.4.2 交织编码在数字电视广播系统中的应用.....	126
4.5 数字电视信道编码方案.....	127
4.6 数字信号的基带传输.....	128
4.6.1 数字信号的基带传输.....	128
4.6.2 伪随机序列扰码.....	130
4.6.3 无码间干扰基带传输.....	132
本章总结 .....	134
<b>第 5 章 数字电视条件接收技术.....</b>	<b>135</b>
本章目标 .....	135
5.1 概述 .....	135
5.2 条件接收系统的原理.....	136
5.3 同密和多密 CA.....	138
5.3.1 同密条件接收系统.....	138
5.3.2 多密条件接收系统.....	139
5.3.3 二者的比较.....	140
5.4 条件接收系统构成及特点.....	141
5.4.1 条件接收系统的安全保障措施.....	141
5.4.2 条件接收系统的组成.....	141
5.4.3 条件接收系统的特点.....	142
5.5 条件接收系统的功能.....	143
5.5.1 提供多种授权方式.....	143
5.5.2 实现地区的阻塞.....	143
5.5.3 发送 EMM 消息 .....	144
5.5.4 发送邮件.....	144
5.5.5 不同层次的加扰方式.....	144
5.5.6 成人级分类.....	144
5.5.7 指定一机一卡方式.....	144
5.5.8 智能卡认证.....	144
5.6 机卡分离技术介绍.....	145
5.6.1 机卡分离的目的.....	145
5.6.2 国外机卡分离技术介绍.....	145

---

5.6.3 我国自主知识产权 UTI 机卡分离方案 .....	146
5.7 数字电视的传输方式 .....	148
本章总结 .....	149
<b>第 6 章 数字电视广播系统 .....</b>	<b>150</b>
<b>本章目标 .....</b>	<b>150</b>
6.1 数字电视广播系统概论 .....	150
6.1.1. 美国的 ATSC .....	150
6.1.2. 欧洲的 DVB .....	152
6.1.3. 日本的 ISDB .....	155
6.2 ATSC 数字电视广播系统 .....	156
6.2.1 ATSC 的视频及系统复用 .....	156
6.2.2 ATSC 的信道编码 .....	158
6.2.3 ATSC 中的 VSB 调制系统 .....	161
6.3 DVB 数字电视广播系统 .....	162
6.3.1 MPEG-2 系统标准在 DVB 中的实施 .....	163
6.3.2 DVB 中的信道编码 .....	164
6.3.3 DVB-T 中的调制系统 .....	168
6.4 ISDB-T 数字电视广播系统 .....	173
6.4.1 ISDB-T 的信源编码 .....	173
6.4.2 ISDB-T 中的信号传送形式及传送带宽 .....	173
6.4.3 传送参数 .....	173
6.5 三种地面传输系统的比较 .....	176
6.6 我国数字电视标准及发展现状 .....	178
6.6.1 数字电视标准发展背景 .....	178
6.6.2 我国数字电视地面传输标准的制定问题 .....	179
本章总结 .....	182
<b>第 7 章 数字信号的载波调制技术 .....</b>	<b>183</b>
<b>本章目标 .....</b>	<b>183</b>
7.1 数字信号载波调制的目的 .....	183
7.2 数字调制技术方法和分类 .....	184
7.2.1 单载波调制和多载波调制 .....	184
7.2.2 数字载波调制的方法 .....	185
7.3 M-PSK 相移键控 .....	186
7.3.1 MPSK .....	186
7.3.2 QPSK 四相相移键控 .....	189
7.4 M-QAM 正交振幅调制 .....	192
7.5 M-FSK 频移键控 .....	195
7.6 M-ASK 幅移键控 .....	196
7.6.1 2ASK 调制 .....	196

---

7.6.2 MASK 调制 .....	197
7.7 MVSБ 调制 .....	197
7.7.1 调制效率 .....	198
7.7.2 MVSБ 和 MQAM 的比较 .....	198
7.8 正交频分复用 (OFDM) 调制技术 .....	199
7.8.1 传统频分复用 (FDM) .....	199
7.8.2 正交频分复用 (OFDM) .....	199
7.8.3 正交频分复用 (OFDM) 技术的发展 .....	200
7.8.4 OFDM 调制的基本原理 .....	200
7.8.5 OFDM 已调载波的数学分析 .....	202
7.8.6 OFDM 具体实施方法 .....	202
7.8.7 OFDM 技术的优点 .....	203
7.8.8 OFDM 技术的缺点 .....	204
7.8.9 OFDM 在数字电视中的应用 .....	204
本章总结 .....	205
<b>第 8 章 数据通信与分组交换</b> .....	<b>206</b>
<b>本章目标</b> .....	<b>206</b>
8.1 数据通信概述 .....	206
8.1.1 数据通信的定义和特点 .....	206
8.1.2 数据通信系统的构成 .....	207
8.1.3 数据通信的工作方式 .....	208
8.1.4 数据传输方式 .....	208
8.1.5 数据信号的基本形式 .....	209
8.2 数据链路传输控制规程 .....	210
8.2.1 数据链路 .....	210
8.2.2 数据链路控制规程 .....	210
8.2.3 数据链路控制规程的种类 .....	211
8.3 数据传输 .....	211
8.3.1 数据传输的基本形式 .....	211
8.3.2 数字数据传输的基本原理 .....	212
8.4 数据通信网的交换方式 .....	213
8.4.1 电路交换 .....	213
8.4.2 报文交换 .....	214
8.4.3 分组交换 .....	214
8.5 分组交换数据网 .....	214
8.5.1 分组交换的基本原理 .....	214
8.5.2 分组交换网的通信协议 .....	216
本章总结 .....	220
<b>第 9 章 数字机顶盒</b> .....	<b>221</b>

---

本章目标 .....	221
9.1 数字机顶盒概述.....	221
9.1.1 数字机顶盒定义.....	221
9.1.2 数字机顶盒分类.....	222
9.2 机顶盒的硬件结构.....	223
9.2.1 调谐解调器.....	223
9.2.2 主芯片.....	223
9.2.3 内存 .....	223
9.2.4 外部存储设备.....	224
9.2.5 智能卡接口.....	224
9.2.6 回传通信接口.....	224
9.2.7 其他设备接口.....	224
9.3 机顶盒的软件系统.....	224
9.3.1 驱动层.....	224
9.3.2 中间解释层.....	224
9.3.3 应用层.....	225
9.4 机顶盒的分类与应用.....	225
9.5 解决方案比较.....	226
9.5.1 方案比较.....	226
9.5.2 其它技术的应用.....	226
9.6 几款典型产品介绍.....	228
9.6.1 DVB-C 方案的机顶盒.....	228
9.6.2 DVB-T 方案的机顶盒.....	230
9.6.3 DMB-T 方案的机顶盒 .....	231
本章总结 .....	233

## 内容简介

当今，电视技术正与其他高新技术互相结合不断创造出新的产品，电视正在走向数字化，这些趋势必使电视迎来更大的发展和更广泛的应用。本书深入浅出介绍了正在发展中的数字电视技术。

本书共分 9 章，重点介绍了数字信道编码技术和信源编码技术、数字电视的国际标准制式、数字电视的条件接收技术、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。

本书是我在业余时间整理编写，编写完成后原稿一直放在我的电脑中，我觉得还是应该把它传到网络上，大家共享一下，^\_^. 我的 msn: [fivezhou@msn.com](mailto:fivezhou@msn.com), (周希武)，欢迎大家联系我，不论是讨论技术还是讨论业务都可以。

# 第1章 数字电视技术概述

## 本章目标

本章结束时，学生能够：

- ◆ 掌握电视技术的发展历史
- ◆ 掌握数字电视与高清晰电视概念
- ◆ 掌握数字的分类
- ◆ 掌握数字电视构架及关键技术

### 1.1 电视技术的演进

#### 1.1.1 电视技术的发展背景

当今时代被誉为信息时代，科学技术飞速发展，与此同时，广播电视领域也在发生一场深刻革命，电视的数字化和网络化则集中体现了这场革命的深刻发展内涵。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的数字化进程，模拟电视向数字电视转变已经是大势所趋。数字电视代表着现代电视技术的发展潮流，因而正日益称为现代电视系统的主流。

广播电视技术从 20 世纪 30 年代末发展到现在，已经有 70 多年的历史，其中经历了 50 年代从黑白电视到彩色电视的革命，如今广播电视技术正进行着又一次重大革命：从电视节目编播、制作、存储到传输、接收，都在向数字化方向发展。高质量、高频谱利用率的数字高清晰度电视和多媒体交互数据广播业务系统已经面世，广播电视从模拟到数字的全面过渡正在加速进行。部分发达国家已逐步开展数字电视广播，预计 2006 至 2010 年间可以实现全数字电视这一宏伟目标。

自从 1936 年英国首先开通电子式的黑白电视广播以来，电视技术经历黑白电视、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、有限广播、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三大制式。如今，数字电视与高清晰度电视正在轰轰烈烈地在全球推广，数字电视产业的发展正在进入一个关键时期。

纵观电视技术的发展历程：从黑白电视倒彩色电视、从模拟电视倒数字电视、从标清电视倒高清电视，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。数字高清电视带给人们更高级的视听享受、更清晰的图象、更逼真的色彩、更优美的音质。电视数字化是一个全球的趋势，是继黑白电视到彩色电视后的又一次革命。

欧洲 1993 年成立了数字视频广播（DVB）组织，现有近 200 个成员。该组织为数字视频广播系统提供一个唯一的、确定的框架 DVB-S、DVB-C、DVB-T，制定了被世界范围能接受的数字电视广播标准。DVB-S 规定了卫星数字广播调制标准，使原来传送一套 PAL 制节目的频道可以传播四套数字电视节目，大大提高了卫星的效率。DVB-C 规定了在有线电视网中传播数字电视的调制标准，使原来传送一套 PAL 制节目的频道可以传播四~六套数字电视节目。DVB-T 规定了在开路地面数字广播电视节目采用的调制标准。这些均得到欧洲通信标准组织（ETSI）和国际电联（ITU）的通过。

美国于 1996 年 12 月 24 日已决定采用以 HDTV 为基础的 ATSC（Advanced Television System Committee）作为美国国家数字电视（DTV）标准。美国联邦通信委员会（FCC）决定用 9 年时间完成模拟电视向数字电视的历史性过渡。在 1998 年 11 月 1 日开始实施数字电视地面广播（DTV），将有 24 个电视台发送全数字电视；1999 年 11 月 1 日有 120 个电视台播出数字电视节目；其余的全部电视台在 2003 年 5 月 1 日播出数字电视；2006 年停止 NTSC（National Television Standards Committee）。

日本于 1995 年 7 月在日本电气通信技术审议会上通过了与欧洲 DVB-S 相符的日本数字电视标准。DVB-T 也在积极筹划中，1997 年进行了第一次试验，1998 年进行测试，2000 年正式开始数字视频广播。为了在同数字信道内同时传送视频、音频和数据广播，日本正在开发综合业务数据广播（ISDB）。

目前，在全球有许多国家已开展了电视数字化和 DVB 业务，其中以欧洲的一些发达国家最为普遍，亚洲的日本和韩国也较为普及，新加坡、印度等国家也已起步。中国的数字化电视是与世界站在同一条起跑线上。

从相关资料可知，美国计划在 2006 年完成地面数字电视从模拟向数字的过渡，目前其地面数字电视的覆盖率已达 94%，有线数字电视用户数达 1670 万。

日本计划 2006 年实现数字电视全国覆盖，全部采用数字高清节目。

法国、德国、西班牙、意大利、英国的数字电视用户，到 2008 年将超过整个电视用户的 50%（英国在 2002 年底已达到 40%）。

而我国香港地区九仓有线电视网的 60 万用户用了不足一年的时间，已全部实现了数字化。

电视数字化带来并创建了电视广播业务的新概念，它将不再是传统的电视。虽然数字电视广播系统的主要功能是使我们能高质量地传送更多频道的节目，但数字化还会带来了更新、更复杂的业务。这些复杂的业务和应用，主要是基于数字装置不断扩张的处理能力和全球数字化（如互联网）所提供的巨大基础设施，并相互交叉，以及与电视提供娱乐和信息的多种传统形式相融合。因此，数字电视的发展前景是非常光明的。

### 1.1.2 我国数字电视发展状况

广播电视是我国信息产业和文化产业的重要组成部分，广播电视数字化是国家现代化和社会信息化的重要标志。我们国高度重视我国广播电视数字化工作，将其列入了国家发展规划。经过全国广电系统多年的艰苦努力，大部分广播电台、电视台在节目采集、制作、播出、传输环节基本实现了数字化，目前只有接收环节，即用户的电视机是模拟的。我国有线电视实现数字化的条件已经具备，时机已经成熟。广电总局确定从今年开始，我国有线电视由模

拟向数字整体转换，全面推进广播电视台的数字化。

广播电视台将实施“三步走”的发展战略，即 2003 年全面推进有线数字电视；2005 年开展数字卫星直播业务，开始地面数字电视试验，有线数字电视用户达到 3000 万；2008 年全面推广地面数字电视和高清晰度电视。2015 年将停止模拟电视的播出。今年 5 月，广电总局发布了《我国有线电视向数字化过渡时间表》，按照东部、中部、西部三个区域，分 2005 年、2008 年、2010 年、2015 年四个阶段全面实现有线电视数字化。

广播电视台数字化将对我国经济社会发展产生深远的影响。一是广播电视台数字化将大大加快我国信息化进程。广播电视台是最普及的信息工具和最好的信息载体，广播电视台数字化将使目前的 4 亿台电视机成为一个集公共传播、信息服务、文化娱乐、交流互动于一体的多媒体信息终端。广播电视台实现了数字化就意味着家庭进入了数字化，每个家庭的数字化是城市现代化、社会信息化的重要标志。二是广播电视台数字化将极大地促进文化产业的发展。广播电视台数字化搭建了一个新的平台、创造了一个新的空间，带动文化、媒体、服务等行业的发展，形成新的文化娱乐消费市场，满足人民群众日益增长的对精神文化生活的需求。

为了全力推动广播电视台数字化，广电总局把今年定为“网络发展年”，以有线电视数字化为重点，在前两年试验的基础上，在北京、上海、重庆、青岛等 40 个城市和 6 个省建立了有线数字电视示范网，全面开展试点工作。为了做好试点工作，还制定了技术、节目、管理等一系列的政策。同时还开办了付费数字电视等新业务，到目前，经广电总局批准试播的付费数字电视节目有 27 套，数字广播节目有 7 套。这些节目自 9 月 1 日起，陆续在部分试点地区试播。各试点单位采取多种方式，大力推广普及机顶盒，还提供了多种多样的信息服务。

广播电视台数字化引起了社会各界的广泛关注。地方党委、政府大力支持，积极倡导；产业部门积极响应，密切配合；各地观众多方咨询，踊跃参与。近期，总局委托有关机构对全国大中城市进行了抽样调查，绝大多数城镇居民对广播电视台数字化持赞成态度，74% 的城镇居民表示愿意为享受数字电视付费。

广播电视台数字化是国家的要求，人民的期望。为了全力推进广播电视台数字化，广电总局将 2004 年确定为数字化发展年和产业化发展年。广播电视台数字化给文化产业和媒体的发展带来了一个难得的历史机遇，只要抓住了这一机遇，今后十年文化产业和媒体将是我们国家发展最快、变化最大的行业。

按照国家广电总局的最新规划，2003 年中国将全面推广有线数字电视，力争到 2005 年实现实现有线数字电视接收用户超过 3000 万户；到 2005 年，省级以上广播电台、电视台基本实现采、编、播数字化，全国广播电视台系统基本实现网络化。到 2008 年全国部分地区实现高清晰数字电视播放；全面推广地面数字电视广播。到 2010 年基本实现广播电视台节目制作、播出、传输、发射和接收数字化，到 2015 年完成模拟向数字的过渡。

目前北京、上海、广州、深圳、青岛等许多城市已经开始推广有线数字电视和车（船）载移动数字电视广播。从世界范围看，模拟向数字过渡，主要有两种方式，一是通过数字电视机顶盒使现有的模拟电视机能够接收到数字节目，二是直接采取数字电视接收机。但对于目前我国普通家庭固定接收采取机顶盒的方式更加经济些。

由于我国有线电视体制为划地区、多层次结构，各地电视台采用不同系统，各地信号的加密方式、条件接收（CA）系统是不同的，而这些系统互相并不兼容，因此对用户授权的控制功能跟当地有线电视运营单位密切相关。由于机顶盒不仅完成了数字信号的还原功能，同

时还完成了对用户授权的控制功能，数字信号的还原虽然可以做到电视机中去，但用户授权的控制是不行的，否则会引起某个地方生产的电视机在别的地方用不了。因此，目前家庭用模拟电视机收看有线数字电视节目需要一个“定制”的机顶盒。

在有线数字电视快速发展的同时，我国的数字电视地面广播的发展在近几年也呈现快速发展之势。1999年5月上海开始数字电视地面广播试验；2000年上海承建国家计委在上海地区的数字高清电视地面广播试验平台；2002年上海市广播科学研究所在上海交通大学的配合下，在东方明珠广播电视塔建立了数字电视公交移动接收系统，并进行了国家数字电视标准试验；2003年1月1日，经国家广电总局批准，上海正式推出以公交车辆为主要载体的移动电视商用系统，成为中国第一个、全球第二个普及移动数字电视的城市；2004年2月，上海推出以出租车为载体的移动电视商用系统。此外，上海移动电视技术还应用于上海银行、轮渡码头、浦江游轮、便利店等。在上海模式的示范下，移动数字电视在全国各个经济实力较强的省市呈风起云涌之势，除上海外，湖南、北京、南京、福建、天津、杭州、江西等省市的数字电视地面广播项目也已经如火如荼，以上省市基本上都是采用 DVB-T 标准。河南、湖北采用的标准是清华大学的 DMB-T 方案。

2004年，作为广东省广播电视台无线覆盖和传输的主力，广东广播电视台技术中心建立起全国第一个超距离布点的数字电视地面广播单频覆盖网，从广州市起步，逐步覆盖珠江三角洲地区和广深、深汕等省内高速公路，最终将完成全省的覆盖网络。该套系统可以在公交车、出租车、商务车、私家车、轻轨、地铁、火车、轮渡、机场及各种种类流动人群集中的移动载体上广泛使用，为受众群体提供精彩实时的资讯类节目。

总之，全数字电视技术是继黑白到彩色电视、数字处理电视技术之后电视技术发展中的又一次革命，它正在给我们的生活带来巨大的变化。

### 1.1.3 彩色电视的国际制式

电视可用不同的方式来实现。实现电视的一种特定方式，称为电视的一种制式。在黑白电视和彩色电视发展过程中，分别出现过许多种不同的制式。

对于彩色电视而言，除了上述有关特性以外，还根据在收、发两端对图象三基色信号不同的处理方式分成许多种彩色电视制式。

#### 1. 按使用不同分类

按使用目的不同，彩色电视分兼容制和非兼容制两大类。所谓“兼容”是指“彩色电视和黑白电视可以相互收看”。即彩色电视节目可以为黑白电视机接收，而显示为黑白图象；黑白电视节目也可以为彩色电视机接收，而显示为黑白图象。通常将前者称为兼容性，后者称为逆兼容性。目前世界上的广播彩色电视都采用兼容制，而非兼容制彩色电视主要用于应用电视。

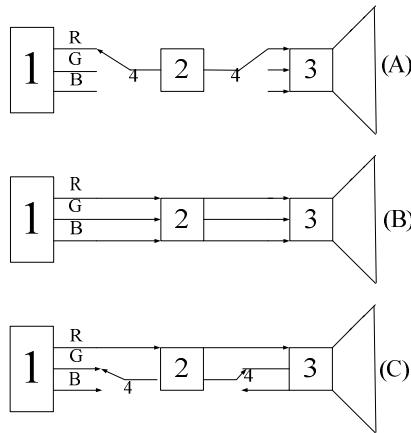


图 1-1 彩色制式示意图

1. 摄像机 2. 表示通道 3. 显像管 4. 表示开关

按信息传输的方式和显示的时间不同，彩色电视可以分为：

- (1) 同时制 (Simultaneous Color Television);
- (2) 顺序制 (Sequential Color Television);
- (3) 顺序一同时制。

在顺序制中，摄像机行到的红、绿、蓝三基色图象信号按一定顺序传送到显象管，利用人眼的视觉暂留特性将三基色图象混合成彩色图象，如图 1-1 (a) 所示。顺序制又分为场顺序制、行顺序制和点顺序制，它们分别是逐场、逐行、逐点地顺序传送三基色信号。顺序制的优点是设备简单，彩色图象质量较好，但是兼容性很差或者不能兼容。为了克服顺序制的缺点而出现了同时制，它将 R、G、B 三基色编码成亮度信号和色度信号来同时传送，经过解码得出三基色信号 R、G、B，然后由显象管合成彩色图象，如图 1-1 (b) 所示。同时制的优点是可以兼容，图象质量较好，但是设备复杂，亮度与色度信号往往存在相互干扰。顺序一同时制是上述两种制式的组合。例如，可将一个基色信号经常传送，而将另两个基色信号依次顺序传送，然后在显象管中合成彩色图象，如图 1-1 (c) 所示。其优缺点与同时制相同，在显象时，三种制式都利用了空间混色原理，顺序制还利用了时间混色原理。显然，具有兼容性的彩色广播电视只能采用同时制或顺序一同时制，而顺序制一般用于彩色应用电视中。

## 2. 三种彩色广播电视制式

目前世界上彩色广播电视制式最主要的有三种：

- (1) NTSC 制，1953 年由美国创立，日本、加拿大等国相继采用；
- (2) PAL 制，1967 年由西德创立，我国、英国、意大利、荷兰等西欧国家以及北欧各国也都采用它；
- (3) SECAM 制，1967 年由法国创立，苏联和东欧各国也都采用它。这三种制式皆属兼容制，其共同点都采用能与黑白电视兼容的亮度信号和两个色差信号作为传输信号；其不同点是两个色差信号对副载波采用不同的调制方式。NTSC 制和 PAL 制都属于同时制，SECAM 制都属于顺序同时制。

彩色电视对三基色信号或由其组成的亮度和色差信号的处理方式。彩色电视系统对三基色信号的不同处理方式，构成了不同的彩色电视制式。广播彩色电视制式要求和黑白电视兼容。为此，彩色电视根据相加混色法中一定比例的三基色光能混合成包括白光在内的各种色光的原理，同时为了兼容和压缩传输频带，一般将红（R），绿（G），蓝（B）三个基色信号组成亮度信号（Y'）和蓝、红两个色差信号（B-Y）'、（R-Y）'，其中亮度信号可用来传送黑白图像，色差信号和亮度信号相组合可还原出红、绿、蓝三个基色信号。因此，兼容制彩色电视除传送相当于黑白电视的亮度信号和伴音信号外，还在同一视频频带内时传送色度信号。色度信号是同两个色差信号对视频频带高频端的色副载进行调制而成的。为防止色差信号的调制过载，将（B-Y）'、（R-Y）'进行压缩，用U、V表示。世界上主要有三种彩色电视制式。NTSC制是美国、日本等国家采用的彩色电视制式，其特点是解码线路简单、成本低。PAL制是1963年联邦德国为降低NTSC制的相位敏感性而发展的一种制式，于1967年正式广播，中国采用的就是此种彩色电视制式。其特点是对相位偏差不敏感，并在传输中受多径接收而出现重影彩色的影响较小。SECAM制也是为了改善NTSC制的相位敏感性而发展的彩色电视制式，为法国、俄罗斯等国家采用。其特点是受传输中的多径接收的影响较小。

## 1.2 数字电视技术基础

### 1.2.1 数字电视概念及发展史

广义的数字电视 Digital TeleVision (DTV) 概念：在电视信号的获取、处理、传输和接收的过程中使用数字电视信号的，都可以称为数字电视系统或数字电视设备。这里数字电视信号可以是直接生成的数字电视信号，如动画、字幕机和数字摄像机产生的数字信号；也可以是由模拟信号经数字化以后产生的数字电视信号；也可以是经处理的数字电视信号，如MPEG格式的压缩数字电视信号。

狭义的数字电视概念：数字电视系统是指采用数字技术将活动图像、声音和数据等信号加以处理、压缩、编码、传输/存储，经实时发送或利用记录媒体（如影碟）存储、传播后，供用户接收、播放的视听系统。它本质上是将传统模拟电视信号经过取样、量化和编码转化成二进制形式的数字电视信号，或者是利用数字摄像机、数字录像机、数字摄录机等设备直接产生数字电视信号，然后进行一系列针对数字信号的处理、传输、存储和记录，然后实施发送、广播，供观众接收、播放的视听系统。严格意义上的数字电视系统是从演播室节目摄制、节目编辑、节目制作、信号发射、信号传输，信号接收到节目显示完全数字化的电视系统。数字电视系统可以传送多种业务，如高清晰度电视、常规清晰度电视、立体声及数据业务等等。数字电视机是指数字电视的接收显示终端。

目前有两种数字电视设备，接收模拟电视信号的数字设备和接收数字电视信号的数字设备，在模拟电视系统向数字转化的过渡阶段，应加以区分。近几年来，有的电视接收机采用数字技术对接收到的模拟信号加以处理，以改进视听质量（如清晰度、降噪、去闪烁等），这种电视机接收的是模拟电视信号，仍处在模拟传输的模拟系统中，不是“全数字电视机”。但“数字电视”这一名词在模拟传输系统向数字系统转化时一直用于模拟系统中的数字设备，如数字

录像机，数字摄像机，数字特技等。数字电视系统的出现，使数字电视系统和模拟系统中的数字设备的命名出现混淆，需要加以区别和说明。实际上，新的系统和原系统的主要区别在传输。

在欧洲的地面上数字电视广播系统 DVB-T 中，除了目前节目制作还有一部分是模拟的外，从演播室开始，到发射机到传输到接收的所有环节都是使用数字电视信号或对数字电视信号进行处理和调制，接收这种地面数字电视广播信号的电视机才是名副其实的数字电视机。

短短数十年，中国电视机历经从黑白到彩色，再到大屏幕、平板电视的飞跃发展，日渐改善了老百姓的生活。彩电的发展见证了中国近几年科学技术的蓬勃发展。

#### （1）50Hz 升级到 100Hz

2000 年 9 月，以技术创新见长的深圳创维集团推出一组名为“健康电视”的新品，由于采用了先进的逐行扫描技术和 100HZ 技术，有效地解决了电视画面闪烁的现象，并能抑制有害射线对人体的伤害。由此将“健康”的理念引进电视中，重新唤起了国人对用眼健康的重视。

#### （2）数字引擎时代

以索尼的 Bravia 引擎、三星的 DNle 引擎、创维的 V II 引擎等为代表，主要是面临数字电视的到来，各厂家纷纷推出的处理技术。后来，创维独家推出的 A12 音频引擎，首次将电视声音进行软件处理，达到不用外置音响也可以享受高质量声音的效果。

在数字引擎基础上，促使了很多新技术诞生，六基色图像处理技术便是其中之一。它创造性的将电视的三原色提升到六色精确处理，有效解决画面层次差、对比度不足等问题，后来许多厂家争相应用了此门技术，为平板时代的来临立下汗马功劳。

#### （3）可录时代

2006 年世界杯前夕，市面上出现一种可录液晶电视，为球迷爱好者提供了莫大的方便。据介绍，可录液晶基于 Linux 操作系统的嵌入，只需 U 盘或者移动硬盘，既可以保存任何喜欢的节目，还可以提供预约、即时录等便捷功能。因为当年的世界杯是在德国举办，深夜观看使球迷难以取舍。有了一款可录液晶，一切都不再是问题，晚上预约录下球赛，等白天有时间再慢慢欣赏，大快人心。

除了体育节目之外，可录液晶还可以方便录下电视剧、电影等。随着技术进一步发展，目前已经发展到时移可录阶段，即电视机可以将当前播放的节目暂停、回放，掌握精彩轻松自如。可录电视的诞生，使人们进入可以掌控电视节目的时代。

#### （4）画质至上时代

液晶电视是从电脑液晶显示器发展起来的，而电脑显示器本身存在了很多不足，例如响应时间长，拖尾现象，运动画面抖动问题，画质模糊等等。一些专业的厂家花很大力气投入研发新技术，企图通过芯片处理，解决液晶电视存在的不足。这个时代，最具代表性的是屏变技术和屏稳技术。

据了解，这两个技术（简称双屏技术）是以超级数字引擎为基础，屏变技术通过控制液晶背光源亮度及芯片的补偿处理提升画质，有效解决液晶电视眩光刺眼的问题；屏稳则采用自适应视频编码算法，通过运动估算和运动补偿，进行场内插帧提升画质，解决了运动画面抖动模糊等缺陷。双屏液晶电视引领数字电视进入画质至上的时代。

如果液晶电视采用 FULL HD1080P 的高清屏体的同时，更关注软件提升技术的实现，其画质效果才能有质的提升，真正实现高清晰数字时代的享受。

### (5) 3C 融合时代

当前，3G-USB 的应用，使彩电进入多媒体娱乐阶段。流媒体是很早就提到的概念，但是由于技术上的不成熟，端口应用跟不上电视发展需求，到了今年，随着 3G-USB 技术的成功开发，流媒体作用才得以淋漓尽致的发挥出来。

3G-USB 是“高清、高速、高兼容”端口的简称，可以支持高达 480Mbps 速率传输，可以实现稳定流畅的海量音乐赏析、超大图片浏览、高清电影播放和无缝接驳彩印等多种娱乐功能，同时还具有文本阅读和文件复制等实用 PC 功能。

在 3G-USB 基础上，一种在现有功能基础上新增观看网络电影、听歌、唱卡拉OK 的多媒体娱乐电视在创维诞生。这种被创维命名为“CooCaa TV”的液晶电视相当于把电脑娱乐功能搬到彩电上，把卡拉OK 搬回家，同时还免去了 DVD 碟机和功放机、音箱的配置。这些功能可以全部装在 CooCaa TV 中，而用户只需配一个 U 盘插入电视中即可使用。在创维“CooCaa TV”上看高清电影，画质、音质比在电脑上观看就好了许多倍。

CooCaa TV 的“酷影”、“酷乐”和“酷 K”三大功能主要面向客厅多媒体娱乐打造，它的出现将彻底取代了 DVD 产业，并把电脑的部分功能纳入旗下，实现彩电成为客厅娱乐中心的目标，引领了数字客厅新革命。

从以分析上可以看出，近年来电视机的发展迅猛，技术更新的周期越来越短，越来越人性化的产物进入千万家庭中。电视机的发展将浪潮一浪高过一浪，将有更多更丰富的产品造福消费者。

## 1.2.2 数字电视的原理及优势

### 1. 现行模拟电视及其存在的问题

电视的概念及工作原理早在 19 世纪中叶就已提出了，其后有粗糙的机械扫描电视系统出现，20 世纪 20-30 年代美国 RCA 公司的兹沃雷金等人先后发明光电摄像管、电子扫描系统和电子束显像管等部、器件后，电视才开始进入现代化阶段。1937-39 年黑白电视先后在英、美两国正式广播，并迅速在世界各国推广。科技人员经过约 20 多年艰苦研究、改进，又发明了彩色电视。20 世纪 50 年代初，美国研制成功与黑白电视兼容的 NTSC 制式的彩色电视机，并于 1954 年正式广播。其后德国和法国也相继于 1963 年和 1966 年分别采用 PAL 制与 SECAM 制彩色电视系统，与 NTSC 并列，成为世界各国和地区所采用的三种彩色电视制式。从 1929 年英国 BBC 采用机械扫描方式的无声电视实验广播以来，电视广播经历了从机械扫描到电子扫描、无声电视到有声电视、黑白电视到彩色电视的模拟电视技术发展阶段。

上述三种电视制式都是模拟制，采用隔行扫描，视像信号的行频/帧频有 15750Hz/30Hz 和 15625Hz/25Hz 两种，信号带宽也有 6 兆赫、8 兆赫等多种，垂直分解力在 300~400 线之间。随着电视屏幕尺寸的增加，300 多线的清晰度已日显不足。传统的模拟电视系统采用 4:3 的宽高比，并且存在着大面积闪烁现象、行间闪烁、亮色互串、并行、重影等问题。因此有必要对现行的电视系统进行改进。

有线数字电视是在目前普通使用的模拟电视的基础上，发展起来的新一代电视。通过模拟电视机+有线数字电视机顶盒方式以实现模拟电视机对数字电视节目和数据信息模拟电视机+有线数字电视机顶盒方式以实现模拟电视机对数字电视节目和数据信息的接收。

(1) 用户可以收看到更多的电视节目。采用数字化技术以后，在原来模拟电视传输一套节目的频道中，可以传送6~8套经过压缩解码过的数字视频节目。这样，大大提高了频道资源的利用率，使得在原来的有线电视网络上可以播放的节目增加6~8倍，从而最多可以传送大约500套节目。

(2) 数字电视比模拟电视收看到的图象更加清晰。数字电视将传统的模拟电视信号转换成数字信号播出，提供标准清晰度的数字视频节目，与一般有线电视相比，数字技术的高精度使数字电视无论从画面的清晰度还是声音效果都大大地提高了，通常的感觉就像在看DVD。

(3) 数字电视与模拟电视相比，增加了更多的功能，满足用户的个性化需求。如：电子政务、北京之窗、电子节目指南、准视频点播、游戏、股票等等。以后还可以实现在线购物、在线订餐、上网、互动游戏等等。

(4) 由于采用数字信号进行传输，所以可以方便的对信号进行加密和解密，从而实现通信的安全性。有线数字电视是在目前普通使用的模拟电视的基础上，发展起来的新一代电视。通过模拟电视机+有线数字电视机顶盒方式以实现模拟电视机对数字电视节目和数据信息的接收。

## 2. 清晰度高、音频效果好、抗干扰能力强

数字电视信号的传输不像模拟信号受在传输过程中噪声积累的影响，且不受地理因素的限制，几乎可以无限扩大覆盖面，在接收端收看到的电视图像及收听到的声音质量非常接近演播室水平。此外，数字电视的音频效果好，可支持五声道的杜比数码（Ac-3）5.1环绕立体声家庭影院服务。

## 3. 频道数量将成倍增加

利用现有的8MHz的一个模拟电视频道，可传输8套高质量的数字电视节目，用户对节目的可选度高。

可方便实现加密（解密）和加扰（解扰）功能，便于专业应用（包括军用）以及广播应用（特别是开展各类计费业务）。而条件接收系统的应用，可以实现用户和业务的良好管理。系统采用了开放的中间件技术，能实现各式各样的交互式应用。易于实现信号存储，而且存储时间与信号的特性无关，易于开展多种增值业务。由于保留了现有模拟电视视频格式，用户端仅需加装数字电视机顶盒即可接收数字电视节目。

## 4. 扩展功能多

数字电视除了传输节目外，还具备上网、点播、实时查询股票信息等功能，更多妙趣所在，还需要您自己在使用中细细体会。数字电视预制有条件接收（CA）的接口，对节目进行加密。从而实现按照观看内容进行收费，同时也在技术上可以按用户要求进行按时收费。

到了新世纪，全球进入数字化、信息化时代，数字化是科技发展的必然趋势，广播电视不可能游离于之外。数字化是广电行业的一次技术转型，将会给广播电视带来一场变革，也会给国家和社会带来变化，改变了人们的生活方式和娱乐方式。

有线电视数字化主要带来三个方面的变化：

第一，量的变化。现在通过有线电视网可以看到 30~50 套电视节目。数字化之后，可以看到几百套电视节目，不仅能看到现有的频道，还可以看到多样化、专业化、个性化的频道，如足球频道、健康频道、幼儿教育频道、老年频道等，满足人们不同的需求。

第二，质的变化。数字化之后，我们的电视机变成了多媒体信息终端，不仅能看电视节目，还可以听广播，可以获得多种信息资讯服务，可以通过电视购物、缴水电费，成为人们生活中不可缺少的工具，成为社会现代服务业的支撑平台。

第三，方式的改变。现在看电视是被动地按电视台的播出时间，电视台什么时候播，我们就只能什么时候看。数字化之后，我们可以主动地看，根据自己的时间选取自己喜欢看的节目。大家可能都有这样一种经历，因为有事情抽不出时间而错过了新闻联播、焦点访谈或一场球赛，数字化后这些节目可以像超市里的产品一样由观众随意点播，大家就可以不用为错过某一个节目而遗憾了。可以说，广播电视台在满足公共需求和普遍要求的同时，为用户提供了一对一、端到端的个性化服务，为政府、社会各界和人民群众搭建了新的信息平台和服务窗口。数字电视技术与原有的模拟电视技术相比，有如下优点：

(1) 数字信号在抗干扰性和几乎无误差、完美的图像和声音的广播上，其性能要优于模拟信号。数字信号在传输过程中通过再生技术和纠错编解码技术使噪声不逐步积累，基本不产生新的噪声，保持信噪比基本不变，收端图像质量基本保持与发端一致，可实现高保真传输，图像、伴音质量与演播室效果无差异，能够获得高清晰度视频效果及杜比 AC-3 5.1 声道环绕立体声音频效果，适合多环节、长距离传输。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，即在时间和幅度上都离散化的信号（“1”和“0”），因而在连续处理过程中或在传输过程中衰减或引入杂波后，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。而模拟信号是在时间和幅度上都连续的信号，因而在信号的采集、处理、记录、传送及接收的整个过程中所产生的非线性失真和引人的附加噪声、都是“累加”的，模拟信号在处理和传输中，每次都可能引入新的杂波，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。

(2) 数字设备输出信号稳定可靠。因数字信号只有“0”和“1”两个电平，“1”电平的幅度大小只要满足处理电路中能识别出是“1”电平即可，因而能够避免在模拟系统中非线性失真对图像的影响，消除了微分增益和微分相位失真引起的图像畸变。由于数字电路的集成度要比模拟电路较易做得高，因而有利于设备小型化和提高设备的可靠性。

(3) 易于实现信号的存储和进行数字处理。数字电视信号具有极强的可复制性，用在节目制作上可提高图像质量。通过使用各种数字处理，如帧存储器、数字特技机、数字时基校正器，产生新的特技形式，增强了屏幕艺术效果；由于计算机、多媒体技术与数字电视技术相结合而产生了非线性编辑系统和虚拟演播室系统，完成用模拟技术不可能达到的处理功能。

(4) 可以合理地利用各种类型的频谱资源。数字信号可使用基于冗余度缩减的压缩编码技术，以提高频谱利用率、增加系统可靠性、降低运行费用。以地面广播而言，数字电视可以启用模拟电视禁用频道，而且在今后能够采用单频率网络（single frequency network）技术进行节目的大面积有效覆盖，即相同的数据流，用两个或更多的物理上独立的发射机在相同的频率上发射，接收到的混合信号再进行均衡处理。如用一个数字电视频道完成一套电视节

目的全国覆盖。利用数字压缩技术使传输信道带宽比模拟电视明显减少，进行地面方式发送时，原 PAL 信道可播放 1 套数字高清晰度电视 HDTV 或四套标准格式数字电视 SDTV，有线电视网中的一个 PAL 通道可播 8~10 套标准清晰度数字电视 SDTV。对于卫星传输及广播，利用数字压缩技术，在一个卫星频道上转发多套电视节目，达到节省卫星信道的目的，提高传输容量。

(5) 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)。采用数字编码方法，便于实现加扰和解扰技术，使收费电视在实际中得以应用。

(6) 数字电视信号具有可扩展性、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。HDTV 数据包长度是 188 个字节，正好是 ATM 信元的整数倍，因此可用 4 个 ATM 信元来完整地传送一个 HDTV 传送包，因而可实现 HDTV 与 ATM 的方便接口。随着电视数字设备向多媒体方向发展，可形成开放性的电视多媒体网络，方便与各类计算机网络联通，达到信息共享。

(7) 数字电视技术带来新的业务。如提供与节目相关的数据，将与节目有关的数据随节目一起传送。如用户通过电视台传送的电视节目指南，可以了解节目的播出时间和简要内容，帮助观众方便快速地寻找自己感兴趣的节目。进行数据广播，如游戏、软件、图片、股票信息、电子报纸等，用户可以根据自己的需要选择与节目有关的数据和信息。进行交互式业务，利用电话线或有线电视回传通道，实现用户与电视中心和有线电视前端的交互操作，如 VOD、远程教学、电视会议等。

### 1.2.3 数字电视的分类

数字电视有很多种分类方法，数字电视系统可按节目制作，一次分配、二次分配、发送和接收分类；也可以按传输系统分类；或按消费类、专业类和演播室数字设备分类；或按清晰度业务分类。一般可以按以下几种方式分类：

(1) 按信号传输方式可以分为地面无线传输(地面数字电视)、卫星传输(卫星数字电视)、有线传输(有线数字电视)三类。

(2) 数字电视按清晰度一般分为普及型清晰度数字电视(PDTV)、标准清晰度数字电视(SDTV)、增强清晰度数字电视(EDTV)和高清晰度数字电视(HDTV)四种。不同清晰度级别的数字电视之间具有向下兼容性，高端产品可以兼容低端产品。

**普通清晰度 PDTV：**其清晰度为 250~300 线左右， $352 \times 240$  或  $352 \times 228$  像素，码率为 1~2Mbit/s，压缩算法为 MPEG-1 和 MPEG-2，适用 VCD 及会议电视等。VCD 的图像格式属于普及型清晰度数字电视(PDTV)水平。

**标准清晰度 SDTV：**其清晰度为 350~600 线左右， $720 \times 480$  或  $720 \times 576$  像素，码率为 3~8Mbit/s，采用 MPEG-2 压缩算法，要求电视具备 480 线隔行(480i)或 576 线隔行(576i)扫描，SDTV 采用兼容 16:9 和 4:3 模式，通常用于卫星电视及 DVD 等。DVD 的图像格式属于标准清晰度数字电视(SDTV)水平。

**增强型清晰度 EDTV：**其性能参数介于 SDTV 及 HDTV 之间。要求电视具备 480 线逐行( $720 \times 480P$ )或 576 线逐行( $720 \times 576P$ )扫描，屏幕幅型比为 16:9 或 4:3。

**高清晰度 HDTV：**其清晰度为 800~1000 线左右， $1920 \times 1080$  或  $1280 \times 720$  像素，码率为

18~20Mbit/s, 采用 MPEG-2 算法。高清晰度数字电视必须至少具备 720 线逐行 (1280×720P) 或 1080 线隔行 (1920×1080i) 扫描, 屏幕幅型比为 16: 9, 音频为杜比数字格式或 MPEG-2 格式。SMPTE (美国电影电视工程协会) 将数字高清信号根据扫描线分为 1920×1080P/60Hz、1920×1080i/50Hz、1920×1080i/60Hz、1280×720P/50Hz、1280×720P/60Hz (p 代表 progressive, i 代表 interlaced) 五种格式。我国推出的 EVD 和 HDV 影碟机的图像格式属于高清晰度数字电视 (HDTV) 水平。

(3) 按发送信号的幅型可以分为 4:3 幅型比和 16:9 幅型比两种类型。但 HDTV 一定是 16:9 宽幅型比的。

由此可以看出, 数字电视是指系统, 高清晰度电视是指系统内的业务。高清晰度电视并不一定就是数字电视, 数字电视也不全是高清晰度电视, 但目前所说的 HDTV 一般指高清晰度数字电视。数字电视系统与模拟电视系统的根本区别在于电视信号编码和传输体制的革命性改变, 即信源和信道部分数字技术的采用。

#### 1.2.4 数字电视信号编码方式

将电视模拟信号转变为数字信号并进行处理、记录、存储、传输和接收的技术。数字广播电视包括图像信号 (同步信号和伴音信号) 的数字化。数字电视系统与模拟电视系统相比, 其优点是信号经多次转接切换和远距离传输而没有失真的积累, 抗干扰性能强, 图像质量好。数字电视系统可实现模拟电视系统难以高质量实现的功能, 如时轴处理、制式转换、电视特技等。它和计算机相配合, 可实现电视信号的实时处理。此外, 数字电视便于图像信号和伴音信号的时分复用传输。数字电视首先应用于电视中心, 而在传输方面应用较晚。这是因为电视信号数字化后数码率很高, 占用频带较宽, 原有的传输信道已不适应要求的缘故。但是, 光纤通信的发明, 开辟了新的宽频带信道。另外, 数字电视压缩编码技术能显著压缩频带, 因而数字电视的传输也正在迅速发展。

电视信号数字化系统首先将模拟电视信号编码为数字信号, 然后在信道中传输或在设备中存储并加工处理, 最后由译码器 (亦称解码器) 把数字信号还原为模拟信号。为了减少信道传输中产生的误码, 要加信道编码器进行纠错。为了适应不同特性的信道, 信号应进行不同的调制和变换。

彩色电视信号所用 PCM 编码方式有两种, 即复合编码和分量编码。复合编码是将模拟的全电视信号直接进行模数转换, 以形成数字式全电视信号; 而分量编码则是分别对 Y, (R-Y), (B-Y) 信号进行模数转换, 然后将这些信号并路合成为数字式全电视信号。为了获得高质量的数字化电视信号和便于国际间的节目交换, 国际无线电咨询委员会 (CCIR) 601 号建议中要求全数字化的电视中心采用分量编码, 以便不同彩色电视制式采用统一的编码标准。其取样频率定为: Y 信号用 13.5 兆赫, (R-Y) 和 (B-Y) 信号用 6.75 兆赫, 都是 8 比特均匀量化 PCM 编码。

数字电视信号的记录利用磁盘、磁带或其他载体实现数字记录的技术。记录设备有以下 3 种:

(1) 电子静止图像存储库。将数字电视信号存储在一个磁盘或一组磁盘上, 磁盘转速与帧频或场频相同, 数据的写入、读出均用磁头和磁盘表面的磁感应来实现。这种设备的特点是可存储数百到数千帧图像, 并可通过计算机灵活编辑。它能代替飞点扫描器, 还可供制作

动画和电子绘图。

(2) 数字磁带录像机。将数字电视信号存储在磁带上。它的机械结构与模拟录像机类似。但数字图像信息的码率很高(106~216兆比特/秒)，记录时必须采用高密度磁带，增加磁头与磁带间的相对速度，或采用压缩编码技术。数字磁带录像机的特点是，经几十次复制后的图像质量无明显下降，而模拟录像机经数次复制后质量便明显下降。

(3) 数字视频存储器。不同于电子静止图像存储库和数字磁带录像机，它用集成电路作存储元件，主要特点是快速随机存取，且长时间存储图像质量不下降。按存储容量大小可分为行、场、帧等存储器。数字视频存储器在数字电视中，应用相当广泛。它常用在数字电视信号高速实时处理的各种设备，如制式转换器、帧同步器、时基校正器等，在压缩编码和静止图像传输等装置中也得到广泛应用。此外，它也是计算机图像处理系统中输入输出设备的重要组成部分。

数字电视信号处理利用数字技术实现电视图像信号的频带压缩、图像质量的改善和电视特技等功能的技术。它是数字图像处理原理在电视中的应用。

电视信号虽然是一维时间信号，但它代表的却是空间(或平面)图像。因此，它具有多维信息的特征，数字化后的码率很高。传输时要求很宽的信道带宽，存储时要求存储器的容量很大。这就产生了图像处理的数据压缩问题。

当电视图像从一种形式转变为另一种形式时，例如摄像、录制、处理、传输或显示等，输出图像的质量可能不及输入图像质量。图像增强则是有选择地强调和抑制图像中的某些信息，以改善图像的质量。因此，它在数字电视中得到较多的应用。例如 $\gamma$ 校正(对比度增强)、轮廓校正、孔阑校正(去模糊或锐化)以及降噪等。除孔阑效应外，传输与显示系统的高空间频率比低空间频率有较大衰减，还可能引起轮廓失真。

数字电视设备为了提高播出图像的质量，电视中心采用以下各种数字电视设备：

(1) 数字时基校正器。用以改善录像机重放图像的质量。录像机重放的图像信号时基误差较大，会造成编辑和多次复制时图像质量下降，所以必须采取校正措施。首先将被校正的信号以它的时基信号为基准写入存储器，然后以电视中心的时基信号为基准读出，即可得到时基误差较小的视频信号。

(2) 帧同步器。用以将不同来源的非同步电视信号变成同步的电视信号，以便进行切换和特技混合等处理。它能解决用同步锁相方法不能解决的多个信号源同步的问题。它的原理与时基校正器基本相同，只是帧同步器的存储量要求至少为一帧。写入由输入视频信号形成的时基信号控制；读出由电视中心的时基信号控制。

(3) 数字制式转换器。用以将不同制式的电视信号互相转换，便于国际间电视节目交换。它的原理是将数字化后的视频信号存储起来，存储量为一帧；然后采用空间滤波器和时间复用器，将复合编码所产生的数字信号源变换为亮度和色度信号按时间分割的数字信号源；用场内插器改变输入信号的场频，用行内插器改变输入信号的行数；最后用新的副载波对处理后的模拟信号进行重新调制，完成制式转换。

(4) 数字视频特技发生器。能将图像作各种变换，如压缩(将原来的宽高比缩小)、位移(压缩后移至不同位置)、扩张(将原来的宽高比放大)、复合冻结(将一个完整的动作分成4、9或16个分解动作，同时显示在画面上)、裂像(可将图像在水平方向或垂直方向分开，使第二个画面透过裂开的画面显示出来)。它把帧存储器与计算机结合起来，按编好的程序进

行时基变换、取样点数变换和起始位置变换等以实现必要的特技显示。

数字电视信号的传输 电视信号,特别是彩色电视信号,具有很大的信息量。如按 CCIR601 号建议作 PCM 数字化,则一套彩色电视节目需要 216 兆比特/秒的码率。若直接传送则需要频带极宽的传输信道。已有的微波和卫星信道远不能满足需要,因而必须压缩码率。为了与数字电话系统的码率等级相匹配,必须将码率压缩到 34~140 兆比特/秒。电视图像像素间、行间、帧间的相关性较强,因而图像信息中存在很大的多余度。在不明显损害图像质量的情况下,如何减少图像信息的多余度(或解除其相关性)是实现压缩编码的中心问题。常用的压缩编码有两类:空间域中的图像编码,即预测编码(又称差值脉码调制,即 $\Delta$ PCM),和变换域中的图像编码,即变换编码。

### (1) 预测编码

对于当前像素值,用过去像素值的加权和作为它的预测值求出两者的差值,然后对差值进行量化编码并传送。这一差值序列的相关性较弱,因而可用较少的量化比特数编码达到压缩码率的目的。

### (2) 变换编码

将一帧图像分成若干个子图像,然后对每一子图像进行正交变换,基本上可解除变换系数间的相关性。然后对不同系数进行不同的量化比特数的编码。正交变换可将子图像从一个域(比如空间域)变换到另一个域(比如变换域)。变换后,能量集中在变换域中的少数项上,保留这些项并弃舍其他项即可达到压缩码率的目的。

预测编码和变换编码不仅可在帧内,也可以帧间进行。电视编码传输的发送端,在信源编码器后还有信道编码器。它的功能是插入纠错码,以便对误码起防护作用。

## 1.3 数字电视系统组成及关键技术

### 1.3.1 数字电视系统架构

模拟电视最明显的缺点是在传输过程中图象的损伤,因为信号的非线型失真积累似的图象对比度会产生越来越大的畸变,长距离传输后,图象的信噪比也会下降,图象的清晰度越来越低,香味失真的积累也会使得图象产生彩色失真、镶边和重影。模拟电视还有稳定度差、可靠性低、调整不便、集成、自动控制困难等缺点。

一个完整的数字电视系统同模拟电视广播系统一样,也是由节目源、传输和接收三大环节组成,具体结构展开如图 1-2 所示。数字电视系统主要由信源编解码、节目流与传送流多路复用/解多路复用、信道传输、信道编解码等设备组成。其中信源编码主要包括视频编码、音频编码、数据编码三部分,信道编码主要是采用 RS 编码、数据交织 TCM 联合编码调制等技术,调制方案可以采用 QPSK、QAM、COFDM、VSB 等调制技术。在接收端,可以采用数字电视接收机,它应具备调谐接收、解调、解扰、解多路复用等功能,能将 MPEG-2 压缩编码后的码流解码还原成为视频、音频信号,从而重现数字演播室传来的图像与伴音节目;也可利用模拟电视接收机+STB 数字机顶盒)的方式实现接收,(其中数字机顶盒应具有调谐

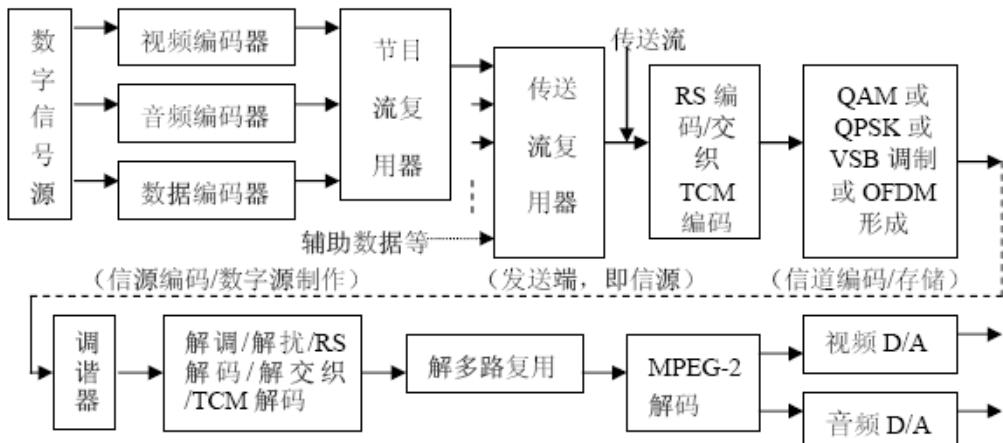


图 1-2 数字电视系统框图

接收、解调、解扰、解多路复用等功能), 解码后输出模拟视频、音频信号, 由模拟电视接收机显示图像与输出伴音。

### 1.3.2 数字电视关键性能指标

数字电视关键性能指标如下:

#### (1) 信道传输速率

信道的传输速率通常是以每秒所传输的信息量多少来衡量。信息论中定义信源发生信息量的度量单位是“比特”(bit)。一个二进制码元所含的信息量是一个“比特”, 所以信息传输速率的单位是比特/秒(bit/s)。例如一个数字通信系统, 它每秒传输600个二进制码元, 它的信息传输速率是600比特/秒(600bit/s)。

#### (2) 符号传输速率

它是指单位时间(秒)内传输的码元数目, 其单位为波特。这里的码元可以是二进制的, 也可以是多进制的。符号传输速率M和信息传输速率R的关系为 $R=N\log_2 M$  当码元为二进制时M为2, 码元为四进制时M为4。如果符号速率为600波特, 在二进制时, 信息传输速率为600比特/秒, 在四进制时为1200比特/秒。

#### (3) 误码率

信码在传输过程中, 由于信道不理想以及噪声的干扰, 以致在接收端判决再生后的码元可能出现错误, 这叫误码。误码的多少用误码率来衡量, 误码率是数字通信系统中单位时间内错误码元数与发送总码元数之比。误码越多, 误码率越大。

### 1.3.3 电视系统数字化趋势

在通信领域内的数字化已为人们所熟悉, 例如程控电话、计算机通信以及移动通信都实现了数字化。近年来, 电视领域也发生了一系列的变化, 在电视节目的制作设备方面已有很大一部分实现了数字处理; 在电视节目的储存设备方面也出现了许多数字设备, 包括人们最

熟悉的VCD等；在节目的传输方面，我们从卫星上已可以接收到多套数字压缩编码的节目。电视系统的全面数字化正以超出人们预料的速度向前发展，这就要求人们不断更新知识，以便跟上技术发展的步伐。电视系统的全面数字化将会引起一系列技术革新：

(1) 将最终形成电视、电话和计算机三网合一的综合数字业务网。原本是完全不同的媒体的电视广播、电话和计算机数据通信，在全部数字化后，都使用同一符号“0”和“1”，只不过它们的速率不同而已，人们可以把信号组合在一起，通过一个双向宽带网送到每个家庭。

(2) 全面数字的第二个特点是电视制式将实现全球统一，不再会有NTSC、PAL和SECAM等不同的电视制式，而将统一在ITU-R601数字标准之中。因此更利于节目的交换和信息的交流。在数字系统中标准不仅仅对设备外围的接口，而且对数字信号处理的整个流程和细节都作了详细规定。MPEG标准将对数字电视的各种应用和系统层作出详细规定。DVB则对各种传输媒介，如卫星、电缆和地面传输中的各种处理环节进行了规定。

(3) 全面数字化的第三个影响是数字电视业务的可分级性带来的各种业务的统一性，不同质量的信源只是占用的比特率不同，而具有相同的格式，如家用质量的电视信号比特率为5Mbps，专业级质量在4~5Mbps，广播级质量在8~9Mbps，但都打成MPEG-2传送包，可以在同一个设备中完成各种不同级别的图像业务。

## 1.4 数字电视的发展方向

随着数字视频压缩技术的不断发展，模糊逻辑的控制技术逐渐成熟，卫星通讯技术及计算机网络的蓬勃发展，多种技术先进的数字电视已成为未来市场发展的必然趋势。

### 1.4.1 高清晰度电视

#### 1. 高清晰度电视的概念

高清晰度电视是一种电视业务，所谓理想的高清晰度电视 HDTV (High Definition Television) 是一种全透明的系统，它是指一个视力正常的人在和电视机显示屏幕的距离等于系统显示屏高度的三倍时所看到的电视图像质量和观看原始景物时所得的印象相同。原 CCIR (国际无线电咨询委员会) 为 HDTV 下的定义是：当观看距离为屏幕高度三倍时，HDTV 的垂直清晰度和水平清晰度应是现行电视系统的二倍以上，幅型比是 16: 9，并配有多声道的优质伴音。图象质量等于或者超过 35mm 电影胶片质量的电视，它传送的视频信号量为普通电视的四至五倍。

#### 2. 高清晰度电视扫描规范和图像质量

##### (1) 扫描行数

增加扫描行数是提高电视图像清晰度的有效办法，高清晰度电视的扫描行数决定于人眼视觉系统的空间频率相应，扫描行数是观看距离的函数。高清晰度电视的水平和垂直清晰度都约是标准清晰度电视的两倍。

##### (2) 图像带宽

图像的分辨率越高，则信号的带宽越宽。高清晰度电视的图像信号带宽比现行电视制式

宽得多。

### (3) 图像宽高比及电视屏幕尺寸

高清晰度电视图像宽高比一般为 16: 9 或 5: 3，很少采用 4: 3。宽屏幕显示时图像的真实感及临场感要好，屏幕对角线至少要达到 40 英寸。

### (4) 信号带宽

由于人眼对彩色感觉特性比亮度感觉特性窄，并且由于采用量色分离的方式传输彩色图像信号，所以在高清晰电视系统中亮度与色度的带宽比约为 3: 1。高清晰电视的信号带宽比普通的电视带宽要宽，日本 1125 行制的高清晰度电视的信号带宽为 30 多兆赫兹。

## 3. 高清晰度电视的发展

为了解决现行模拟电视存在的问题，从 60 年代末起，世界发达国家，如日、英、美、西德等相继开始了 HDTV (High Definition Television) 的研究。

日本从上世纪七十年代开始研究高清晰度电视，日本广播协会 (NHK) 自七十年代开始，在高清晰度电视制式、图像质量的主观评价、扫描规范、摄像器件、显像器件及高清晰度电视设备方面进行了大量研究。美国电视电影工程师协会 (SMPTE) 于 1977 年成立了高清晰度电视研究组。至八十年代，欧美各发达国家掀起了开发、研制 HDTV 的热潮，二十多年来，HDTV 走了一条从模拟到数字的发展道路。

1985 年日本提出了水平扫描行数为 1125 行，场扫描频率为 60HZ，隔行扫描方式，画面宽高比为 5: 3，四声道立体声伴音的 HDTV 系统，这是一种与普通电视不兼容的，称为 MUSE 制的数字/模拟混合体制，即基带信号采用数字处理方式，射频调制仍为模拟方式。MUSE (Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding) 制的全称为多重亚奈奎斯特取样编码，这是一种高效的频带压缩技术，它采用时分复用方式，组成亮度、色度信号，并对静止图像和活动图像采用不同的压缩处理方法，能将 30MHz 的基带信号压缩到 8.1MHz 左右，在卫星电视频道中传输。

就在日本大张旗鼓地想争取把他们的 HDTV 制式定为世界统一标准之时，欧洲各国却不甘心将 HDTV 的市场份额拱手让给日本人，而是积极根据欧洲地区的特点，研究自己的高清晰度电视系统，并于上世纪八十年代初正式推出了 MAC (Multiplexed Analogue Components) 制，即多工复合模拟分量信号制式，1983 年，欧洲广播联盟 (EBU) 将 C-MAC 制定为欧洲卫星广播的统一制式，但由于 C-MAC 制要求的射频带宽较宽，不适用于现有的地面传输系统，故又提出了 D-MAC 和 D2-MAC。按照欧洲高清晰度电视的发展计划，是以 MAC 制为基础，按兼容渐近的步骤发展到宽屏幕高清晰度电视系统 HD-MAC(High Definition MAC)。1992 年，欧洲用该系统，成功地试播了奥运会实况。

HD-MAC 方案，采用 1250 行/50 场扫描方式，用分量多工的方式传送，与日本 MUSE 制式的共同点是信号处理采用数字方式，而信号传输采用模拟方式。

美国对 HDTV 的研究比日本和欧洲要晚，但起点最高。九十年代初，美国通过对四种全数字式 HDTV 方案的比较、测试，决定组建 HDTV“大联盟” (Grand Alliance)，共同开发高清晰度数字电视，于 1994 年发表了“大联盟高清晰度电视系统规定 1.0”确定了全数字 HDTV 方案，并于 1996 年由美国联邦通信委员会 FCC (Federal Communications Commission) 正式批准为美国的数字电视标准即 ATSC (Advanced Television Systems) 标准。美国全数字 HDTV 的技术优势和极具吸引力的发展前景，对欧洲与日本的 HDTV 产生了巨大的冲击，迫使欧洲

和日本纷纷放弃模拟高清晰度电视的研究，投向全数字电视的阵营。

追求清晰的图像质量已是电视技术发展的必然方向，是消费者追求的最终目的，也是市场竞争的焦点。正如人眼的分辨能力有限一样，现行电视系统的分解力和图像清晰度也是有限的，它必须克服许多技术上的难点才能实现高清晰度。

在近两年的时间里，某些国外电子产品厂商，为了占领中国市场，在广告宣传中有不少哗众取宠的成分误导消费者，其中大肆宣传的 800 线清晰度就是一个典型例子。一些外国彩电生产企业，利用一些国人对八、六等数字情有独钟的心情，对销往中国的彩电的清晰度，不管科学不科学，不论能否达到，统统冠以 600 线、800 线，又在 600 线与 800 线之间取了一个 760 线。这种廉洁无论从理论上，还是从实践上都可以充分地证明纯属是违反科学的欺骗性误导。

某些外国公司鼓吹 800 线图像清晰度的一个目的是欺骗、误导消费者购买他们的产品作计算机终端显示器。因为计算机的终端显示器必须是中精密度的，才能分辨清晰的字符和图形；另一个目的是欺骗、误导消费者购买他们的产品享受高清晰度电视的乐趣。实际上普通模拟彩色电视机不可能作计算机终端显示器，也不可能享受高清晰度电视的乐趣。实际上普通模拟彩色电视机不可能作计算机终端显示器，也不可能享受高清晰度电视的乐趣。电视系统的分解力直接影响着图像清晰度，要实现高清晰度电视，首先就要解决图像的平方向能分辨的像素数，称为电视系统的水平分解力。像素数越多，图像越细腻，越清晰。但像素数越多，图像信号所占频谱越宽，图像通道的通频带也越宽，因此图像通道的通带宽度将限图像水平分解力。

图像水平分解力还要受电子束截面积的限制。如果电子束直径与垂直条纹宽度相差不多，则视频信号接近，具有一定平均分量（代表图像背景亮度）的正弦波（代表图像细节）。电子束直径越小，每行扫描线能分解的黑白条纹数就越多，图像也就越清晰、细腻。但是电子束直径不可能无限减小，电子束直径的减小受两个因素限制，一个是图像亮度，一个是彩色显像管的荫罩孔节距。

实践证明：水平分解力与垂直分解力相当时，图像质量、电视系统的经济性最佳，这就要考虑到光栅的幅型比为 4: 3 或 16: 9。我国现行电视制式标准的幅型比为 4: 3，场频为 50Hz，行扫描线数为 625 行，水平方向逆程系数为 0.18，信号带宽为 5.6MHz，因此，我国电视制式中视频通道的带宽规定为 6Mhz。

如果发送 16: 9 宽屏幕电视信号，在场频、行扫描线数等条件不变的情况下，则信号带宽为 1.5MHz。这就是说我国现有电视标准的条件下，要使 16: 9 宽屏幕电视机达到与 4: 3 普通幅型电视系统相同的清晰度，它的视频带宽必须由 5.6MHz 提高到 10.5MHz。然而，事实上我国电视系统中的图像、伴音采用共同通道传送，图像、伴音信号必须在 8MHz 带宽内传送，图像载频与伴音载频之间相差 6.5MHz，考虑到伴音干扰图像，图像干扰伴音等因素，现行电视制式仍采用 6MHz 带宽。在这样的条件下用 16: 9 宽屏幕电视机重 6MHz 视频信号，其水平清晰度只有普通 4: 3 幅型的 75%。对于 16: 9 宽屏幕电视机，由于水平方向被拉长，单位宽度上的视频信息减少，图像当然要变粗糙，实际上图像清晰度反而是下降了。因此，在现有国情的条件下，人们津津乐道的 16: 9 宽屏幕彩色电视机，并没有真正成为高清晰度电视。

彩色电视系统的图像清晰度主要取决于电视信号源，即摄像机的图像分解力，视频通道的带宽和彩色显像管的分辨力。由于受各种技术条件的限制，现行电视系统均为 6MHz 的视频带宽、500 线极限度清晰度设计，因此国外进口彩色电视机号称 800 线清晰度是不现实的，理论上也是荒谬的，不仅在我国现行电视制式下不能实现，在日本、美国、韩国等其他国家和地区现行模拟电视制式下也是无法实现的。

彩色电视系统的图像清晰度是电视系统的综合指标，与系统的每个环节的性能都有关，但目前终端显示设备的极限清晰度决定了电视系统的极限清晰度。一般情况下通过电路措施（例如亮/色分离、轮廓校正、电子束速度调制、图像细节校正、动态清晰度控制等）、彩色显像管工作状态调整（例如聚焦电压调整、减小束电流、提高阳极电压等），可以提高图像重显效果，充分发挥彩色显像管的分辨力，但绝不可能超过由节距和电子束孔径决定的极限分解力。

自从现行的彩色电视问世以来，人们一直关注着图像经过采集、编码、传输、解码、再现等过程后，人眼最终所看到的图像必然包含有各种噪声和干扰等引起的损伤。因此，人们渴望得到的高清晰度电视图像，这是目前高清晰度电视面临的重要研究课题，它必须通过一场新的技术革命才能实现。

高清晰度电视（HDTV），目前美国已有最终方案，而大多国家尚未确定，但前期技术研究工作非常活跃。全数字化的高清晰度电视能有效克服现行的电视制式的缺陷。因此，高清晰度电视是 21 世纪中的发展方向。

未来高清晰度电视的基本要求：

- 图像清晰、细腻，全屏扫描线数为 1125 行或 1250 行，像素数是现行彩电的 5 倍左右；
- 幅型比为 16:9，更符合人眼的视觉特征，视野宽，临场感强；
- 图像、声音、彩色之间串扰减小，保证重显图像清晰稳定；
- 利用数字伴音系统，可传送多种伴音或立体声信号，提高彩色电视机的音质。

我国广播电视如何向高清晰度电视过渡，还有待于广播电视台与生产部门如何去协调一致。不过发展高清晰度电视已成定局，在不很长的时间里，我国高清晰度彩色电视接收机也会在全社会得到普及。

## 1.4.2 图文电视

图文电视业务是处于电视信号结构中的一种数字数据广播业务，主要利用电视信号场消隐期间的某几行传送图象和数据信息，接收端是装备有解码器的电视接收机，对数据解码后以二维形式显示文字和图形信息：新闻、气象、旅游、市场、金融、股票、交通、体育、文化娱乐、广告、各类通告等。

随着电视技术的飞速发展，宽屏幕电视（16:9）已经成功地推向市场，这就对图文功能及屏幕显示功能提出了更高的要求。普通标准图文解码器的基本业务级别为 40μs 内产生 40 个字符/行，图文的页在中间显示，而每边有大的扩张黑框。宽屏幕电视的宽度比同样高度的普通电视宽 33%，但有效显示时间仍为 52μs。当这两类电视的像素频率相同时，所显示的字符就过宽了。要实现字符正确的宽高比，就要使像素频率提高 33%，在 30μs 内产生每行 40 个

字符。由于普通的图文电视解码器的压控振荡器采用单一工作频率，所以缺乏应用于宽屏幕电视的灵活性。

宽屏幕电视的“电影扩展”功能能使 4: 3 字符框传输扩展到填满屏幕。为使原来画面 A 区能清晰显现，扩展产生于视频通道，隔行扫描电路也要适当调整，以每行 10 条扫描线为基础的字符组的 24 行图文页将占据 480 线。为了在显示出整页的同时，要保证图文小标题自动落入可视区，不致损失多达 4 行，通过微控制器处理，在解码器的显示存储器内存入被接收的数据，建立页的有效数据包，计算转换量，然后逐字节转换被接收的数据。

现行图文电视大多数都采用固定传输格式。可变格式在固定格式基础上可充分发挥 CPU 及其软件的作用，提高文字传递效率和灵活性。可变格式采用较新的技术，以较高的价格换取了较高的纠错能力和灵活性，并确定了高级别的图文显示标准。

在图文的显示方式中，就原有的技术而言，同时显示图文页和屏幕显示信息会因为所有显示数据都取自存储器的同一区域而当接收下一次的图文页时又重写屏幕显示信息。当显示一些特殊的屏幕显示信息符号时，时常发现缺少了信号同步，难以保证获得稳定的屏幕显示信息。

由于微处理控制系统和大规模集成电路技术的进步，扩展图文显示发生器就较好地改善了上述存在的问题，适应了屏幕的显示要求。图文显示发生器能产生全屏图文内容，若解码器为二极显示方式，则能实现高质量屏幕显示。当用于宽屏幕电视时，如图文显示限于 48 $\mu$ s（以避免屏幕侧边出现影响清晰度问题），则与普通的图文电视机（4: 3）显示的 48 个字符相比，具有扩展图文显示器的宽屏幕电视机（16: 9）就能显示具有理想宽高比的 63 个字符。

为适应宽屏幕电视机的推广，对图文功能所提出的要求必须是：图文显示属性要提高，高级别的图文显示标准要推广，图文显示方式要扩展。为了满足这些要求，荷兰菲利浦公司最先推出了 SAA5270 型图文电视解码器。我国部分电视机生产厂于 1997 年相继推出了不同品牌型号的图文电视接收机，一些电视台也随之开始了图文电视广播，如中央台、山东台等。因此，未来的 21 世纪中，图文电视也是一个重要的发展方向，并且将是一种应用于宽屏幕电视的具有屏幕显示功能的新技术。

### 1.4.3 卫星电视

在当今的社会生活中，电视起着非常重要的作用，为了组织好节目源，全世界都在向卫星方向发展，已逐步形成卫星网结构。然后通过有线电视分配网络送给千家万户。自从 1985 年我国利用通信卫星传播电视节目起，卫星电视接收站大量普及。但是，在同台建站，以及接收站建在微波路径附近时，地面站常受到同频段微波干扰，致使许多电视接收站不能正常工作，给建站工作带来很大困难。随着地面站的普及和微波站的发展，如何解决微波对卫星电视接收站的干扰成为很重要的问题。

到目前为止，世界上绝大多数国家或地区，利用卫星传送的电视节目为模拟制，因为卫星信道质量相对地面广播要好得多，同时覆盖面大，无需中继（除洲际传输外），特别适合节目分配和广播，因此得到广泛的应用。但是，模拟制方式传送电视节目占用频带宽，即一个 36MHz 的卫星转发器只能传送一路模拟电视信号，信道利用率不高，且卫星租金昂贵，除了那些需要覆盖全国的电视节目外，一般不采用卫星广播。

近二三年，由于数字视频码率压缩技术的迅速发展和超大规模集成电路的研制成功，使利用卫星传送数字广播电视节目变成了现实。采用现代的数字视频压缩技术和信道调制技术，可实现在一路模拟电视信号占用带宽内传送4~6路数字压缩电视节目，大大提高信道利用率，降低每路节目的传输费用。

在卫星广播电视系统中采用数字压缩技术，是当今世界广播电视领域的发展趋势，也是我国广播电视技术“九五”规划的发展方向。因此，未来21世纪的电视技术将是卫星数字电视技术。目前我国福建福日电视机厂已有卫星电视开发成功，并进入国外市场。其他一些电视机生产厂也在积极开发之中。

卫星数字电视技术的主要优点是：

- 能克服模拟电视系统的固有缺陷。例如性能良好的数字滤波器可以实现各种复杂的线性相频特征，能够进行诸如亮/色分离等各种提高电视图像质量的信号处理功能。
- 抗干扰能力强，信噪比较高。电视信号经过二进制数字编码之后，比原始模拟信号具有较强的抗干扰能力，即使经过长距离地传输和反复记录，通过误码纠错等，仍可无失真地复原。
- 增加电视的功能。数字电视信号易于存储在半导体器件中，能够进行一维、二维以至包括帧在内的三维处理，利用行存储器或帧存储器可以对电视信号进行各种时基处理，实现不同步信号源之间的同步转换，对电视画面实现压缩、扩大、冻结、慢放等各种视频特技效果。
- 设备稳定性、可靠性提高。数字电视采用二值电平的数字器件，使数字设备比模拟设备具有更大的设计灵活性，特别是微处理软件的引入，使生产的自动调试和运行的自动控制成为可能，并能作为计算机的终端显示器而进入现代信息网。

数字卫星电视的应用开辟了卫星电视广播的新时代，在电视领域将发挥越来越大的作用。利用卫星传送多路数字电视节目，可大大扩大电视广播的覆盖范围，尤其可使山区和边远地区收看电视节目难的问题得以根本解决，电视质量也能得到提高，而且还能降低每路电视广播节目的费用。因此，利用数字压缩技术，进行卫星数字电视广播具有广阔的前景。

#### 1.4.4 有线电视

随着卫星电视技术的飞速发展，地区有线电视网的开通，许多单位积极创办用于教育、宣传和娱乐的自办节目，为此，电视频道越来越多，怎样将这些来源不同的电视信号高质量地传送到千家万户，是当前人们最关心的事情，也是不同规模有线电视系统所面临的问题。过去普遍采用的所谓全频道共同天线系统，不论是频道容量还是可靠性方面，实践证明远远不能满足上述要求。因此，采用邻频传输技术对旧系统进行改造，是未来21世纪有线电视的主攻方向。

所谓邻频传输，是相对于隔频传输而言的，是指两个以上相邻的电视频道信号在同一根同轴电缆里传输而不产生肉眼可见的干扰。其特点是系统容量大，但技术复杂。在系统选择传输方式中，必须了解各种传输方式的基本原理、优点和缺点，才有可能选择地正确采用有线电视的传输方式。在有线电视中普遍有一次变频、二次变频、邻频三种传输方式。

一次变频是将甲频率的电视信号变为乙频率的电视信号。例如将UHF频段变到VHF频段的某频道，13频道变为9频道或9频道变为21频道。其优点是设备简单、投资少。缺点

是因属于直接变频，频道与频道间的频带较宽，无法控制频率的漂移，这样会干扰相邻的频道，造成重影等不良效果。这种方式只能适应小型的公共天线系统，而不能满足中型的有线电视系统。

二次变频是将某频率的电视信号进行二次频率变换。例如将甲频道变为中频（IF：38.9MHz），再从中频变为乙频道。如16频道变为中频，再由中频变为3频道。其优点是因采用中频为接口，使频道互换有很大的方便。更主要的是在中频范围内干扰噪波少，其声表面波滤波器可以做得很窄，控制了频率的漂移，为诸邻频道带来的干扰给予极大的抑制作用，确保了信号的稳定。缺点是虽然控制了频率的漂移，但只能隔频道传输，给多套节目（几套到十几套节目）的传输带来难题，所以不适应中型的系统，无法满足系统的发展要求。邻频传输技术吸取了二次变频的优点，解决了一二次变频在传输中不能用邻频道传输的缺点，满足远距离传输的中型有线电视系统。邻频传输技术的前端是整个系统的核心，它包括调制器、频道处理器及主放大器等三个部分。

有线电视的实现，主要依赖于传输电缆及分支分配器，传输电缆通常使用藕芯电缆。藕芯电缆因其介质含量减少，故比实芯电缆的损耗低许多。但是经过数年使用后，发现损耗会有不同程度的增加。究其原因，是由于电缆纵孔进水、潮湿，使介质损耗加大所致。所以，藕芯电缆的使用寿命较短。一种新型低损耗物理高发泡电缆使用寿命较长，它的绝缘介质中，空气占有量为78%~80%，因此传播速度更快、介质损耗更低。由于采用具有大量微孔的聚乙烯构成介质，微孔间彼此封闭，所以水与潮气不会浸入。还有一种竹节式电缆也与物理高发泡电缆具有相同的特点，在其介质中所占的比例比较多，已接近理想的空气介质。在相同直径及同频率下，传播速度要比物理高发泡电缆高93%，损耗更小，但因这种电缆的转弯半径要求较大，所以多用于干线传输。

当前有线电视事业在我国城乡正如火如荼地飞速发展，其发展势头及规模正愈来愈受到国际同业人员的瞩目。自从1989年研制出高度线性的分布反馈（DFB）激光器，并将其运于CATV中以残留边带调幅（AM-VSB）方式同时传输几十路电视信号以来，光纤传输由于具有传输距离远、频带宽、抗干扰性强、稳定可靠及图像质量好等无可比拟的优越性正逐渐取代同轴电缆干线，将来有完全取代同轴电缆的可能。光纤联网的升级改造是未来21世纪的发展方向。

目前有线电视网不仅在大、中、小城镇已经开通，而且农村有线电视网也正在兴起。然而，农村有线电视的发展走什么路子却是一个很值得考虑的问题，是乡镇独立建网，还是与县联网，这是乡镇有线电视网建设中如何规划、设计的重要事情。作为广播电视工作者必须高度重视。如果乡镇独立建网，一是不可能成为信息传输的广域网，二是高技术准备的CATV网络，乡镇一级很难有力量建设和维护。实践证明，分散独立的小片网是没有前途的，只有把乡镇独立分散的小片网连成大网，才能形成系统优势。风格越大，信息量越多，服务功能越多，也就越能适应现代社会的需要。

自从1993年美国提出建立“信息高速公路”以来，世界各国不断作出反应，许多发达国家已纷纷制定了发展和试验“信息高速公路”的计划。我国对此也非常重视，组织有关专家进行论证并研究对策。根据中国国情，提出了称之为“高速信息网”计划。在未来的21世纪，有线电视将是一个与信息网络结合起来的，采用光纤链路的传输网络。

### 1.4.5 多媒体电视

多媒体技术是一门综合的高新技术，它把微电子、通信和数字化声像等技术融为一体，利用计算机对文字、声音、数据、图像等各种信息进行综合处理、存储与传输，目前已广泛应用于商业、教育、电子出版等系统。在影视文艺创作领域，由于该技术的涉入，不仅会改变影视工作者传统的工作条件与工作方式，而且会引起节目制作的一场革命。

由于科学技术的不断发展，信息传播媒介也在飞速发展。按照其服务对象和传播方式大致可分为：大众性传播媒介和专业性传播媒介。大众性传播媒介主要有：广播电视、图文电视、有线电视、电缆图文电视（正程图文电视等）。专业性传播媒介主要有：可视图文（图文检索）、各种专业计算机网络、数据广播等。前者以广播方式为主，覆盖面双较宽，但信息内容以大众所关心的信息为主，更新速度快，但信息量有限；后者则以交互式双向传输为主，并具有检索功能，覆盖面小，但信息大。未来 21 世纪中，家用广播电视接收机将与计算机和信息网络配合，作为多媒体的终端显示器，那时电视机不仅能接收广播电视信号、有线电视信号、卫星电视信号，而且可以作为计算机的终端显示器，并与交互式信息传播网络相连，成为信息高速公路的终端显示设备，从而扩展它的应用范围，真正做到足不出户，便可通晓古今中外各信息。为此今后生产的彩色电视机将安置 21 芯插座或 RGB 插孔，以便更方便地扩大彩电的应用范围。在未来的 21 世纪，发展与新型显示器件相关联的配套技术将为主攻方向，今后电视图像信号的显示器件要向大屏幕化、超薄化、轻量化发展，背投式 CRT 型、液晶显示和等离子显示技术将变得越来越重要，与其相关联的技术有高压技术，自动会聚技术，画面质量校正技术等。这一切都将为多媒体图像终端显示提供高质量的物质基础。

随着多媒体技术的发展，图、文、声、像一体化，信号的采集、处理、存储与传输等已普遍数字化，特别是动态图像的引入，使当前信息的存储和传输技术感到无能为力。多媒体技术在当今电视节目制作中通过支持模拟和数字两种编辑方式，一方面可使用户继续使用廉价的磁带作为存储媒体而不必牺牲非线性编辑提供的方便；另一方面，它把现在模拟时代与未来数字时代之间的鸿沟连接了起来。据笔者了解，数字电视与模拟电视兼容的研究目前已有了突破性进展。

### 1.4.6 交互式电视

交互式电视是一种受观念控制的现代高新技术电视，在节目间和节目内观众能够作出选择和决定，是一种非对称双工形式的新型电视技术，是在数字技术、网络技术、计算机技术等十分完善的基础上构想而成的。

交互式电视和多媒体电视的一个重要区别是前者的信息传输采用了不对称模式，交互式电视系统和人类间直接通信的信息系统一样，数据的发送和接收量有很大的差别，人的眼睛和大脑结合可以迅速地接收非常多的信息，而操作键盘和定位设备的手就要慢好几个数量级。使用遥控器的交互式电视系统，目前需要以秒兆位的速度传送家用质量的电视，而从遥控器到机盒只是每分钟几位的数量级。

这种不对称相对多媒体通信、分布式多媒体系统以及计算机风格系统来说是一个新概念，多媒体系统两个方向的传输路径肯定有相同的传输率，数据交换是处于计算机之间而不是人和机器之间。交互式电视系统通信对像是人和机器，所以它把传输通路分成节目通路和返回通

路。节目通路也称下行通路，它流向用户，把视频信息传送到用户。例如，一个交互式电视用户坐在家里的交互式电视机旁，考虑今天想看的节目，当他拿起非常简单的单键遥控器时，一系列小的矩形菜单出现在电视机屏幕的顶部。假设想看一部电影，于是他把单键遥控器（具有激光指标器）指向菜单的“电影”框，这时菜单向下扩展，把电影分成几组，如：浪漫传奇片、动作惊险片、经典著作片、科学幻想片及滑稽喜剧片等。用户选择了“滑稽喜剧片”，于是一系列电影片名中选择了“卓别林”。当选完电影片名后用户感到饿了，于是点购食物，几种诱人的烧饼出现在屏幕上，用户选中了某一种，然后屏幕通知用户在按键选择后 30 分钟内烧饼将送到，否则免费。用户不必告诉烧饼送到哪儿，因为系统知道用户的关资料。接下来选择饮料，选定后，完整的食物订单显示在屏幕上以使确认。同时还出现了一些电影的节选镜头，使用户确认这是他想要看的电影。当用户有被告知价格后，电影就真正开始了，从开始选择到播放电影大约花两分钟时间。电影播放不到半小时，送烧饼和饮料的人来了，但这时用户不必付钱，因为交互式电视系统通过您在网上的帐户已经把钱付给饼店及饮料店了。用户只需到厨房取些餐具接过食品即可，然后付给送货人一点小费，回来接着看电影。然而，有一个问题却出现了，用户错过了几分钟最好的情节，但交互式电视系统会帮助您，这时可拿起遥控器，大屏幕上立即出现了十几个小屏幕，每个都放着同一部电影，但开始时间不同，用户选择了他刚刚看过后的一个，用户就可从刚才被打断的地方接着观看。

交互式电视于 1994 年诞生在美国。这它主要由美国电话公司和有线电视公司合作开发。有线公司（CATV）拥有用户为 5800 万个家庭的大容量的光纤网络，用以传输各种图像、视频、音频及计算机数据，并具有播出多种电视节目的经验。

现在全世界已有 17 个国家正在开发或提供交互式电视的试验和服务。交互式电视具有较好的应用前景和经济效益，目前正处在蓬勃发展的初期。美国已经有美国电话公司点播电视（TELO VOD）系统、有线电视公司点播电视（CATV VOD）系统、峰窝电视点播系统及宾馆点播系统。在交互式电视系统中，关键设备是：视频服务器，ATM 通信设备、机顶盒以及节目选择和收费计算机，然而这些技术正随着计算机技术、通信技术、多媒体技术以及半导体技术的发展而不断更新换代。交互式电视产业在未来的 21 世纪必将飞速发展。

综上所述，读者对什么是数字电视，由此而引发的技术革命，不难有一个清楚的了解。一切新的电视欲望，都必须是建立在高度发展的数字编码压缩、模糊逻辑思维、卫星有线以及计算机网络传输等诸多高新技术的系统工程上，否则，什么 800 线清晰度、电视购物等，都是不能成立的。

## 本章总结

学习完本章，学生应该掌握：

- ◆ 掌握电视技术的发展历史
- ◆ 掌握数字电视与高清晰电视概念
- ◆ 掌握数字的分类
- ◆ 掌握电视构架及模块

# 第2章 数字信号基础知识

## 本章目标

本章结束时，学生能够：

- ◆ 掌握倍频的基本原理
- ◆ 掌握数字通信的特点及产生原理
- ◆ 掌握数字通信主要性能指标
- ◆ 掌握传输速率和带宽的关系

### 2.1 倍频基础知识

目前正在使用的模拟电视是从上世纪 40 年代到 50 年代逐渐发展、成熟起来的。为了压缩视频信号带宽，在有限的频率资源下传输更多的电视节目，摄像端采用隔行扫描方式拾取图像，以串行方式通过残留边带调制发送到接收机端，在显像端再把奇数场信号与偶数场信号均匀镶嵌，就可以构成一幅完整的图像。

广播电视系统每帧图像的扫描行数是根据人眼的视觉锐度和观看距离确定的。当人眼视觉锐度为  $1 \sim 1.5'$ ，观看距离为屏幕高度的  $4 \sim 6$  倍时确定每帧图像扫描行数为 525 行（NTSC-M 制）或 625 行（PAL-D 制）；早期电视系统场频则是根据人眼的临界闪烁频率和电源频率确定，在美、日等国广播电视的帧频为 30Hz，中、俄、欧洲等国家和地区的帧频为 25Hz。再利用隔行扫描技术，把 30 帧图像分为 60 场传送，把 25 帧图像分为 50 场传送，以便与电源频率锁相（目前场频与电源频率必须锁相的要求已不需要）。

#### 2.1.1 普通电视系统存在的缺陷

普通电视系统存在的缺陷如下：

##### (1) 宽高比

早期拟订电视规范时，选择了 4:3 的宽高比，因为当时 35mm 影片有同样的宽高比，而且观众对此格式也感到舒适。但今天“宽屏幕”形式很普遍，NHK 的研究表明，人们更喜欢 5:3 或甚至 2:1 的宽高比。

##### (2) 有限的垂直分解力（NTSC 系统比 PAL 系统更明显）

在 NTSC 制的 525 扫描行中，只有 485 行能产生图像，余下的 40 行是场消隐期。在最佳的情况下，人们期望分解出 485 行，但实际上有一些影响使这个数字大大减少，如凯尔（Kell）系数和隔行系数等均使可观察到的分解力降低，最多只能达到 330 行左右。

### (3) 有限的水平分解力

假设水平分解力近似等于垂直分解力。因此 NTSC 水平分解力在满屏宽约为 440 行。要达到这样的分解力，需要频率响应的平坦部分达到 4.2MHz 左右。NTSC 制规定视频带宽的上限也只有 4.2MHz，此频率上限不能随便扩展，因为电视频道的划分大多互相紧邻。

### (4) 严重受限的色度分解力

根据对人类视觉系统的研究结果，人眼对彩色的分辨力是有限的，因此决定利用这一点对色度系统的频率响应也作同样的限制。虽然这种方法已证明是使色度信号符合原先单色传输标准的极好方法，但目前节目制作设备却正在发生变化，为了尽量减小图像的劣化，采用 RGB 基色或 Y、B-Y、R-Y 分量进行编辑。

### (5) 静态光栅（可见行结构）

由于电视机屏幕尺寸的增加和质量的改进，观众开始能看到组成一帧图像的各扫描行，许多人对此感到不快，使扫描点单纯地散焦，会产生使水平清晰度同时下降的缺陷。按照 NTSC 制标准，观众要在图像高度的 7 倍处（PAL 制是 6 倍）才可以避免看到行结构。在这个距离上，观看者不会有身临其境的感觉，相反是感觉在看“一只盒子中的图画”。

### (6) 串色

串色是指亮度信号对色度信号的干扰。串色看起来就像新闻播音员身上花呢短上衣的异常彩色编织图案的效果，这是由于 PAL/NTSC 将高频亮度信号与色度信号混合在同一个复合信号里所致。减小此种串扰有两个办法，一种是将亮度信号带宽限制到大约 3MHz；再就是利用梳状滤波器将色度信号从亮度信号中滤出，但又会使垂直分辨率降低。

### (7) 串亮

串亮是由于色度信号漏入亮度通道所致，特别是在黑白电视接收机中，屏幕上由密布点组成矩阵状干扰。串亮可采取与抗串色相同的方法来消除。

### (8) 时域混叠

这种“车轮向后转”的视觉效应是由 30 帧/秒的取样率造成的。

## 2.1.2 传统低场频隔行扫描的缺陷

传统低频隔行扫描的缺陷如下：

### (1) 行间闪烁明显

传统模拟彩色电视的隔行扫描方式，把一帧图像分为奇数场和偶数场扫描，虽然降低了视频带宽，简化了设备和电路的复杂性，但是扫过同一点的频率比逐行扫描降低了一倍，场频是 50Hz 或 60Hz，但扫过同一点帧频仍为 25 Hz 或 30Hz，低于人眼的临界闪烁频率，这在大屏幕电视机和投影电视机中表现尤为明显。

### (2) 低场频造成大面积闪烁

研究表明，人眼可观察到频率非常高的场景亮度变化，它取决于视场和亮度电平。PAL-D 制和 SECAM 制采用的 50Hz 的场扫描频率，对于平均亮度较低的场景，大面积图像闪烁并不明显，但当重显平均亮度较亮的场景时，由于临界闪烁频率上升，50Hz 的场扫描频率显得太低，大面积图像闪烁明显。长时间在高亮度下观看电视会造成视觉疲劳，并伴随有头晕、恶心的感觉。

### (3) 视在并行现象

如果被传送的运动物体在垂直方向上有足够大的速度分量，并且每经过一场时间，即 $1/50\text{Hz}=20\text{ms}$  或  $1/60\text{Hz}=16.6\text{ms}$ ，物体垂直向下运动的距离等于扫描行间距时，则两场运动图像重合，图像垂直清晰度下降一半，这种现象称为视在并行。

#### (4) 直实并行现象

在隔行扫描中，要求奇数场同步信号与偶数场同步之间相差半行，奇数场扫描终止于第312.5行，偶数场扫描终止于第625行，同时要求行、场同步脉冲之间保持严格的隔行扫描关系，否则两场光栅不能均匀镶嵌，产生并行现象。并行最严重时两场扫描光栅重叠，图像垂直清晰度也会降低一半。

#### (5) 运动图像的场差效应与拖尾

当运动物体沿水平方向运动速度足够大时，因摄像端隔行拾取信号，使相邻行图像在时间上相差一场时间（20ms或16.6ms），结果出现运动物体垂直边缘锯齿化，这种现象称为场差效应（Jaggies）。同样当运动物体运动速度足够大时，因摄像端隔行拾取信号，也会使运动物体产生拖尾，甚至一个物体变为两个物体。

#### (6) 爬行效应

PAL制彩色电视信号的色度信号采用逐行倒相方式传送，如果在色度解调电路中存在解调误差（解调角误差、相位配合误差、幅度配合误差）时，色差信号中有逐行倒相的串色分量，并会产生相邻行电平的不一致性，显示的图像亮度逐行有强弱变化，再加由上至下隔行扫描，行结构逐场向上移动，这种向上缓慢移动的明暗相间行结构就称为爬行现象。低频串色引起大面积爬行，高频串色引起彩色图像边缘蠕动，色饱和度越强，爬行现象越明显。

#### (7) 隔行扫描使光栅摩尔效应明显

摩尔效应是荫罩孔水平行之间距离与行扫描线之间相互作用产生的一种网状干扰图形。如果荫罩孔水平行之间的距离与行扫描线之间距离正好相一致或者成整数倍，产生摩尔效应的可能性较小。但是当两者距离不完全一致时，就会使通过荫罩孔的电子束电流强度被调制，形成亮暗干扰条纹。由于水平扫描线有一定的倾角，即使在光栅左侧荫罩孔水平线与行扫描线对准，光栅右侧就不一定对准，因此垂直光栅幅度的变化或场扫描线性不好，都可能产生摩尔效应。为了减小摩尔效应，必须根据扫描制式（625行或525行），精确设计荫罩孔节距。扫描格式变换技术，提高了行扫描频率，使行扫描线间距减小，有利于减小摩尔效应。

### 2.1.3 减小行间闪烁的方法

消除行间闪烁的办法有两个：即变隔行扫描为逐行扫描格式，或者降低帧间时差。前一种办法本身没有行间闪烁（逐行扫描），产生行间闪烁的原因是帧间时间太长，即两帧（场）图像扫过同一像素的时间太长，传统模拟电视的帧间时间差为33.3ms（NTSC-M制）或40ms（PAL-D制），逐行扫描的帧间时间差降低为16.7ms或20ms以下，同样可以消除行间闪烁，视觉感觉是相同的。消除行间闪烁的方法分为场内行插入法和帧内逐行读取法。

场内行插入法的特点是利用行存储器，使一行图像信号重复使用两次，低速15625Hz/50Hz写入（存储），高速31250Hz/50Hz读出，输入为隔行图像信号，显示为逐行扫描图像信号，场频不变，行频提高一倍。场内行插入法利用三个行存储器和相应的逻辑切换开关，就可以使隔行扫描方式变为逐行扫描方式。场内行插入法可分为两种方法。

### (1) A 行与 B 行之间插入 A 行

这是一种最简单的方法，其原理方框图和时序图如图 2-1。图中 A、B、C 是三个行存储器，数字电视信号的写入时间是行周期  $64\mu s$ ，读出时间是半行周期时间  $32\mu s$ ，显示端行扫描频率由  $15625Hz$  提高了一倍，变为  $31250Hz$ 。时序逻辑控制切换开关使一行图像信号重复使用两次。当 A 存储器以行频写入时，B 存储器以两倍行频读出；当 B 存储器以行频写入时，C 存储器以两倍行频读出；当 C 存储器以行频写入时，则 A 存储器以两倍行频读出。输出信号  $U_0$  为高速输出，变成一种倍速、逐行扫描方式。这种插入方法的优点是简单，行存储器容量不大，成本低，能改善文字和静止图像的垂直清晰度。

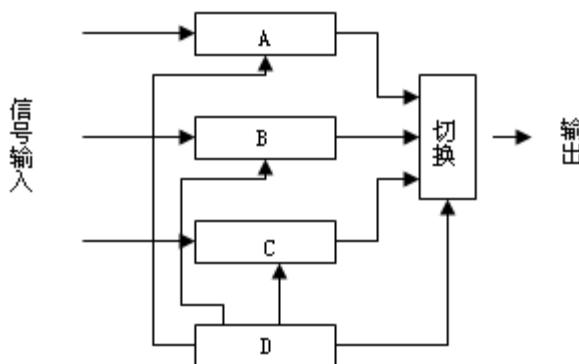


图 2-1 行内插入法

### (2) A 行与 B 行之间插入 $(A+B)/2$ 行

这种方法是通过行存储器，把相邻 A 行与 B 行信号相加求平均值，得到一个新的扫描行信号  $(A+B)/2$ ，并插入在 A 行与 B 行之间。图 2-2 示出了这种方法的方框图和时序关系图。这种方法也是行频提高一倍，场频不变，利用三个行存储器，以行频低速写入，以二倍行频高速读出。当 A 存储器以行频写入时，B 存储器以两倍行频读出，第一行读出 B 存储器，第二行读出 B 存储器与 C 存储器图像之和的一半幅度，即  $(B+C)/2$ ；当 B 存储器以行频低速写入时，C 存储器以二倍行频高速读出，第一行读出 C 存储器信号数据，第二行读出 C 存储器与 A 存储器信号数据之和的一半幅度，即  $(A+C)/2$ ；同理，当 C 存储器以行频低速写入时，A 存储器以二倍行频高速读出，第一行读出 A 存储器数据信号，第二行读出 A、B 存储器数据信号之和的一半，其余行依此类推。这种输入信号是常规的隔行扫描的电视信号，而输出是二倍行频的逐行扫描电视信号，而且插入信号是相邻两行信号的数学平均值。这种插入方式图像柔合、清晰，适合于一般广播电视信号的处理。

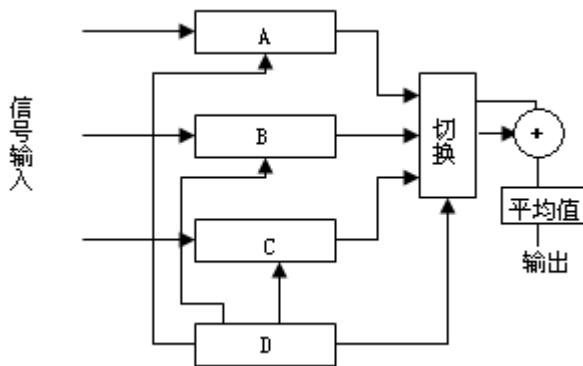


图 2-2 场内插入法

## 2.2 数字通信的特点

数字通信具有以下特点：

(1) 抗干扰能力强、无噪声积累

在模拟通信中，为了提高信噪比，需要在信号传输过程中及时对衰减的传输信号进行放大，信号在传输过程中不可避免地叠加上的噪声也被同时放大。随着传输距离的增加，噪声累积越来越多，以致使传输质量严重恶化。

对于数字通信，由于数字信号的幅值为有限个离散值（通常取两个幅值），在传输过程中虽然也受到噪声的干扰，但当信噪比恶化到一定程度时，即在适当的距离采用判决再生的方法，再生成没有噪声干扰的和原发送端一样的数字信号，所以可实现长距离高质量的传输。

(2) 便于加密处理

信息传输的安全性和保密性越来越重要，数字通信的加密处理的比模拟通信容易得多，以话音信号为例，经过数字变换后的信号可用简单的数字逻辑运算进行加密、解密处理。

(3) 便于存储、处理和交换

数字通信的信号形式和计算机所用信号一致，都是二进制代码，因此便于与计算机联网，也便于用计算机对数字信号进行存储、处理和交换，可使通信网的管理、维护实现自动化、智能化。

(4) 设备便于集成化、微型化

数字通信采用时分多路复用，不需要体积较大的滤波器。设备中大部分电路是数字电路，可用大规模和超大规模集成电路实现，因此体积小、功耗低。

(5) 便于构成综合数字网和综合业务数字网

采用数字传输方式，可以通过程控数字交换设备进行数字交换，以实现传输和交换的综合。另外，电话业务和各种非话业务都可以实现数字化，构成综合业务数字网。

(6) 占用信道频带较宽

一路模拟电话的频带为 4kHz 带宽，一路数字电话约占 64kHz，这是模拟通信目前仍有生命力的主要原因。随着宽频带信道（光缆、数字微波）的大量利用（一对光缆可开通几千

路电话)以及数字信号处理技术的发展(可将一路数字电话的数码率由64kb/s压缩到32kb/s甚至更低的数码率),数字信号的带宽问题已不是主要问题了。

由以上介绍可知,数字通信具有很多优点,所以各国都在积极发展数字通信。近年来,我国数字通信得到迅速发展,正朝着高速化、智能化、宽带化和综合化方向迈进。

## 2.3 数字信号的产生

### 2.3.1 模拟信号和数字信号

#### 1. 模拟信号

信号波形模拟着信息的变化而变化,如下图左边所示的信号称为模拟信号。其特点是幅度连续(连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值)。其信号波形在时间上也是连续的,因此它又是连续信号。右图所示的信号是如图2-3所示的模拟信号按一定的时间间隔T抽样后的抽样信号,由于其波形在时间上是离散的,它又叫离散信号。但此信号的幅度仍然是连续的,所以仍然是模拟信号。电话、传真、电视信号都是模拟信号。

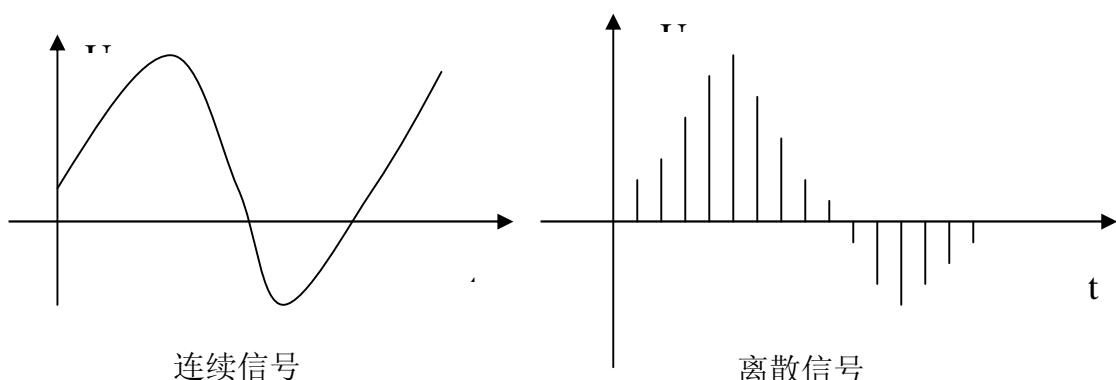


图 2-3 连续信号与离散信号

#### 2. 数字信号

下图所示是数字信号,其特点是幅值被限制在有限个数值之内,它不是连续的而是离散的。如图2-4是二进码,每一个码元只取两个幅值(0, A);右图是四进码,每个码元取四(3、1、-1、-3)中的一个。这种幅度是离散的信号称数字信号。

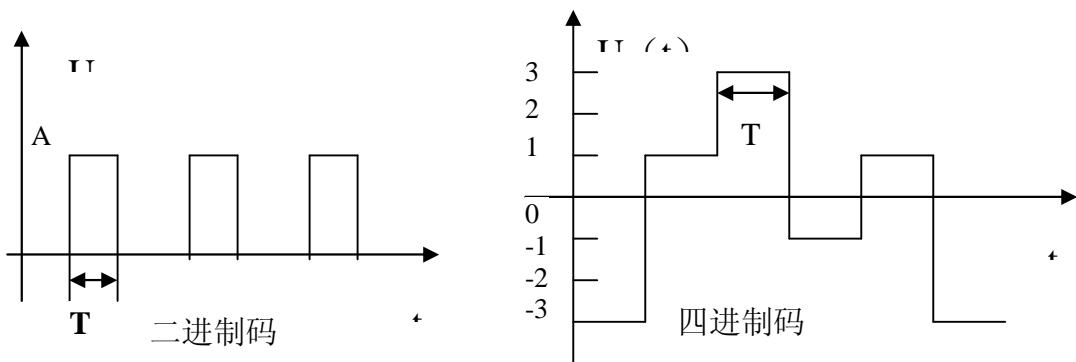


图 2-4 数字信号波形

### 2.3.2 信号的数字化过程

信号的数字化需要三个步骤：抽样、量化和编码。抽样是指用每隔一定时间的信号样值序列来代替原来在时间上连续的信号，也就是在时间上将模拟信号离散化。量化是用有限个幅度值近似原来连续变化的幅度值，把模拟信号的连续幅度变为有限数量的有一定间隔的离散值。编码则是按照一定的规律，把量化后的值用二进制数字表示，然后转换成二值或多值的数字信号流。这样得到的数字信号可以通过电缆、微波干线、卫星通道等数字线路传输。在接收端则与上述模拟信号数字化过程相反，再经过后置滤波又恢复成原来的模拟信号。上述数字化的过程又称为脉冲编码调制。

#### 1. 抽样

图像和话音信号是模拟信号，它不仅在幅度取值上是连续的，而且在时间上也是连续的。要使模拟信号数字化并实现时分多路复用，首先要对模拟信号进行离散化处理，这一过程叫抽样。所谓抽样就是每隔一定的时间间隔  $T$ ，抽取模拟信号的一个瞬时幅度值（抽样值），抽样后所得出的一系列在时间上离散的抽样值称为样值序列，如下图所示。抽样后的样值序列在时间上是离散的，可进行时分多路复用，也可将各个抽样值经过量化、编码变成二进制数字信号。理论和实践证明，只要抽样脉冲的频  $f_s \geq 2f_m$  ( $f_m$  是模拟信号的最高频率)，则抽样后的样值序列可不失真地还原成原来的信号。

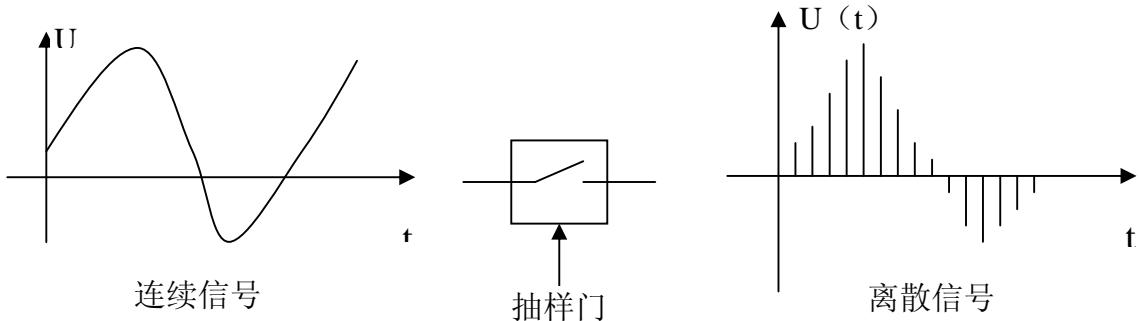


图 2-5 抽样过程示意图

例如,一路电话信号的频带为  $300\sim3400\text{Hz}$ ,  $f_m=3400\text{Hz}$ , 则抽样频率  $f_s \geq 2 \times 3400 = 6800\text{Hz}$ 。如按  $6800\text{Hz}$  的抽样频率对  $300\sim3400\text{Hz}$  的电话信号抽样, 则抽样后的样值序列可不失真地还原成原来的话音信号, 话音信号的抽样频率通常取  $8000\text{Hz}$ 。对于 PAL 制电视信号, 视频带宽为  $6\text{MHz}$ , 按照 CCIR601 建议, 亮度信号的抽样频率为  $13.5\text{MHz}$ , 色度信号为  $6.75\text{MHz}$ 。

## 2. 量化

抽样把模拟信号变成了时间上离散的脉冲信号, 但脉冲的幅度仍然是模拟的, 还必须进行离散化处理, 才能最终用数码来表示。这就要对幅值进行舍零取整的处理, 这个过程称为量化。量化有两种方式。一种是取整时只舍不入, 例如  $0\sim1$  伏间的所有输入电压都输出 0 伏,  $1\sim2$  伏间所有输入电压都输出 1 伏等。采用这种量化方式, 输入电压总是大于输出电压, 因此产生的量化误差总是正的, 最大量化误差等于两个相邻量化级的间隔  $\Delta$ 。另一种量化方式在取整时有舍有入, 例如  $0\sim0.5$  伏间的输入电压都输出 0 伏,  $0.5\sim1.5$  伏间的输出电压都输出 1 伏等等。采用这种量化方式量化误差有正有负, 量化误差的绝对值最大为  $\Delta/2$ 。因此, 采用有舍有入法进行量化, 误差较小。

实际信号可以看成量化输出信号与量化误差之和, 因此只用量化输出信号来代替原信号就会有失真。一般说来, 可以把量化误差的幅度概率分布看成在  $-\Delta/2\sim+\Delta/2$  之间的均匀分布。可以证明, 量化失真功率, 即与最小量化间隔的平方成正比。最小量化间隔越小, 失真就越小。最小量化间隔越小, 用来表示一定幅度的模拟信号时所需要的量化级数就越多, 因此处理和传输就越复杂。所以, 量化既要尽量减少量化级数, 又要使量化失真看不出来。一般都用一个二进制数来表示某一量化级数, 经过传输在接收端再按照这个二进制数来恢复原信号的幅值。所谓量化比特数是指要区分所有量化级所需几位二进制数。例如, 有 8 个量化级, 那么可用三位二进制数来区分, 称 8 个量化级的量化为 3 比特量化。8 比特量化则是指共有 256 个量化级的量化。

量化误差与噪声是有本质区别的。因为任一时刻的量化误差是可以从输入信号求出, 而噪声与信号之间就没有这种关系。可以证明, 量化误差是高阶非线性失真的产物。但量化失真在信号中的表现类似于噪声, 也有很宽的频谱, 所以也被称为量化噪声并用信噪比来衡量。

上面所述的采用均匀间隔量化级进行量化的方法称为均匀量化或线性量化, 这种量化方式会造成大信号时信噪比有余而小信号时信噪比不足的缺点。如果使小信号时量化级间宽度小些, 而大信号时量化级间宽度大些, 就可以使小信号时和大信号时的信噪比趋于一致。这种非均匀量化级的安排称为非均匀量化或非线性量化。数字电视信号大多采用非均匀量化方式, 这是由于模拟视频信号要经过校正, 而校正类似于非线性量化特性, 可减轻小信号时误差的影响。

对于音频信号的非均匀量化也是采用压缩、扩张的方法, 即在发送端对输入的信号进行压缩处理再均匀量化, 在接收端再进行相应的扩张处理。目前国际上普遍采用容易实现的 A 律 13 折线压扩特性和  $\mu$  律 15 折线的压扩特性。我国规定采用 A 律 13 折线压扩特性。

采用 13 折线压扩特性后小信号时量化信噪比的改善量可达  $24\text{dB}$ , 而这是靠牺牲大信号量化信噪比 (亏损  $12\text{dB}$ ) 换来的。

### 3. 编码

抽样、量化后的信号还不是数字信号，需要把它转换成数字编码脉冲，这一过程称为编码。最简单的编码方式是二进制编码。具体说来，就是用  $n$  比特二进制码来表示已经量化了的样值，每个二进制数对应一个量化值，然后把它们排列，得到由二值脉冲组成的数字信息流。编码过程在接收端，可以按所收到的信息重新组成原来的样值，再经过低通滤波器恢复原信号。用这样方式组成的脉冲串的频率等于抽样频率与量化比特数的积，称为所传输数字信号的数码率。显然，抽样频率越高，量化比特数越大，数码率就越高，所需要的传输带宽就越宽。

除了上述的自然二进制码，还有其他形式的二进制码，如格雷码和折叠二进制码等，下表表示出了这三种二进制码。这三种码各有优缺点：A.自然二进制码和二进制数一一对应，简单易行，它是权重码，每一位都有确定的大小，可以直接进行大小比较和算术运算。自然二进制码可以直接由数/模转换器转换成模拟信号，但在某些情况，例如从十进制的 3 转换为 4 时二进制码的每一位都要变，使数字电路产生很大的尖峰电流脉冲。B.格雷码则没有这一缺点，它在相邻电平间转换时，只有一位产生变化，格雷码不是权重码，每一位码没有确定的大小，不能直接进行比较大小和算术运算，也不能直接转换成模拟信号，要经过一次码变换，变成自然二进制码。C.折叠二进制码沿中心电平上下对称，适于表示正负对称的双极性信号。它的最高位用来区分信号幅值的正负。折叠码的抗误码能力强。

表 2-1 二进制编码表

量化电平	自然二进制码	格雷码	折叠二进制码
0	000	000	011
1	001	001	010
2	010	011	001
3	011	010	000
4	100	110	100
5	101	111	101
6	110	101	110
7	111	100	111

在通信理论中，编码分为信源编码和信道编码两大类。所谓信源编码是指将信号源中多余的信息除去，形成一个适合用来传输的信号。为了抑制信道噪声对信号的干扰，往往还需要对信号进行再编码，编成在接收端不易为干扰所弄错的形式，这称为信道编码。为了对付干扰，必须花费更多的时间，传送一些多余的重复信号，从而占用了更多频带，这是通信理论中的一条基本原理。

#### 2.3.3 数字视频信号的编码方式和格式

##### 1. 复合编码和分量编码

视频信号有两种编码方式，即复合编码和分量编码。复合编码是将复合彩色视频信号直接编码成 PCM 形式。复合彩色视频信号是指彩色全电视信号，它包含有亮度信号和以不同

方式编码的色度信号。分量编码是将三基色信号 R、G、B 分量或亮度和色差信号 Y、(B-Y)、(R-Y) 分别编码成 PCM 形式。

复合编码的优点是码率低些，设备较简单，适用于在模拟系统中插入单个数字设备的情况。它的缺点是由于数字电视的抽样频率必须与彩色副载频保持一定的关系，而各种制式的副载频各不相同，难以统一。采用复合编码时由抽样频率和副载频间的差拍造成的干扰将影响图像的质量。

分量编码的优点是编码与制式无关，只要抽样频率与行频有一定的关系，便于制式转换和统一，而且由于 Y、(R-Y)、(B-Y) 分别编码，可采用时分复用方式，避免亮色互串，可获得高质量的图像。在分量编码中，亮度信号用较高的码率传送，两个色差信号的码率可低一些，但总的码率比较高，设备价格相应较贵。

## 2. 数字视频信号的抽样频率和格式

现行的扫描制式主要有 625 行/50 场和 525 行/60 场两种，它们的行频分别为 15625 赫和 15734.265 赫。ITU-R 建议的分量编码标准的亮度抽样频率为 13.5 兆赫，这恰好是上述两种行频的整数倍，对于 625 行/50 场，每行的抽样点数为 864 个，对于 525 行/60 场，每行的抽样点数为 858 个，按照国际现行电视制式，亮度信号最大带宽是 6 兆赫。根据奈奎斯特抽样定理，抽样频率至少要大于  $2 \times 6 = 12$  兆赫，因此取 13.5 兆赫也是合适的。

由于色差信号的带宽比亮度信号窄得多，所以在分量编码时两个色差信号的抽样频率可以低一些，同时也考虑到抽样的样点结构满足正交结构的要求，ITU-R 建议两个色差信号的抽样频率均为亮度信号抽样频率的一半，即 6.75 兆赫，每行的样值点数也是亮度信号样值点数的一半，即分别为 432 个/行和 429 个/行。因此，对演播室数字电视设备进行分量编码的标准是：亮度信号的抽样频率是 13.5 兆赫，两个色差信号的抽样频率是 6.75 兆赫，其抽样频率之比为 4:2:2，因此也称为 4:2:2 格式。对于用于信号源信号处理的质量要求更高的设备，还可以采用 4:4:4 的抽样关系。

# 2.4 数字视频的基本原理

## 2.4.1 二进制原理

数字视频是一种用二进制数进行编码、压缩、再传输的图像信源。它较传统的模拟制式图像信源相比，更适合多次中继的远距离通信，易于多次复制，并且抗干扰能力强，保密性好，有效地提高了电视的质量。

数字化技术在视频图像中的运用成功，不仅需要二进制数的支持，而且图像变换编码及图像编码的标准也为之起着关键性的作用。视频序列图像在时间上有很强的相关性，利用块运动估计和运动补偿技术可以比较有效地去除图像帧间冗余度，实现高码率压缩比，这种技术已广泛用于视频压缩的一些国际标准中，如 H.261，H.263，MPEG-1，MPEG-2 等。在这些视频压缩国际标准中视频系统编码器的复杂性最主要取决于运动估计。运动估计是活动图像编码和计算机视觉领域中的一项关键技术。计算机视觉的研究侧重于由物体的二维运动来

估计其三维运动,活动图像编码的研究侧重于由物体和摄像机的相对运动而形成的二维运动。因此,数字视频是十分复杂的编码技术的支持。

在人们的日常生活中,对数的运用,总有一个进位的概念,用以表示数码的量级。在实际应用中,根据不同事物的需要,人们创立了多种数的进位制。我们最常用、最熟悉的是十进制,例如10mm为1cm,10cm为1dm,10dm为1m等。但是,日常生活中,并不都是采用十进制的,如1年等于12个月,则是十二进制;1小时等于60分钟,1分钟等于60秒,是60进制;鞋是以双计算的,即1双等于2只,是二进制。

在我们最常用、最熟悉的十进制数中,共有10个不同的数字符号0、1、2、3、4、5、6、7、8、9,而且由低位向高位是“逢十进一”。在十进制中由0、1、2、3、4、5、6、7、8、9这十个数字符号,加上正负号、小数点等就可以构成一个数。例如1999这个数,通常读为一千九百九十九。用数学公式表达,则为:

$$1999=1\times10^3+9\times10^2+9\times10+9$$

在十进制中任一个正整数N都能够写成:

$$N=a_n\times10^n+a_{n-1}\times10^{n-1}+\dots+a_3\times10^2+a_1\times10+a_0$$

其中 $0\leq a_i \leq 9$ ,而I是0到几中的任一个数。

如将3475写成数学公式的表达形式时,则当*i*≥4时有:

$$a_4=0, a_3=3, a_2=4, a_1=7, a_0=5,$$

即:

$$3475=3\times10^3+4\times10^2+7\times10+5。$$

在十进制中,由于利用0、1、2、3、4、5、6、7、8、9这十个数字符号可以表示出任意大小的数,因而十进制普遍应用,似乎没有必要搞其他进位制,事实上在电子数字计算机出现以前,除了少数数学家以外,确实没有人考虑其他进位制。

随着电子计算机技术的出现,十进制数已不能适应电子数字计算,为此二进制计算方法便应运而生,并且愈来愈显著起来。在二进制计数方法中,只有两个数字符号0、1,而且由低位向高位是“逢二进一”,同一个数所在的位数相差一位,其值就有二位之差。所以,在二进制的数:

0就是零;

1就是一;

10就是二;

100就是四;

1000就是八;

10000就是十六;

100000 就是三十二；  
 1000000 就是六十四；  
 10000000 就是二百二十八；  
 .....  
 ....

由于在二进制中 10 就是二，1 就是一，所以在十进制  $11=10+1$  等于二加一就是三。对于由 1111 这四个数字符号所组成的数在十进制和二进制中，它们所表示的量值是不同的。在十进制中 1111 是一千一百一十一，而在二进制中  $1111=1000+100+10+1$  却是八加四加二再加一，也就是十五。

在数学界，当  $g$  是正整数而  $g$  不等于 10 时，将用 (a)  $g$  来表示  $a$  是用  $g$  进位法写的，因此 (a) 2 是表示  $a$  是用二进位法写的。为了方便起见，当  $a$  是用十进位法写时，我们还用平常的写法，也就是  $a$ 。

在电子计算机中采用二进制，是因为这种进位制具有下面一些优点：

(1) 二进制数只 0、1 两个数字符号，十进制却有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数字符号。电子计算机不可能像人一样，一眼就识别这十个符号。在计算机内只能用物理元件的不同稳定状态来表征这些不同符号。因此，对于一个十进制数就需要一个具有十种不同稳定状态的物理元件，而对于二进制数只要一个具有两种不同稳定状态的物理元件即可。显然，后一种物理元件是容易实现的。如电灯的“亮”与“暗”和开关的“接通”与“断开”都是电灯和开关的两种不同稳定状态，如果用“亮”或“接通”表示 1，则“暗”或“断开”就表示 0，所以用电灯或开关就可以表示一个二进制数。

(2) 采用二进制，可以用较少的物理元件表示较多的数，所以采用二进制可以节省设备而使电子计算机的结构比较简单，也有利于工作可靠性的提高。

(3) 二进制数的四则运算和十进制数相同，因为它只有 0 和 1 两个数字符号，因此只要记住“逢二进一”的原则，就可以进行任何运算了。

要使人们习惯采用的十进制量化模拟视频在电子数字计算机中进行运算，道德必须把需要运算的十进制数“翻译”成二进制。根据二进制计数方法的定义，十进制的 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 这十个数字符号，可用二进制数表示为：

$$\begin{aligned} 0 &= (0)_2 \\ 1 &= (1)_2 \\ 2 &= (10)_2 \\ 3 &= 2+1 = (10)_2 + (1)_2 = (11)_2 \\ 4 &= (100)_2 \\ 5 &= 4+1 = (100)_2 + (1)_2 = (101)_2 \\ 6 &= 4+2 = (100)_2 + (10)_2 = (110)_2 \\ 7 &= 6+1 = (100)_2 + (1)_2 = (111)_2 \\ 8 &= (1000)_2 \\ 9 &= 8+1 = (1000)_2 + (1)_2 = (1001)_2 \end{aligned}$$

在实际应用中，可基于 2 的乘次方采用试减法来将十进制数换成二进制数。2 的乘次方通常是：

$$2^1=2$$

---

$2^2=4$   
 $2^3=8$   
 $2^4=16$   
 $2^5=32$   
 $2^6=64$   
 $2^7=128$   
 $2^8=256$   
 $2^9=512$   
 $2^{10}=1024$   
 $2^{11}=2048$   
 $2^{12}=4096$   
 $2^{13}=8192$   
 $2^{14}=16384$   
 $\dots = \dots$

如将 24 化为二进制数：根据  $2$  的乘次方知道，不大于 24 的最大数是  $2^4=16$ 。由  $2^4-16=8$  和  $2$  的乘次方知道，不大于 8 的最大数是  $2^3=8$ 。由于

$24=16+8=1\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+0$  所以， $24=(11000)_2$

再如将 92 化为二进制数：根据  $2$  的乘次方知道，不大于 92 的最大数是  $2^6=64$ ，由  $92-64=28$ ，再由  $2$  的乘次方知道，不大于 28 的最大数是  $2^4=16$ 。由  $28-16=12$ ，再由  $2$  的乘次方知道，不大于 12 的最大数是  $2^3=8$ 。由  $12-8=4$ ，再由  $2$  的乘次方知道，不大于 4 的最大值是  $2^2=4$ 。由于

$$92=64+16+8+4=1\times2^6+1\times2^4+1\times2^3+1\times2^2+0\times2+0$$

所以

$$92=1011100$$

从十进制数转化为二进制数来看，后者一个最大特点是码位较高。这也是较十进制数在应用计算时的一个不利因素，它要求计算机的硬件有一个较高的质量。

至于二进制数转换成二进制数，方法就比较简单了，只要把它用  $2$  的乘次方的多项式表示，求出结果就行了。

如： $(10011)_2$  化成十进制数时

$$\text{分解 } (10011)_2 = 1\times2^4+0\times2^3+0\times2^2+1\times2+1$$

$$\text{由有: } 2^4+2+1=16+2+1=19$$

$$\text{所以 } (10011)_2 = 19$$

## 2.4.2 数字通信系统的主要性能指标

数字通信系统主要性能指标在如下：

### (1) 信道传输速率

信道的传输速率通常是以每秒所传输的信息量多少来衡量。信息论中定义信源发生信息量的度量单位是“比特”(bit)。一个二进制码元所含的信息量是一个“比特”，所以信息传输速率的单位是比特/秒(bit/s)。例如一个数字通信系统，它每秒传输 600 个二进制码元，它的信

息传输速率是 600 比特/秒 (600bit/s)。

### (2) 符号传输速率

它是指单位时间 (秒) 内传输的码元数目，其单位为波特。这里的码元可以是二进制的，也可以是多进制的。符号传输速率  $M$  和信息传输速率  $R$  的关系为  $R=N\log_2 M$ ，当码元为二进制时  $M$  为 2，码元为四进制时  $M$  为 4。如果符号速率为 600 波特，在二进制时，信息传输速率为 600 比特/秒，在四进制时为 1200 比特/秒。

### (3) 误码率

信码在传输过程中，由于信道不理想以及噪声的干扰，以致在接收端判决再生后的码元可能出现错误，这叫误码。误码的多少用误码率来衡量，误码率是数字通信系统中单位时间内错误码元数与发送总码元数之比。误码越多，误码率越大。

## 2.4.3 传输速率和带宽的关系

数字信号的传输要求与模拟信号的要求不同，模拟信号的传输要求接收端无波形失真，而数字信号的传输是要求接收端无差错地恢复成原来的二进数码（可以允许接收波形失真，只要不影响正确恢复信码即可）。

由于数字信号的频带非常宽（从直流一直到无限高的频率），但其主要能量则集中在低频段，而电缆传输信道是只允许比较低的频率成分通过的低通信道。当一系列数字脉冲信号通过带限的电缆，信号由于高频成分被滤去，使输出波形出现了失真。

这种波形顶部变圆，底部展宽。一个码元的波形展宽到其他码元位置，影响到其他码元，这种影响称码间干扰。由于波形的拖尾很长，码间干扰将影响到数个码元。波形的拖尾可以是正的也可能是负的。如果所有的拖尾相加后是正值，而且达到门限判决电平就可能将“0”误判为“1”码；反之，如果所有的拖尾相加后在某个码元位置的值是负的，就可能将“1”码误判为“0”码。为了减少码间干扰，数字信号传输的基本理论——奈奎斯特第一准则规定带限信道的理想低道截止频率为  $f_H$  时，最高的无码间干扰传输的极限速度为  $2f_H$ ，无码间干扰的波形。例如，信道带宽为 2000Hz 时，每秒最多可传送 4000 个二进制码元。一路数字电话速率为 64kbit/s，则无码间干扰的信道带宽为 32kHz。

## 2.5 数字视频常用技术

### 2.5.1 NICAM 的基本原理

NICAM（数字丽音）是 Near Instantaneous Companded Audio multiplex 的缩写词，意为“准瞬时压扩声音多路复用”，是由英国广播公司（BBC）开发研究成功的，由于其数据传输率为 728Kbps，因此，这种数字声频被称为 NECAM-728。这种电视伴音的数字技术既可以用于地面广播，也可以用于卫星电视广播。它具有模拟电视声音不可比拟的优点，在 NICAM 通道中；既可以传送立体声节目，也可以传送双语节目，还可以传送数字信息。具有传送的声音动态范围大、音质好、信噪比高、串音小等优点。它研究成功，很快得到广泛应用，在西欧、

北欧、东南亚和香港等一些国家和地区相继开展了 NICAM 广播业务。由于该种技术所传送的声音美国动听，所以香港地区称为“丽音”。

为适应我国电视广播和有线电视发展的需要，北京电视台、北京牡丹电子集团公司等单位，基于我国国情，自 1994 至 1997 经历了四年的研究时间，终于制定出 GY/T129-1997《PAL-电视广播附加双声道数字声技术规范》，并从 1997 年 5 月 16 日开始试播，从此，北京电视台第一套（6 频道）节目正式启用了 PAL-D 附加 NICAM-728 数字立体声试播节目，1998 年 1 月 1 日北京电视台第一套节目以采用 PAL-D 附加 NICAM 数字声系统广播形式正式上星，从而标志了我国广播电视的声音系统由过去的传统模拟单声广播进入了数字立体声广播，同时也标志着我国数字电视广播的序幕已经拉开。中华人民共和国广播电影电视部对 GY/T129-1997《PAL-D 电视广播附加双声道数字声技术规范》标准已正式批准，并决定于 1998 年 5 月 1 日开始实施。

根据中华人民共和国电子行业标准，对我国彩的 NICAM 双声道数字系统多声道电视接收机的基本技术参数和测量方法作了明确规定。

技术参数主要有：

- 输入信号的电平比图像噪波限制灵敏度标称电平低 3dB 时引起的比特误码率  $\leq 3 \times 10^{-5}$ ;
- 模拟 FM 载波的各种频偏引起的比特误码率  $\leq 3 \times 10^{-6}$ ;
- 可察觉咔喀音频噪声时的输入信号电平比图像噪波限灵活度标称电平低 3dB/ $\mu$ V 以下;
- 音频相应特性,在场声器端或假负载上,100Hz-12kHz 频率范围内,及在 AV 输出端口,100Hz-14kHz 频率范围内,电压不均匀度不劣于  $\pm 3$  dB.但对声音输出采用电路多分频系统时,在产品技术条件中规定;
- 谐波失真, 在 100Hz-7.5kHz 频率范围内, 在扬声器端或负载上  $\leq 5\%$ , 在 AV 输出端口  $\leq 3\%$ ;
- 声音通道的动态范围, 在扬声器或假负载上  $\geq 63$  dB, 在 AV 输出端口  $\geq 63$  dB;
- 串音,频率为 1kHz 时, 在场声器端或假负载上, 左、右声道的串音  $\leq -46$  dB, A、B 通道的串音  $\leq -60$  dB.在 AV 输出端口, 左、右声道的串音及 A、B 通道的串音  $\leq -60$  dB;
- NICAM 信号噪比(A 计数时), 在扬声器或假负载上  $\geq 46$  dB, 在 AV 输出端口  $\geq 49$  dB;
- NICAM 数字声与 FM 模拟声时输出信号的幅度差不劣于  $\pm 3$  dB;

测量方法中的项目主要有：

- 由输入信号电平引起的比特误码率, 属于伪随机信号, 对其信号要求为 15 阶以上的伪随机二进制序列.
- 由模拟 FM 载波的各种频偏引起的比特误码率, 属伪随机码信号, 对其信号要求为 15 阶以上的伪随机二进制序列.
- 由上邻频道引起的比特误码率, 属于伪随机信号, 对其信号要求为 15 阶以上的伪随机二进制序列.
- 可察觉咔喀音频噪声, 属于多频道预加重后等幅信号, 对其信号频率要求为 40Hz-15kHz, 为 SS (立体声模式, 两声道均有信号) 模式, 电平为 -11dB.

- 音频响应特性,属于多频率预加重前等幅信号,对其信号频率要求为 40Hz-15kHz, 为 DD (双音频模式, 两声道均有信号) 模式, 电平为-20dB。
- 谐波失真, 属于多频道预加重后等幅信号, 对其信号频率要求为 40Hz-7.5kHz, 为 DD 模式, 电平为-11dB。
- 声音通道的动态范围, 属于单频信号, 对其信号频率要求为 1kHz, 为 DD 模式, 电平为-60dB。
- 串音, 属于多频道预加重等幅信号, 对其信号频率要求为 40Hz-15kHz, 为 DO (双音频模式, 仅 A 声道有信号) 模式、或 OD (双音频模式, 仅 B 声道有信号) 模式、或 OS (立体声模式, 仅 A 声道有信号) 模式、或 OS (立体声模式, 仅 B 声道有信号) 模式, 电平为-20dB。
- 左、右声道之间的相位差, 属于多频率预加重前等幅信号, 对其信号频率要求为 40Hz-15kHz, 为 SS 模式, 电平为-20dB。
- 音频信号的信噪比, 属于单频信号, 对其信号频率要求为 1kHz, 为 DD 模式, 电平为-11dB。
- NICAM 数字声与 FM 模拟声的幅度差, 属于单频信号, 对其信号频率要求为 1kHz, 为 SS 模式, 电平为-11dB。

在上述测试项目中, (1)~(10)项与 1992 年国际电工委员会 IEC 制定的《采用 NICAM 双通道数字声系统多声道电视接收机的电测量》(IEC107-5) 中测量方法的项目编号相同。第(11)项是根据我国对 NICAM 接收机技术参数的要求而增加。

我国的一些电视台已经开始或正在积极准备进行 PAL-D 制的 NICAM 数字声广播。由于我国电视广播制式的特点, 无法直接套用它国的 NICAM 广播制式。因此, 在 PAL-D 制 NICAM 广播标准中, 确定载频位置、载频幅度、信号带宽 3 个重要参数将是十分关键的问题。依据我国电视广播制式, 要求 PAL-D 制 NICAM 广播既要兼顾 CATV 系统, 又要考虑对现有发射机的改造要尽可能的方便。因此, 在 PAL-D NICAM 标准中, 载频规定在 5.85MHz, PAL-D NICAM 载频相对于图像载频电平为-25dB, 带宽为 40%余弦滚降, 在这 3 个主要指标中, 载频位置是最重要, 也是最难确定的。

目前, 英国和我国香港地区使用 PAL-1 制 NICAM 广播方式, 其数字声中间载频为 6.552MHz, 相对于图像的电平为-20dB, 带宽为 100%升余弦滚降; 瑞典、挪威等使用 PAL-B/C 制 NICAM 广播方式, 其数字声中间载频为 5.85MHz, 相对于图像的电平为-20dB, 带宽为 40%升余弦滚降。还有一些国家采用了 NICAM 制广播, 其数字声中间载频为 5.85MHz, 相对于图像的电平为-27dB, 带宽为 40%升余弦滚降。

### (1) NICAM 信号的产生

NICAM 信号的产生, 主要基于 CCITT 国际电报电话咨询委员会规定的 J17 建议中给出的预加重特性标准。其频率特性如图 2-6 所示。当有音频信号并且分为左、右两个声道或 A、B 两路送入 NICAM 信号编码器时, 首先要经过预加重网络进行处理, 再进入模/数变换电路, 如图 2-7 所示。音频信号首先经预加重处理的目的是使音频信号在模/数变换和电视恢复等过程中产生的噪声得以降低。音频信号经预加重处理后, 又经 1.5kHz 低通滤波器进行滤波, 以避免取样时产生的频谱折转混叠。音频中的两路信号经各自的预加重和低通滤波后, 一同送

入模/数转换电路，进行二进制数码编程。在这一过程中，音频的取样频率为 32kHz，带宽为 16kHz，产生的二进制数据为 14bit。

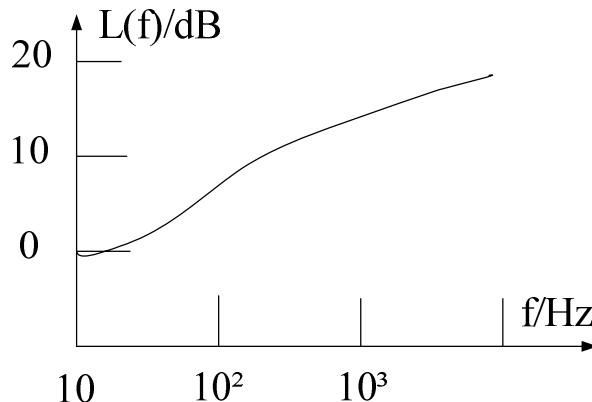


图 2-6 CCITT J17 建议预加重曲线

14bit 的音频信号码流，经压缩器压缩到 10bit 后再加入 1bit 的奇偶校验位，使之形成 11bit 的信号码流。然后送入位元交织电路。1bit 的奇偶校验位的作用，是为电视接收机中的解码器提供检查错误的依据，以使解码器正确无误地恢复原始信号。

为防止干扰和提高系统的稳定性，减少出现多位误码对所传数据造成的影响，对数据信号施以“位元交织”处理，即把原来的数据码序打乱，再按一定的规则重新排列。这样经过交织后的信号码流，即使在传输和接收机产生若干位的连续差错，在解码器中经交织处理恢复原来的数据次序，这些误码将分散到不同的取样值中去，从而使一个样值中出现多个错误的概率大为下降，提高了信号的抗误码能力。

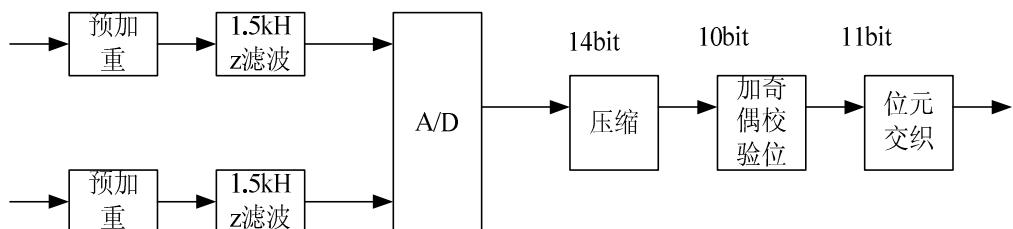


图 2-7 NICAM 信号编码方框图

## (2) NICAM 信号的发射

由 NICAM 信号编码产生的二进制数据流，要与 AM 图像和 FM 模拟声音一起发射出去，供接收端使用。但是，如果只是随意对其进行叠加，必将造成相互干扰，为此，为降低数字声信号调制载波能量对 FM 模拟声音信号和图像信号的干扰，对交织后的数据流还要进行扰码处理，即向已经交错的数据加入伪随机二进制的数据流，以及 40% 的余弦滚降型滤波。

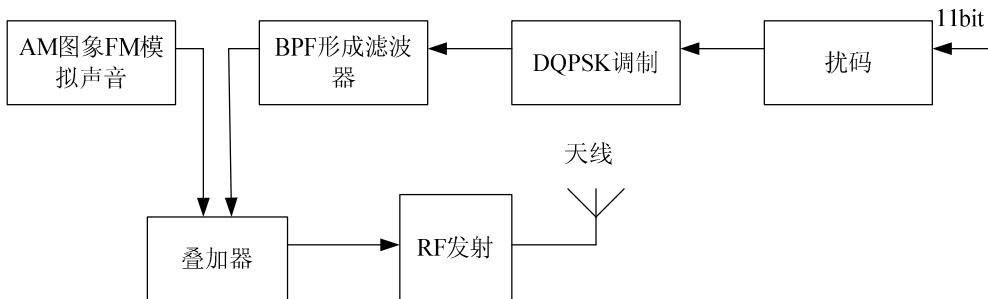


图 2-8 NICAM 信号调制、叠加、发射方框图

当脉冲数字编码完成后，主要是对其进行调制。调制方法主要采用差分正交相移键控（DQPSK）数字调制方式。调制后的数字声信号和调频的模拟声音信号及调幅的图像信号进行相加，由 RF 发射机通过天线发射出去。其工作方框图如图 2-8 所示。

### (3) NICAM 信号的解调

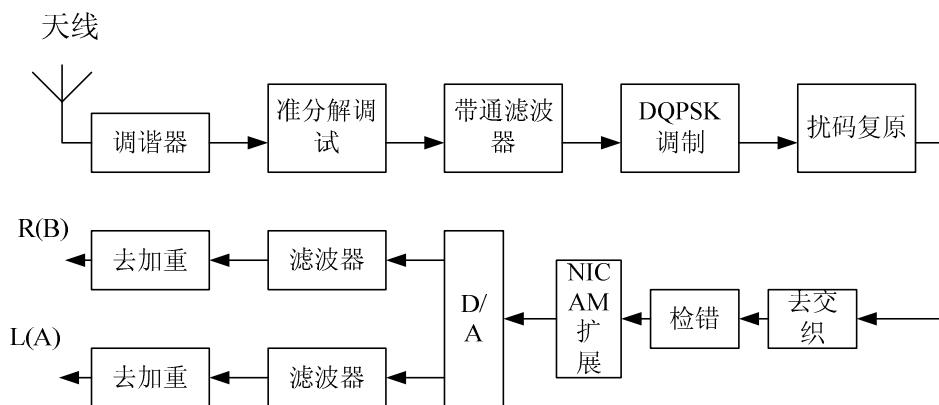


图 2-9 NICAM 信号解调方框图

当 NICAM 的 RF 信号被接收机接收后，必须要由解码器将其数据码流还原来模拟音频信号，才可听到美丽的声音。为此，数字声信号，首先要经调谐器进入准分离声音解调电路，得到中心频率为 5.65MHz (PAL-D 制 NICAM) 的数字载波信号，然后再送到数字处理通道。如图 2-9 所示。

在数字声处理通道中，由 DQPSK 解调出 NICAM 信号码流，再经扰码复原电路，取出数据流中的随机数据。然后根据存储器中保存的管理程序去掉交错恢复位元顺序，变成原来的 11 位字，然后再按数据发送的标定系数把这些字扩展 成 11 位字的形式，并在奇偶校验位的基础上纠正错误，解码后获得 14bit 的实时数据流，它含有左、右声道或 A、B 声道的信号。利用数/模变换，还原出声音信号。

## 2.5.2 两倍速扫描的基本原理

随着数字处理电路在电视技术中的应用，电视机在性能和功能上发生了很大的变化。如数字化的丽音接收电路、数字化的梳状亮色分隔电路及数字化画质改善电路等，都极大地改善了模拟电视的诸多不足。

现行的彩色电视机都采用隔行扫描方式，每幅图像由偶数场和奇数场均匀镶嵌而成，尽管场频为 50Hz 或 60Hz，但每帧频率应为 25Hz 或 30Hz，使屏幕上亮度较高的细节处产生行间闪烁，易使观众的眼睛产生疲劳。为了消除普通电视制式由于场频低带来的图像大面积闪烁，一些电视机生产厂开始引入了倍场频数字处理技术。

### 1. 倍速扫描的提出

自从 1948 年英国的 D.Gabor 首先提出全息摄影原理，以及 1962 年美国的 Leith 和 Upatnieks 提出两光束全息摄影术以来，电视界一直为追求仿全息三维立体电视而努力。直至 1985 年日本松下公司首先研制成功了时分式立体电视，实现了人们梦寐以求的愿望，使同步接收 25 场/s 的奇数场和偶数场的左右图像变为现实。但是在现有 50Hz 或 60Hz 的电视制式场频下，由于隔行扫描，每幅立体图像由奇数场（L）和偶数场（R）图像组成，使左、右眼每秒钟各接收 25 场或 30 场图像，而普通电视左、右眼每秒钟同时接收 50 场或 60 场图像，因此，时分式立体电视较普通电视将产生很大的闪烁现象。而且，当图像的黑白反差太大，形成大的白底图像时，闪烁更为严重，这就为时分式立体电视走向市场形成了一个极大的障碍。

为了解决立体电视中的图像闪烁现象，使之有与普通电视图像相当的感受，人们设想如果能将扫描场频增加一倍，即由 50Hz 或 60Hz 增加到 100Hz 或 120Hz，那么时分式立体电视图像，对左（右）眼每秒将接收 50 场或 60 场图像，与普通电视毫无区别，从而可以有效地消除闪烁现象，使三维产生一种全新的视觉享受。

综上所述，倍速扫描是基于时分式立体电视的闪烁现象而提出的

### 2. 场频的倍频转换

场扫描的倍频转换技术是一种数字式的场频转换技术，它把 PAL/NTSC 制式的 50Hz/60Hz 场频的信号，通过存入数字式的存储器 DRAM，采用“慢存快取”的办法，即读出挥钟频率是存入时钟频率的 2 倍，以实现信号场频的倍频转换，从而成为场频为 100Hz/120Hz 的视频信号。

采用数字处理技术设计而成功的 100Hz 扫描电视，消除了普通电视制式由于场频低带来的图像大面积闪烁，减轻了长时间收看给电视观众带来的眼睛疲劳；提高了图像的垂直清晰度，是普通模拟电视制式场频过低缺陷的极好弥补。

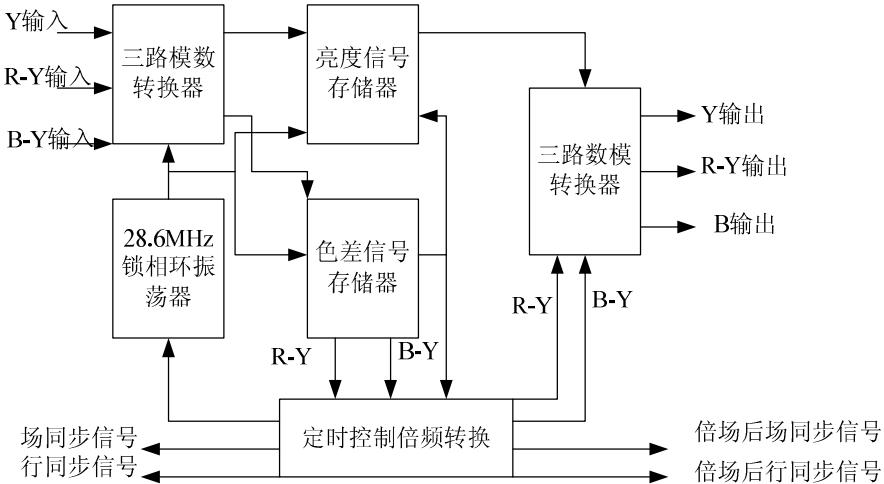


图 2-10 倍频转换工作原理方框示意图

100Hz 扫描电路主要由视频存储器、模数转换电路（ADC）、数模转换电路（DAC）、倍频转换电路及时钟控制电路等组成，如图 2-10 所示。在低场频制式电视中，主要是图像闪烁易使人们的视觉疲劳，因此，倍场频的关键技术是如何使图像中的亮度（Y）信号和色差（R-Y、B-Y）信号完成数字格式的场倍频转换。

从视频处理电路输出的亮度信号 Y、色差信号(R-Y)和(B-Y)，首先由 7.0MHz 和 3.5MHz 低通滤波器进行必要的滤波，然后分别送入三路模/数转换器，在由锁相环振荡器提供的 14.3MHz 采样脉冲作用下，转换成 8bit 数据流。

锁相环振荡所产生的频率为 28.6MHz，在向二路模/数转换器提供采样脉冲前，通过 1/2 分频后得到 14.3MHz 频率脉冲。输出的亮度数据流直接送入亮度信号存储器，进行一场的信号存储。输出的两色差信号数据流以时分复用的方式输入到色差信号存储器，进行一场存储。28.6MHz 锁相环振荡器经 1/2 分频后输出的 14.3MHz 时钟频率，除一方面提供给三路模/数转换器外，另一方面还同时送入亮度信号存储器和色差信号存储器。因此，这就决定了亮度信号存储器和色差信号存储器的写入存储器频率为 14.3MHz，当亮度信号存储器和色差信号存储器在读出数据时，其时钟控制则由定时控制倍频转换器控制，此时的时钟频率为 28.6MHz。由于存储器的写入时钟信号是 14.3MHz，而读出的时钟信号是 28.6MHz，因而亮度信号和两色信号在慢写快读的作用下就分别完成了数字格式的场倍频的转换。

由亮度信号存储器输出倍场亮度信号数据流再由三路数/模转换器转换成模拟的亮度信号，经 14MHz 低通滤波送到后级解码电路。由色差信号存储器输出的倍场色差信号数据流，在定时控制倍频转换系统的时分复用的解调作用下，将 R-Y 信号数据流和 B-Y 信号数据流送入三路数/模转换器，使其成为模拟的色差信号，再由 7MHz 低通滤波器滤波后，送到后级的信号处理电路。

定进控制倍频转换系统在 28.6MHz 时钟频率及原始行、场同步信号的控制下产生倍场后的场同步信号和行同步信号，以使倍场频后的电视机的行场扫描同步，图像画面稳定。

### 2.5.3 I<sup>2</sup>C 总线的控制技术

I<sup>2</sup>C 总线，是 INTER-IC 串行总线的缩写。INTER-IC 原文大意是用于相互作用的集成电路，这种集成电路主要由双向串行时钟线 SCL 和双向串行数据线 SDA 两条线路组成，由荷兰飞利浦公司于 80 年代研制开发成功，并先后用于音频、视频集成电路及中央控制中心，使数字技术扩展了彩色电视机的遥控功能，为开发 16:9 高清晰度数字彩色电视机奠定了基础。I<sup>2</sup>C 总线在传送数据时其速率可达 100kbps，最高速率时可达 400kbps，总线上允许连接的设备数主要决定于总线上的电容量，一般设定为 400pF 以下。I<sup>2</sup>C 总线主要在微处理器的控制之下，因此通常称微处理器是 I<sup>2</sup>C 总线的主机。在一台数字技术的设备及彩色电视机中，总有受控于微处理器的设备或各种功能电路，而这些受控电路也被接入 I<sup>2</sup>C 总线，因此习惯上总称受控设备及功能电路为 I<sup>2</sup>C 总线的从机。这种主机与从机之间的连接通常是在总线的输出端，而输出端的电路结构为 I<sup>2</sup>C 总线的从机。这种主机与从机之间的连接通常是在总线的输出端，而输出端的电路结构又总是开漏输出或集电极开路输出。

通常数据传送要由主机发出启动信号和时钟信号，向所控从机发出一个地址、一个读写位和一个应答位，其中地址位为 7 位数据，在实际控制中，一般一次只能传送一个 8 位数据，并以一个停止位结束。

在实际应用中，往往被传送的数据位数会超过 8 位，也就是说总会有多个字节传送，这时必须在传送数据地址结束后再传送一个副地址。因此，被传送的字节没有限制，但每一个字节后面必须有一位应答位。应答位通常被设定在低电平，当应答位处于高电平时，指示被传送的数据已结束。

I<sup>2</sup>C 总线在空闲状态时，也就是不在进行任何操作控制时，数据线 SDA 和时钟线 SCL 总是处于高电平输出状态。当操作控制系统时，I<sup>2</sup>C 总线的主机将发出启动信号，使数据线 SDA 由高电平变为低电平，同时时钟线 SCL 也发出时钟信号。I<sup>2</sup>C 总线在传送数据时，总是将最高位数码放在前面作为其特有的传送顺序。在数据传送过程中，如果从机在完成某一操作之前不能接收下一个字节数据，即数据中断，这时时钟线 SCL 将被置至低电平，从而迫使发送器主机进入等待状态，当接收器从机准备好接收下一个字节时再释放时钟线 SCL，继续传送数据。

在 I<sup>2</sup>C 总线的控制系统中，有时从机也可以是多台微处理器，在多台微机同时工作时，它们对总线的控制也由相似于时钟的同步方式进行仲裁，也就是说时钟的同步与仲裁过程是同时进行的，不存在因是主机而有优先权次序。不同速度的从机可以接在同一 I<sup>2</sup>C 总线上完成相互间数据的传送。高速方式芯片和普通芯片可以混合于同一 I<sup>2</sup>C 总线上。

近年来，由于 I<sup>2</sup>C 总线只有两根控制，并且具有很强的自动寻址、多微机时钟同步和仲裁等功能而受到各半导体集成电路厂商的普遍应用。如在众多彩色电视机由普遍采用的由 I<sup>2</sup>C 总线控制的超大规模集成电路 CXP80420（中央处理器）、SAA5243、SA5445（图文数据广播处理器）、TA8783N、TA8880、TA8772（彩色多制式视频/色度/偏转信号处理器），以及 UPD6254CX、PCF8582A（存储器），TA8739P、TA8859、TA8889（偏转处理器），TA8777N（AV 开关）、TA8776N（声音处理）、TDA8415（立体声/双伴音处理器）等。

目前，国内外众多电视机生产厂普遍采用了具有 I<sup>2</sup>C 总线控制功能的集成电路，从而也就推出了具有 I<sup>2</sup>C 总线控制的彩色电视机。例如日本东芝公司生产的东芝 2518 型彩色电视机、东芝 2918 型彩色电视机，日本索尼公司生产的大屏幕彩色电视机，我国天津通信广播公司生

产的北京 8340，四川长虹电器股份有限公司生产的长虹 C2919PV、长虹 C2939KV 彩色电视机等。

由于 I<sup>2</sup>C 总线在控制过程中，主要完成的是能够代表启动信号、地址、读/写位、应答位等的数据流的数据传送，因此，在商业竞争中，人们习惯于称呼由 I<sup>2</sup>C 总线控制的彩色电视机为“数码彩电”。

事实上 I<sup>2</sup>C 总线的控制方法，主要是 I<sup>2</sup>C 总线对专用芯片配以相应地址，使被控集成电路中都含有自己的随机存储器 RAM，而每一个 RAM 都有自己的地址，也就是被控制器中的副地址，用以对指令进行写入和读出。在分配给专用芯片的地址中，主要包含固定地址和可编程地址，其数码位数为 7 位。可编程地址的位数在很大程度上决定了连接到 I<sup>2</sup>C 总线上的同一型号芯片的最大数目。

因此，I<sup>2</sup>C 总线的建立，为产品的升级提供了可能，但它不就此改变了模拟电视的传输模式，也不就此改变了彩色电视机接收模拟信号的性质。当然 I<sup>2</sup>C 总线控制的最新器件可以改变传统的彩色电视机的接收、处理等模式，但它需要电视、数字电路于一身的功能结构，及多项高新技术于一体的设备。

### 1. I<sup>2</sup>C 总线的特点与特性

I<sup>2</sup>C 总线与传统的 PWM 调宽脉冲相比较，其最大的特点是串行数据线和时钟线都是双向传输线。I<sup>2</sup>C 总线在实际电路的应用中，两个线各自通过一个上拉电阻连接到电源电压的正极端，当总线空闲时，数据线 SDA 和时钟线 SCL 必须保持高电平，同时各接口电路的输出又必须是开路漏极或开路集电极，因此 I<sup>2</sup>C 总线的最大特性是在地址信息传输过程中，既可以是主控器也可以是被控器，或既可以是发射器又可以是接收器，从而为挂在总线上的各集成电路或功能模块完成各自的功能提供了极大方便。

如果 I<sup>2</sup>C 总线用作主控器电路即微处理电路，则在总线上将提供时钟传送及初始化的数据传输，而控制数据信息传送的对象、方向及传送的终止也由主控器来决定。在 I<sup>2</sup>C 总线上被主控器所寻址的集成电路或功能模块，称之为被控器。在 I<sup>2</sup>C 总线上，被控器每接收一个“数码”后都要在数据线上给主控器发送一个识别应答信号，以示完成一个控制功能。因此，I<sup>2</sup>C 总线具有十分灵活的运用性。并且还具有多重主控的能力，如多个作为主控器去控制占用总线的电路，都可以根据在 I<sup>2</sup>C 总线上进行数据传送的工作状态，被分为主控发送器、主控接收器、被控发射器、被控接收器。在多重主控能力中，由于总线的仲裁过程，I<sup>2</sup>C 总线的时钟信号将是各试力占用总线的各主控器的时钟信号的同步组合。所谓仲裁是在多个主控器试图同时控制总线时一个裁决过程，它只允许其中的一个主控器继续占用总线，并保证在整个过程中总线上的数据不会被丢失或出错误；所谓同步是将两个或多个器件的时钟信号进行处理。

I<sup>2</sup>C 总线上的时钟信号是由主控器产生，每个主控器在占用总线传送数据期间都有自己的时钟，因此，在应用中，由一个主控器产生的 I<sup>2</sup>C 总线时钟信号只可能被一个低速的被控器或另一个主控器改变。然而，一个低速的被控器可将串行时钟线保持低电平，以延长总线时钟信号的低电平周期，使高速的主控器和低速的被控器达到同步，因此，当总线上正在进行仲裁时，另一个主控器也能改变总线的时钟周期。

## 2. I<sup>2</sup>C 总线的控制基础

由于在 I<sup>2</sup>C 总线中的多主控器的控制权总是相互竞争，并且在相互竞争中进行寻址和数据发送，因此总线上没有中央微处理器，也没有任何优先级。在 I<sup>2</sup>C 总线上进行数据传输时，所有的主控器都会在串行时钟线上产生自己的时钟信号，而且只有当时钟线上的信号处于高电平时，数据线上的数据才是有效的。因此，当各主控器向总线上输出各不相同的时钟频率时，只有通过仲裁过程，才可使总线上有一个统一的时钟信号。只有总线上的时期线上的一种“线与”连接和双向传输特性来实现的。因此，I<sup>2</sup>C 总线的控制基础主要是仲裁过程和时钟同步。

在总线的仲裁过程中，一旦有一主控器输出一个低电平时钟信号，则串行时钟线将由此变为低电平，直到该主控器时钟信号的高电平状态到来，数据信号才开始传送。在总线上这个时钟线的电平转换，将影响所有主控器的时钟信号低电平周期的计时。事实上，当一个主控器的时钟信号由低电平向高电平转换时，它可能并不会改变串行时钟线的低电平状态，因为此时可能有另一个主控器仍然处于时钟低电平周期。也就是说，在 I<sup>2</sup>C 总线控制中，时钟线将由时钟低电平周期最长的主要控器保持为低电平状态，而其他时钟低电平周期较短的主控器则将相继进入时钟高电平等待状态。只有当总线上的所有主控器都结束了时钟低电平周期的计时后，时钟线才被完全释放，即时钟线的状态达到一致高电平状态。

当所有主控器时钟信号都进入高电平状态后，便开始了各自的时钟信号高电平周期计时。当有一个主控器的时钟高电平状态计时结束时，这个主控器将再次使 I<sup>2</sup>C 总线上的时钟线 SCL 处于低电平状态。从而，在总线的仲裁过程中，使时钟线通过各主控的时钟输出产生一个统一的时钟同步信号成为现实。

简言之，在多重主控器的 I<sup>2</sup>C 总线上，时钟线信号的低电平周期由时钟信号低电平周期最长的主控器决定，而时钟线信号的高电平周期则由时钟信号高电平周期最短的主控器决定。在 I<sup>2</sup>C 总线中，具有主控能力的器件的数据传输和寻址也是在仲裁中进行的。当有多个主控器企图同时占用总线传输数据时，根据 I<sup>2</sup>C 总线的规约它们之间会有一个仲裁过程，以决定谁将占用总线。仲裁是在时钟线 SCL 为高电平时，根据数据线 SDA 的状态进行的。因此，仲裁过程和时钟电平、数据线状态是相辅相成的。也正是这种相辅相成的机制，使在总线仲裁过程中，当有其他主控器在数据线上发送低电平时，发送高电平的主控器将会发现此时数据线上的电平与其输出电平不一致，从而被裁决失去总线的主控权，并立即关闭其数据输出。仲裁过程可以持续许多位，以对多个主控器正在企图寻址同一电路的事件进行判决。如果一个主控器在发送某一字节期间被裁决失去主控权，则它的时钟信号可继续输出，直到整个字节发送结束为止。如果主控器在其寻址阶段被仲裁决定失去主控权，则该主控器必须立刻进入被控接收器状态，以判决被仲裁决定获得主控权的主控器是否正在对它进行寻址。产生数据的主控器一旦发现内部数据电平与数据总线的实际电平之间有差异，则它的输出将被立即关闭，随即在总线上输出一个高电平，这就不影响获得主控权的主控器所进行的数据传输，总线上的寻址和数据传输等住处也不会丢失。因此，I<sup>2</sup>C 总线的仲裁过程使 I<sup>2</sup>C 总线上的数据传输得以顺利进行，为多种控制功能的实施奠定了良好的基础。

## 3. I<sup>2</sup>C 总线的传输

I<sup>2</sup>C 总线的传输是一个比较复杂的数码传输，它主要是以 18bit 的字节进行数据传输，而传输时又总有一个时钟脉冲相对应，因此，I<sup>2</sup>C 总线的数据传送实质上是个脉冲串的传输，

其传输格式如图 2-11 所示。图中 1 为字节传送完成接收器内产生中断信号，2 为当处理中断服务时时钟线保持低电平。

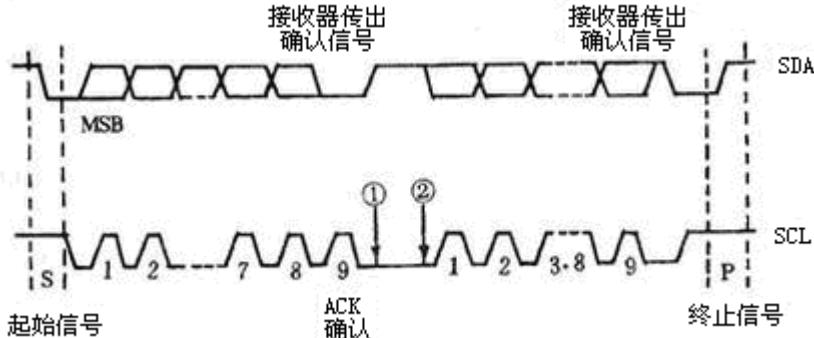


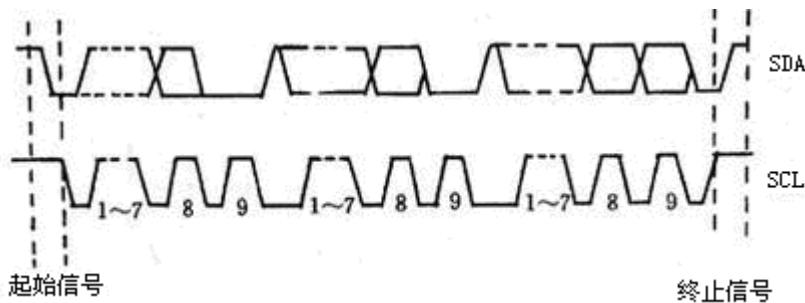
图 2-11 I<sup>2</sup>C 总线传输脉冲

在 I<sup>2</sup>C 总线上，每一个数据中，逻辑“0”和逻辑“1”的信号电平取决于相应的正端电压。I<sup>2</sup>C 总线在进行传送时，在时钟信号为高电平期间，数据线上的数据必须保持稳定，只有在时钟线上的信号为低电平期间，数据线上的高电平或低电平状态才允许变化。这就保持了数据传输的有效性。

在时钟线保持高电平期间，由于数据线由高电平向低电平的变化是一种稳定的状态，所以就将其状态规定为起始条件；而当时钟线保持高电平期间，数据线是由低电平向高电平变化，则规定为停止条件。只有 I<sup>2</sup>C 总线中主控器产生起始条件和停止条件两个信号时，总线才会被认为处于“忙”态或“闲”态，从而准确控制了比特位的传送。

在 I<sup>2</sup>C 总线上，比特位传送字节的后面都必须跟随一位确认位，或称跟随一位应答位。并且数据是以最高有效位首先发出。但是，当正在进行数据传输的接收器收到完整的一个数据字节后，有可能还要完成一些其他的工和，如处理一个内部中断服务等。在这种情况下就有可能无法立刻接收另一字节的数据，因而，此时接收器可以通过总线上的时钟保持为低电平，从而使发送器进入等待状态，直到接收器准备好接收新的数据，而接收器通过释放时钟线使数据传输继续进行，正是 I<sup>2</sup>C 总线能允许其他总线的数据格式进行传输，才有一个特殊寻址开始的信息传输，以及通过对总线产生一个停止信号进行停止。

当一个字节的数据能够被总线上的一个已被寻址的接收器接收后，总线上的设备要产生一个确认信号，并在这一位时钟号的整个高电平期间，使数据保持稳定的低电平状态，从而完成应答确认信号的输出。确认信号通常是指起始信号和停止信号，如果这个信息是一个起始字节，或是总线寻址，则总线上不允许有应答信号产生。如果因某种特殊情况，被控器不对应的被控寻址进行确认回答，则必须将数据线置于高电平，然后主控器可以通过产一个停止信号来结束总线的数据传输。如果被控接收器对被控寻址做出了确认应答，但在数据传输的一段时间以后，又无法继续接收更多的数据，则主控器也将停止数据的继续传送。因此，被控接收器可以通过对无法接收的第一个数据字节不产生确认应答信号来通知主控器，即在相应的应答信号时钟位上将数据线置于高电平，主控器则在总线上产生停止信号，从而结束数据的传送。

图 2-12 I<sup>2</sup>C 总线数据格式

注：1~7 为地址位；8 为读/写位；9 为应答位

在 I<sup>2</sup>C 总线上，它的数据传输总有一些规约要求，例如，起始信号的后面总有一个被控器的地址。被控器的地址一般规定为 7bit 的数据，数码中的第 8 比特是数据的传输方向位，即读/写位。一个完整的 I<sup>2</sup>C 总线传输格式如图 2-12 所示。

在读/写位中，如果是“0”，则表示主控器发送数据，也就是执行“写”的功能；如果是“1”，则表示主控器接收数据，也就是执行“读”的功能。而数据的每次传输总是随主控器产生的停止信号而结束。而 I<sup>2</sup>C 总线中，有时主控器希望总占用总线，并不断进行数据传输，因此，在设定规约时，可以在不首先产生信号的情况下，再次发出起始信号对另一被控器进行寻址。为解决这一问题，可以采用多种读/写组合形式来进行总线的一次数据传输。在多种读/写组合形式中，主要有三种措施，其中：

- (1) 主控发送器向被接收器发送数据，数据传输方向在整个传输过程中不变。
- (2) 主控器在第一个字节后立即从被控制器读数据，在首位确认应答信号产生后，主控发送器变成主控接收器，而被接收器变成被控发送器，同时首位应答信号仍由被控器产生，使停止信号总是由主控器产生。
- (3) 数据传输过程中的复合格式需要改变传送方向时，起始信号和被控器地址都会被重复产生一次，但两次的读/写方向正好反相。

总之在 I<sup>2</sup>C 总线上，通过接口电路收到起始信号后，必须复位它们的总线逻辑，以使被控制器地址的传输得以预处理，从而完成对各不相同功能电路的控制。

#### 2.5.4 IM 总线的控制技术

在 80 年代初至 90 年代末期的近 20 年的数字电视的发展进程中，彩色电视机中的核心器件中央微处理器的应用，在专用总线的设计上，有着不断的发展。1981 年德国电报电话公司 (ITT) 研究成功了以 DIGIT-2000 系列超大规模集成电路为主体的用于数字电视中的专用器件，为数字彩色电视接收机的产生提供了物质基础，而 Intermetall 公司研制开发的控制总线则在 DIGIT-2000 系列芯片之间，对各种数字信息的读/写操作以及查询处理、协调工作等起了重要作用，习惯上称这种控制总线为 IM 总线。

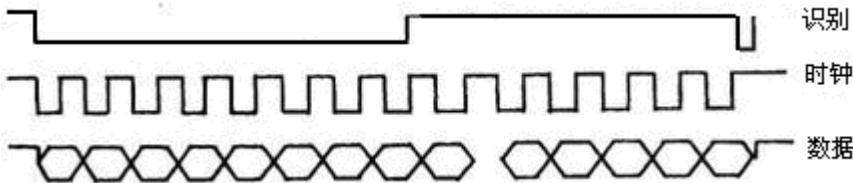


图 2-13 IM 总线示意图

IM 总线是整机的主要信息通道，它主要由 Clock 时钟线、Ident 识别线和 Data 数据线三条信号线组成，如图 2-13 所示，其中时钟线和识别线都是单向的，只有数据线是双向的。IM 总线将中央控制器 CCU 和被控外围电路连接起来，它的最高时钟频率为 170kHz。在 IM 总线中，其数据传输也是通过漏极开路的方式来实现的，由 CCU 提供公共的上拉电阻，其阻值约为  $2.5\text{k}\Omega$  左右。在 IM 总线处于空闲时，识别 I、时钟 C、数据 D 三线都是高电平，只有 I 和 G 两线处于低电平时，总线上一个新的事件才能开始，首先由 D 线传送 8 位地址，当 I 为高电平时，传送 8 位或 16 位数据，传送顺序都是最低位 LSB 在前，当时钟上跳沿发生数据接收，一个传送事件完成时，I 线发出短脉冲信号，指示相应的总线接口进行所传数据的存储，IM 总线接口电路完成地址和数据的并串转换以及 IM 总线的激励。

在 Digit2000 系列的大多数功能芯片内部都有不同数量的寄存器，包括用来规定芯片的工作方式和工作参数的控制寄存器和反映芯片内部状态和处理结果的状态寄存器、数据寄存器。不同功能芯片的寄存器地址一般互不相同，在通常情况下，每个地址只对应一种访问方式，即要么是写入功能，要么是读出功能。但是，在实际电路中，有时情况比较复杂，需要先将某一序号写入地址，然后才可以进行数据传输。这种复杂通信，是因为有些功能复杂的芯片由于其内部寄存器较多，而系统又没有其一一分 IM 总线访问地址，故采用二次寻址的方式。例如：在 Digit2000 系列中 DPU2553 偏转处理电路，其地址就约定 34 为 HSP RAM 写入地址寄存器，而地址 35 为 HSP RAM 读出地址寄存器，地址 36 为 HSP 数据寄存器，地址 37 为 HSP 状态寄存器。如果要读出 HSP RAM 的内容，应先将其序号写入地址 35，在接下来的一个通信周期中对地址 36 进行读取，才能得到所需的数据；如果要写入 HSP RAM 的内容，则需先将其序号写入地址 34，再将数据写入地址 36。

在具有画中画或画外画的电路中，如果子画面电路与主画面电路有个别功能芯片的寄存器地址有冲突，如 VSP 2860 与 DPU2553 的大多数地址重复时，本机将利用 CCU 中央控制器提供的 PIP-ON 信号控制 CD4066 接成单刀双掷电子开关，使 IM 总线的数据线不同时接通主画面与子画面，从而避免了地址冲突。

在 IM 总线上，各功能芯片在通信时，是在每个时脉冲的上升沿接收地址码。当地址发送结束时 CCU 会令识别线再次变高，于是各功能芯片将收到的地址与本芯片内各寄存器地址作比较，从而确定唯一的被寻址芯片及下一步数据传输的方向。同样 CCU 也是根据该地址码确定收/发数据的长度是 8 位或 16 位，再发送相应数目的时钟脉冲。若该地址对应某一控制寄存器，则由 CCU 发送命令数据至被寻址的功能芯片；若该地址对应状态寄存器，则由相应的功能芯片将该寄存器中的数据送往 CCU，无论是哪种方式，数据传送完成后，CCU 会令识别线输出一个窄的负脉冲，标志一个总线通过过程结束。

综上所述，由于 IM 总线中的识别线和时钟线都是单向传输的，因此很容易驱动，在高清晰度电视机中已使用两上射极跟随器对其分别加以驱动，而对数据线由于是双向传输，

CCU 又没有给出方向控制信号，实现起来要复杂得多，通常是：在一个通信周期的前半部分，CCU 要向各功能芯片发送访问地址，这时数据线的传输方向总是由 CCU 向外；当地址发送结束后识别线变高，开始了数据传送过程。这时数据线的传输方向一般是由此前发送的地址码决定的，可能是由 CCU 向外输出，也可能从外部输入 CCU。显然，如能接收此前 CCU 发送的地址码，再结合有关各地址数据传输方向和长度等方面的先验知识，就能够知道通信周期后半段的数据传输方向，进而实现双向驱动。从原理上讲，可以使用移位寄存器接收地址码，用 EPROM 查表法得到传输方向控制信号，但考虑到前面提过的二次寻址问题，即传输方向还可能受上一通信周期中访问地址的影响，单纯用硬件实现电路势必复杂。因此，通常是通过采用软件硬件配合的方式来完成双向驱动和监测。

有关软硬件设计原理这里就不再介绍。

### 2.5.5 模糊技术的应用

随着科学技术的不断发展，模糊技术已成功的应用到数字彩色电视机中。这一新领域的理论基础源于 1965 年美国加利福尼亚州立大学伯克利分校 Zedeh 教授提出的模糊集合和创立的模糊逻辑。这一新的概念在我国已开始引起人们的极大关注，它将是 21 世纪人工智能取得重大发展的突破口之一。自从模糊逻辑创立以来，其模糊技术在电子工业，特别是家电产品得到了广泛的应用，并十分成熟起来，从而打破了精确逻辑一统天下的历史。

那么，什么是模糊逻辑呢？模糊逻辑又会实现怎样一个目的呢？

所谓模糊逻辑，就是一种能够在容许定义的二值之间的模糊地带，有选择地正确执行某一指令的技术，又称模糊技术。微处理器采用模糊逻辑之后，其控制能力更接近人类的思维方式。比如，70 岁以上的人是老年人，那么 69 岁的人是不是老年人呢？这一问题如果用精确逻辑推算就只能确认 70 岁的人为老年人，而在现实生活中人们对 69 岁的人肯定也会尊为老年人，这就出现了智能上的差异，模糊逻辑正在于实现这种人工智能。

随着人类社会的发展，问题日益高度复杂，测量和计算的高精确度已走向其反面，常规的自动控制要求数据高度准确，一旦有错可能导致整个系统失灵。而采用模糊逻辑控制，一处出点错即纠正，不会拖累全局，故系统稳定，容错性好。

模糊技术运用在彩色电视机的中央微处理器中时，将会建立 I<sub>2</sub>C 总线控制，使电视机智能化。我们知道，在收看电视节目时，如果观看距离远且房间明亮，应强调轮廓的亮度，而在观看距离近且房间较暗的情况下，则强调细节的表现力。于是人们希望在房间亮度和观看距离等客观条件变化时，能够通过对亮度和对比度的控制来实现层次感的控制，并同时通过改变速度调制和清晰度来控制立体感。在大量的实践中，人们确认这样一种电视图像能够使观众较长时间看电视而不产生视觉疲劳，同时又有合适的对比度感。然而这其中的“亮暗”、“远近”以及“层次对比”等却是一个十分模糊的概念，这种什么样算亮、暗，什么样算远、近的模糊性质，是以往的精确控制无能为力的，对比，模糊控制技术却可以使你满意。但这是非常高的现代科学技术。

目前彩色电视机的电脑模糊控制器已经诞生，并应用在彩色电视机中。它是一种以模糊逻辑算法、模糊识别和模糊判决为核心的智能化系统。它通过硬件电路把环境参数采集下来，经软件和硬件系统快速处理后，对彩电的画面亮度、对比度和音量进行自动调整，以使观众

获得最佳视听效果和节电效益。如广东茂名地区的高州模糊控制技术集团公司开发并生产了FC-1D型彩电电脑模糊亮度，自动调节电视机画面的亮度和对比度，起到“光程眼”的作用。

(1) 通过光电传感器，测量环境亮度，自动调节电视机画面的亮度和对比度，起到“光程眼”的作用。

(2) 通过超声波测距，判断手持遥控器的人与电视机的距离，从而自动调节电视机的音量大小，也可据此自动调节电视机画面的清晰度、亮度以及对比度等参量，以达到最佳视听效果。

(3) 实现无人观看时自动关机，它既可直流关机，也可经遥控后交流关机。

其主要性能指标有：

- 环境照度在 0~180lx 时，电视画面亮度及对比度控制电压的相应值为 1~4V；
- 测距范围在 1~8m 时，电视伴音控制电压的相应值为 2~3.5V；
- 晶体振荡频率为 6Mhz；
- 超声信号频率为 40Mhz；
- 工作环境温度为 -10℃ ~ +40℃；
- 相对湿度不大于 90%。

至今采用模糊控制的彩色电视机，国外品牌有日本三洋 C29ZS101 型以及日本松下大屏幕新画王系列彩电，它们都设计了一种人工智能电路。它所采用的模糊 AI 技术主要包含动态清晰度、动态减噪、动态彩色噪声抑制、动态彩色、动态图像和模糊图像控制等六部分内容。

另外，日本三洋公司还推出 74cm 及 84cm (29 及 33 英寸) 的“帝王”模糊控制大屏幕彩色电视机和 71cm (28 英寸) 的 16: 9 宽屏幕彩色电视机。前两种彩色电视机具有模糊逻辑图像控制，由电路不断监视室内亮度和观看距离，无论在明亮或黑暗的环境下都可自动调节出柔和、清晰的图像，并能减少图像中的噪波，从而产生极为逼真的图像。71cm (28 英寸) 的 16: 9 宽屏幕彩色电视机除具备上述高的清晰度和模糊逻辑图像控制外，还有立体声和 4 种画面可变模式。其 4 种模式为：

- 标准模式：此时荧光屏显示 4: 3 的画面；
- 恰好模式：扩展 4: 3 的电视画面以使荧光屏的图像逼真自然，适于观看体育节目和音乐会实况，增加临场感；
- 变焦模式：垂直和水平均匀扩大 4: 3 的画面，适合欣赏 16: 9 的电影录像带和广播；
- 横向模式：水平扩展 4: 3 的画面。

由我国航天工业总公司二院和北京牡丹电子集团公司协作研制的大屏幕模糊控制彩电样机于 1995 年 8 月已通过技术鉴定，并且经合作双方继续努力，到现在已具备大批量生产条件。因此，在不久的将来，国产模糊控制的大屏幕彩色电视机将推向社会，并且其性能和日本同类机相比会毫不逊色。

## 本章总结

学习完本章，学生应该掌握：

- ◆ 掌握电视技术的发展历史
- ◆ 掌握数字电视与高清晰电视概念
- ◆ 掌握数字的分类
- ◆ 掌握电视构架及

# 第3章 数字电视信源编码技术

## 本章目标

本章结束时，学生能够：

- ◆ 掌握数字电视信源编码概念
- ◆ 掌握数字电视信号参数
- ◆ 掌握数字视频压缩技术原理
- ◆ 掌握数字视频压缩标准

### 3.1 数字电视的信源编码概述

信源编码作为数字电视系统的核心构成部分，直接决定了数字电视的基本格式及其信号编码效率，决定了数字电视最终如何在实际的系统中实现。一个完整的数字电视系统包括数字电视信号的产生、处理、传输、接收和重现等诸多环节。数字电视信号在进入传输通道前的处理过程一般如下图 3-1 所示：

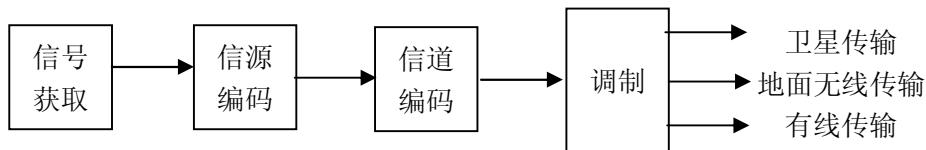


图 3-1 数字电视信号传输前处理

电视信号在获取后经过的第一个处理环节就是信源编码。信源编码是通过压缩编码来去掉信号源中的冗余成分，以达到压缩码率和带宽，实现信号有效传输的目的。信道编码是通过按一定规则重新排列信号码元或加入辅助码的办法来防止码元在传输过程中出错，并进行检错和纠错，以保证信号的可靠传输。信道编码后的基带信号经过调制，可送入各类通道中进行传输。目前数字电视可能的传输通道包括卫星，地面无线传输和有线传输等。

信源编码的目的是通过在编码过程中对原始信号冗余度的去除来压缩码率，因此压缩编码的技术与标准成为信源编码的核心。九十年代以来，各种压缩编码的国际标准相继推出，其中 MPEG-2 是专为数字电视《包括标准数字电视和数字高清晰度电视》制定的压缩编码标准。MPEG-2 压缩编码输出的码流作为数字电视信源编码的标准输出码流已被广泛认可。目

前数字电视系统中信源编码以外的其它部分，包括信道编码，调制器，解调器等，大都以MPEG-2码流作为与之适配的标准数字信号码流。

信源编码的第一步首先要对模拟电视信号进行取样和模数变换，相应的需要一个统一的标准。数字演播室标准 ITU-R601 正是为此制定的国际标准。

## 3.2 数字电视信号参数和演播室参数标准

### 3.2.1 亮度信号取样频率

根据奈奎斯特定理，取样频率应至少不低于信号最高频率的 2 倍。取样结构如下图所示，为便于进行信源编码，取样结构最好为正交结构，即每个取样点应与其相邻行和相邻帧对齐，这种结构的取样值在图像上沿垂直线按行、场、帧成固定的周期排列，在隔行扫描中图像相邻场相加时，水平与垂直清晰度都不受损伤，有利于行、帧间信号处理。

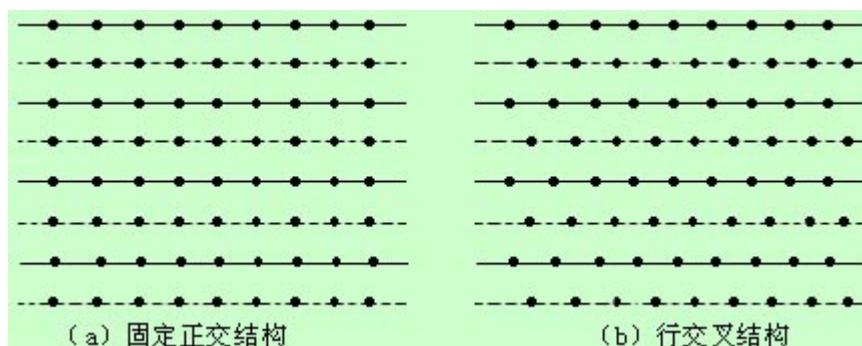


图 3-2 取样结构图

为此取样频率必须为行频的整数倍。标准中规定了编码信号为分量信号 Y、R-Y、B-Y，应该满足取样定理，即抽样频率应该大于视频带宽的两倍。亮度抽样频率为 525/60 和 625/50 三大制式行频（15625Hz 和 15734.265Hz）公倍数的 2.25MHz 的 6 倍，即亮度信号的取样频率定为 13.5 兆赫。

### 3.2.2 亮度信号每行取样数

$$\frac{13.5 \times 10^6}{15625} = 864$$

对于 625 行/50 场扫描制式的亮度信号，每行的取样点数为：  $\frac{13.5 \times 10^6}{15625} = 864$ ，对于 525

$$\frac{13.5 \times 10^6}{15734.265} = 858$$

行/60 场扫描制式的亮度信号，每行的取样点数为：  $\frac{13.5 \times 10^6}{15734.265} = 858$ 。为提高编码效率，去掉行场逆程的取样，得到降低了的每数字有效行取样数；建议两种制式有效行内的每行取

样点数亮度信号取 720 个。

### 3.2.3 色度信号格式

在 4: 2: 2 格式中，每个色差信号取样数为亮度信号的一半，取样频率定为 6.75 兆赫，

即  $fc_b = fc_r = \frac{1}{2} f_Y = 6.75MHz$  ，抽样频率之比  $f_Y: fc_b: fc_r = 4:2:2$  。色差信号 Cr 和 Cb 在水平方向抽样点数为 Y 的一半，而在垂直方向的抽样点数与 Y 相同，两个色度信号各取 360 个，并规定了取样结构是正交结构。这种格式主要用于数字普通清晰度电视（SDTV）演播室中。4: 2: 2 格式如下图 3-3 所示。

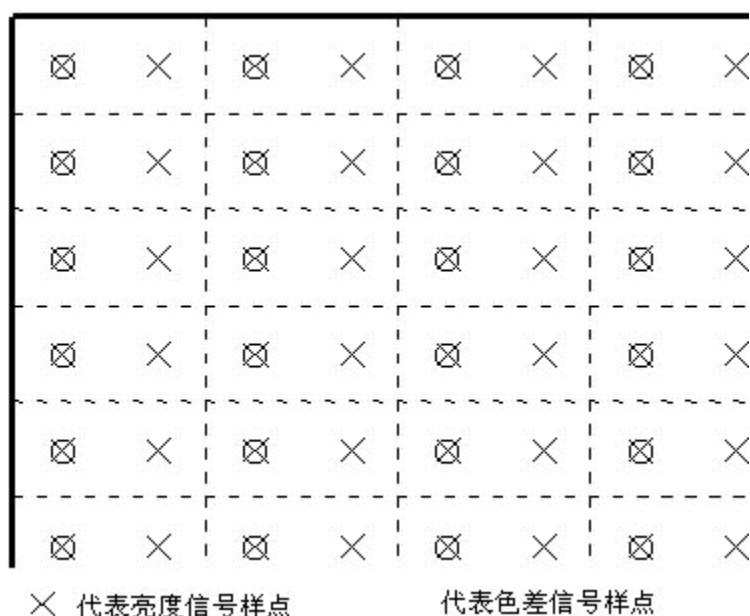


图 3-3 4: 2: 2 格式中亮度信号和色差信号样点得位置

当对信号源信号的质量要求更高时，可采样 4: 4: 4 格式，色差信号 Cr 和 Cb 的抽样频率均和亮度信号抽样频率相同，都是 13.5MHz，即  $fc_b = fc_r = f_Y = 13.5MHz$ ，抽样频率之比  $f_Y: fc_b: fc_r = 4:4:4$ 。色差信号 Cr 和 Cb 在水平方向和垂直方向上的抽样点数都和 Y 相同。4: 4: 4 格式如下图 3-4 所示。

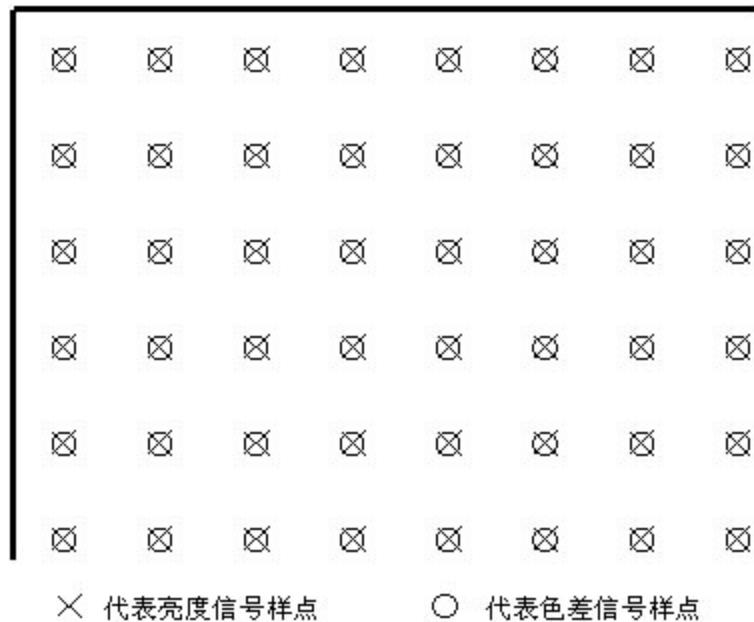


图3-4 4: 4: 4格式中亮度信号和色差信号样点得位置

在4: 2: 0格式中，色差信号C<sub>r</sub>和C<sub>b</sub>的抽样频率均为亮度信号抽样频率的四分之一,即：

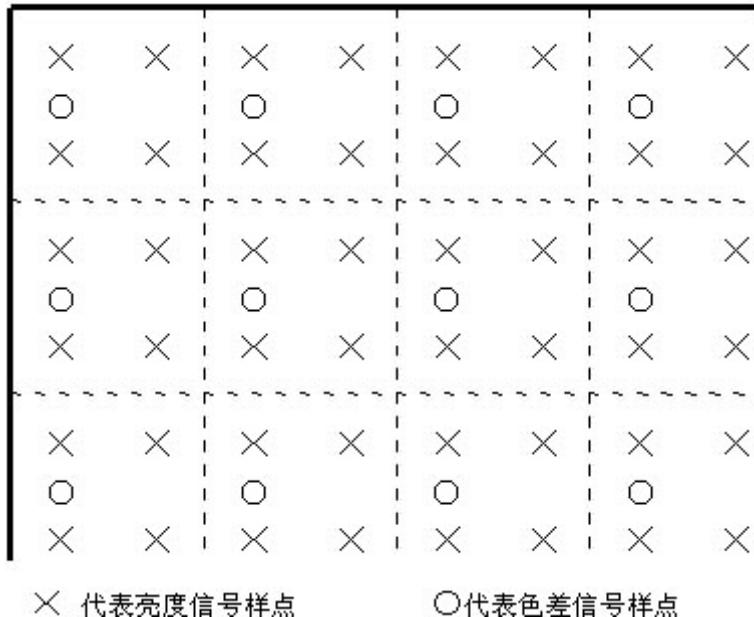
$$f_{c_b} = f_{c_r} = \frac{1}{4} f_Y = 3.375MHz, \text{ 色差信号} C_r \text{ 和} C_b \text{ 在水平方向和垂直方向的抽样点数均为} Y \text{ 的一半。}$$

这种格式也主要用于数字普通清晰度电视（SDTV）演播室中。4: 2: 0格式如下图图3-5所示。

在4: 1: 1格式中，色差信号C<sub>b</sub>和C<sub>r</sub>的抽样频率也均为亮度信号抽样频率的四分之一，

$$f_{c_b} = f_{c_r} = \frac{1}{4} f_Y = 3.375MHz, \text{ 亮度抽样频率和两个色差信号的抽样频率之比是：}$$

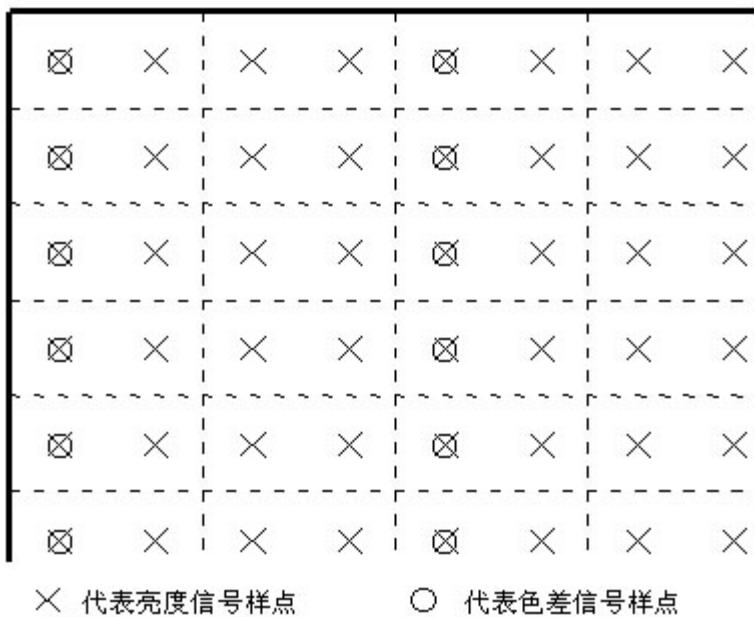
$f_Y : f_{c_b} : f_{c_r} = 4:1:1$ , 色差信号C<sub>b</sub>和C<sub>r</sub>在水平方向抽样点数为Y的四分之一，而在垂直方向的抽样点数与Y相同。4: 1: 1格式如下图3-6所示。



X 代表亮度信号样点

O 代表色差信号样点

图3-5 4: 2: 0格式中亮度信号和色差信号样点得位置



X 代表亮度信号样点

O 代表色差信号样点

图3-6 4: 1: 1格式中亮度信号和色差信号样点得位置

### 3.2.4 编码方式和量化

采用简单的线性PCM编码。抽样后采用线性量化，每个样点的量化比特数用于演播室为10bit，用于传输为8bit。由于数码率 $R_b=f_s \cdot n$ ，从降低码率考虑，显然量化比特数n越小越好，

从降低量化噪声考虑,显然量化比特数n选得越大越好。具体实验显示,8比特量化产生的256级量化级,其二进制的范围是00000000~11111111(十六进制为00~FF),其相应的十进制数为0~255。已完全能满足人眼对亮度与色度层次分辨的需要。量化后的码电平分配如下图所示:

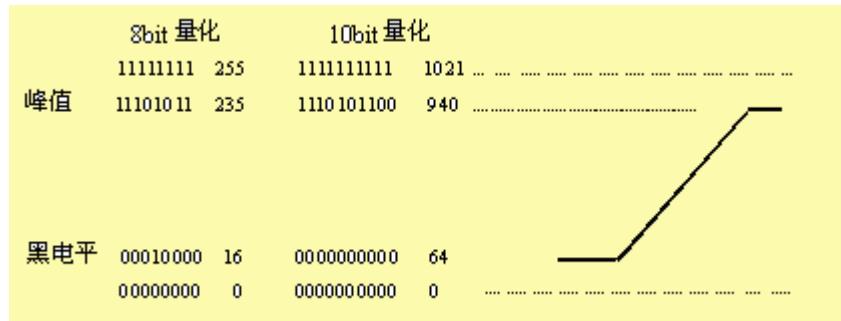


图3-7 亮度信号量化电平分配



图3-8 色差信号量化电平分配

亮度信号 $E_Y$ 经归一化处理后的动态范围为0~1,总共占220个量化级,码电平16对应黑电平,码电平235对应白电平。在上端留下20级,下端留下16级作为动态范围的保护带。

色差信号 $E_{CR}$ 、 $E_{CB}$ 经过归一化处理后的动态范围为-0.5~0.5,总共占225个量化级,零电平对应码电平为128。0和255这两个级留作同步。

量化以后码电平的数字化表达式为:

$$D_Y = \text{INT}[219(E_Y) + 16];$$

$$D_{CR} = \text{INT}[224 E_{CR} + 128];$$

$$D_{CB} = \text{INT}[224 E_{CB} + 128];$$

其中,符号INT[]表示对[]中的小数部分进行四舍五入后取整数。

### 3.2.5 数字电视演播室参数标准

早在七十年代末,英国广播公司和索尼公司就分别展示了其各自开发的彩色数字录像机,成为最早的数字电视编录产品,由此促成了电视信号模数转换规范的产生。在数字电视发展初期,数字电视的应用集中在演播室,一个统一的数字演播室标准变得相当迫切和重要。电

视广播的数字化进程中，由国际电信联盟的无线电通信部门（ITU-R）（即原国际无线电咨询委员会CCIR）以建议书方式发表了一系列有关数字电视的最基本的标准，1980年，国际无线电咨询委员会CCIR提出了电视信号模数转换标准的建议，即称为数字演播室标准的CCIR601。后来CCIR成为国际电信联盟的无线电委员会，称为ITU-R，相应的CCIR-601也改称ITU-R601，成为模拟电视向数字电视转变过程中的第一个标准规范。下面对相关的基础标准进行介绍。

### （1）ITU-R BT 601-5“演播室数字编码参数”

1982年CCIR第15次全会上通过了著名的601号建议书，为推动数字电视的发展起了重要的作用。对电视信号数字编码的基本参数，作了详细的描述和规定，因而是数字电视的最基本的标准。后来经过多次修正、扩展，现已发展到包含16：9宽高比在内的ITU-R BT.601-5标准。

在601建议中，亮度信号的抽样频率是525/60和625/50扫描制式的行频的最小公倍数2.25MHz的6倍即13.5MHz；抽样结构固定正交便于数字处理；两种扫描制式在数字有效行内的亮度取样点统一为720个，两个色差信号则统一为360个，称为4:2:2格式。演播室数字编码的主要参数（4:2:2格式）如下表3-1所示。

在1983年召开的国际无线电咨询委员会上又做了三点补充：明确规定编码信号是经过γ预校正的Y、R-Y、B-Y信号；相当于量化级0和255的码字专用于同步，1到244的量化级用于视频信号；进一步明确了模拟与数字行的对应关系，并规定了从数字有效行末尾至基准时间样点的间隔，对525/60和625/50两种制式分别为16个和12个样点。

我国在1993年12月30日，发布了相应的国家标准为GB/T14857-93“演播室数字电视编码参数规范”，采用了601建议，并于1994年9月3日实施。该标准适用于我国625行50场、图像宽高比为4：3的国家标准GB3147（彩色电视广播）。

### （2）ITU-RBT.656-3“符合ITU-RBT.601建议书（A部分）4：2：2格式的525行和625行数字分量电视信号的接口”标准

该标准规定了数字电视设备相互连接的机械方式（插头和各插头脚的信号）和电气信号的组成（串行码及并行码方式），因而也是数字电视的基本标准。

### （3）ITU-RBT.799-2“符合ITU-RBT.601建议书（A部分）4：4：4格式的525行和625行数字分量电视信号的接口”标准。

与上述三个基本标准相配合，国际电联还陆续发表了有关的系统测试、系统连接及其接口等方面的标准。例如，为测试数字电视系统引入的失真，必须对测试信号作一规定，这就是ITU-RBT.801-1“数字编码彩色电视信号的测试信号”标准；并在ITU-RBT.802-1“主观评价用的测试图像和序列”标准中，规定了53种静止和活动图像作为专用测试图像。又例如，为测试

编码后的数字电视信号从一个演播室传送到另一个演播室，或从实况转播现场经一次分配网传送到电视中心的图像质量，就必须对馈给网和一次分配网规定技术要求和测试方法，于是又制定了ITU-RBT. 800-2“通过馈给网和一次分配网传送4：2：2标准规定的数字电视信号的用户需求”标准及其它与接口标准有关的多个标准。

表3-1 演播室数字编码的主要参数

参数	626/50 扫描制式	525/50 扫描制式
编码信号		Y, C <sub>R</sub> , C <sub>B</sub> :
每帧数字有效行	576	507
取样结构	正交, 行和帧扫描位置重複, 每行中 C <sub>R</sub> 和 C <sub>B</sub> 的取样点和 Y 的奇数 (1, 3, 5...) 取样点同位。	
取样频率:		
亮度信号 (Y)		13.5 MHz
每一个色差信号 (C <sub>R</sub> , C <sub>B</sub> )		6.75MHz
每个数字有效行的取样数:		720
亮度信号 (Y)		360
每个色差信号 (C <sub>R</sub> , C <sub>B</sub> )		
每一整行的取样数:		
亮度信号 (Y)	864	858
各色差信号 (C <sub>R</sub> , C <sub>B</sub> )	432	429
编码方式:	线性 PCM 8, (9), 10 比特量化	
视频信号电平与量化级之间的对应关系:	(以 8 比特量化为例)	
量化级数范围	0 到 255	
亮度信号	共 220 量化级,	黑电平对应于量化级 16 峰值白电平对应于量化级 235
每一个色差信号	共 224 量化级,	零电平对应于 128 级 最大正电平对应于 240 级 最大负电平对应于 16 级
数字场逆程:		
场 1	624-23	1-10
场 2	311-336	264-273
模拟有效行期间样值数:		
亮度信号	702	714
每个色差信号	350	355
O <sub>H</sub>	模拟行同步前沿 1/2 幅值处基准点	

### 3.3 数字视频压缩技术分析

#### 3.3.1 概述

近几年来，随着超大规模集成电路的不断发展，多媒体技术逐渐深入到人们的生活中，并引起越来越多的关注。多媒体的各项应用都离不开高效的图像压缩算法。在视频领域，也正在进行从模拟到数字的转换，从 VCD、DVD 到 HDTV。视频数字化后，由于其数据量很

大，不适合存储和实时传输，所以要对其进行压缩编码。为了使图像压缩编码有一个国际标准，ITU 和 ISO 从 80 年代末期开始了图像压缩的标准化工作，并相继制定了 H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, JPEG 等若干标准，基本上适应了中高码率信道上图像存储、传输的要求。这一系列国际标准的推出极大地促进了视频压缩编码实时实现技术的研究和发展，最终使数字视频技术进入了实用阶段。

ITU-R601主要是一种取样标准。模拟电视信号据此取样后进行8比特量化和线性PCM编码，即可得到符合数字演播室标准的基带数字信号。但是，由此得到的数字电视信号具有非常高的码率和带宽，难以进入实用。将电视信号进行数字化采样，其信号的数据率是很高的，演播室质量的数字化电视信号的数据率为200Mbps，对储存器容量要求很大，占有的带宽将约为100MHz左右，要在原模拟电视频道带宽内传输如此高速率的数字信号是不可能的。

电视信号是宽频带信号，数字化后的频带更宽，必须采用先进的压缩编码技术，根据CCIR 的601建议，525行/60场和625行/50场两种制式的复合电视信号都采用同一取样频率：即亮度（Y）信号取样频率为13.5MHZ，色差信号（R-Y, B-Y）的取样频率各为6.75MHZ；若按均匀量化PCM编码方式，每个取样按8比特量化，则可算得：

亮度信号的码率为 $13.5 \times 8 = 108$  (Mb/s)；

色差信号的码率为 $6.75 \times 2 \times 8 = 108$  (Mb/s)；

即编码后的数字电视信号码率为216Mb/s。通常，要发射或传送这种数码信号的信道带宽，至少应是码率的0.5~1倍，即要传送一路数字电视信号的信道带宽最低限度也在(108~216) MHZ，比传送一路模拟电视信号要大得多，显然难以成行。因而，必须采用先进的压缩编码技术。

数字压缩技术很好地解决了上述困难，压缩后信号所占用的频带大大低于原模拟信号的频带。因此说，数字压缩编码技术是使数字信号走向实用化的关键技术之一，下表列出了各种应用的码率。

表3-2 各种应用码率

应用种类	比特数 / 像素	像素数 / 行	行 数 / 帧	帧数 / 秒	亮色比	比特/秒 (压 缩前)	比特/秒 (压 缩后)
HDTV	8	1920	1080	30	4: 1: 1	1.18Gbps	20~25Mbps
普通电视 TIU-R601	8	720	480	30	4: 1: 1	167Mbps	4~8Mbps
会议电视 CIF	8	352	288	30	4: 1: 1	36.5Mbps	1.5~2Mbps

桌上电视 QCIF	8	176	144	30	4: 1: 1	9.1Mbps	128Kbps
电视电话	8	128	112	30	4: 1: 1	5.2Mbps	56Kbps

实现数据压缩技术的方法有两种：一是在信源编码过程中进行压缩，利用人类听觉视觉效应去除信号中的多余成分，在不影响收听收看效果的前提下尽量压缩数据率；二是改进信道编码，发展新的数字调制技术，提高单位频宽数据传送速率。

### 3.3.2 数据压缩的可行性

从信息论观点来看，描述信源的数据是信息量（信源熵）和信息冗余量之和。信息冗余量有许多种，如空间冗余，时间冗余，结构冗余，知识冗余，视觉冗余等，数据压缩实质上是减少这些冗余量。可见冗余量减少可以减少数据量而不减少信源的信息量。从数学上讲，图像可以看作一个多维函数，压缩描述这个函数的数据量实质是减少其相关性。另外在一些情况下，允许图像有一定的失真，而并不妨碍图像的实际应用，那么数据量压缩的可能性就更大了。

数字电视的信源编码是把节目源的模拟图声信号变为数字信号，再经过MPEG-2压缩编码，形成数字信号源，并根据多个节目传输的要求，编为复用码流。信源编码技术包括视频压缩编码技术和音频压缩编码技术。

数字电视尤其是高清晰度数字电视与模拟电视相比，在实现过程中最为困难的部分就是对视频信号的压缩。视频编码技术的主要功能是完成图像的压缩，使数字电视信号的传输量由1Gbit/s（针对1920×1080显示格式）减少为20~30Mbit/s。视频编码计算时主要有以下客观依据：（1）图像时间的相关性。视频信号由连续图像组成，相邻图像有很多相关性，找出这些相关性就可减少信息量。（2）图像空间的相关性。例如图像中有一大块单一颜色，那么不必把所有像素存储。（3）人眼的视觉特性。人眼对原始图像各处失真敏感度不同，对不敏感的无关紧要的信息给予较大的失真处理；相反，对人眼比较敏感的信息，则尽可能减少其失真。（4）事件间的统计特性。事件发生的概率越小，则其熵值越大，表示信息量越大，需分配较长的码字；反之，发生的概率越大，则其熵值越小，只需分配较短的码字。

音频编解码的主要功能是完成声音信息的压缩。声音信号数字化后，信息量比模拟传输状态大得多，尤其是高清晰度数字电视所传输的多声道音频信号，因而数字电视的声音不能像模拟电视的声音那样直接传输，而是要多一道压缩编码工序。

音频信号的压缩编码主要利用人耳的听觉特性：（1）听觉的掩蔽效应（频域掩蔽效应和时域掩蔽效应）。在人的听觉上，一个较大声音的存在掩蔽了另一个较小声音的存在。（2）人耳对声音的方向特性。对于2kHz以上的高频声音信号，人耳很难判断其方向性，因而立体声广播的高频部分不必重复存储。

国际上对数字图像编码曾制定了3种标准，即主要用于电视会议的H.261，主要用于静止图像的JPEG标准，主要用于连续图像的MPEG标准。MPEG-1的输入视频格式为CIF 352×288，主要用于CD-ROM，VCD或T1（E1）线路传输，码率为固定的1.5Mbps。MPEG-2支持标准分

分辨率的16:9宽屏及高清晰度电视等多种格式，其码率可变，为3~40Mbps。MPEG-2是广播电视数字压缩的国际标准，采用不同的层和级组合即可满足从家庭质量到广播级质量以及将要播出的高清晰度电视质量的不同要求，其应用面很广，从进入家庭的DVD到卫星电视、广播电视微波传输都采用这一标准。在HDTV视频压缩编解码标准方面，美国、欧洲、日本没有分歧，都采用MPEG-2标准。在音频编码方面，欧洲、日本采用MPEG-2标准；美国采纳杜比公司（Dolby）的AC-3方案，MPEG-2为备用方案。

### 3.3.3 图像压缩编码方法的分类

信源编码可以解决效率问题，用最少的比特，代表最多的信息，节省存储空间。编码压缩方法有许多种，从不同的角度出发有不同的分类方法，比如从信息论角度出发可分为两大类：

(1) 冗余度压缩方法，也称无损压缩，信息保持编码或熵编码。具体讲就是解码图像和压缩编码前的图像严格相同，没有失真和噪声叠加，从数学上讲是一种可逆运算。

(2) 信息量压缩方法，也称有损压缩，失真度编码或熵压缩编码。也就是讲解码图像和原始图像是有差别的，允许有一定的失真。

应用在多媒体中的图像压缩编码方法分类，根据解码后数据与原始数据是否完全一致进行分类，可以分类为：

(1) 无损压缩编码：解码图像与原始图像严格相同。压缩比大约在2: 1~5: 1之间。

例如：霍夫曼编码、算术编码、行游程编码、Lempel zev编码。

(2) 有损压缩编码：还原图像与原始图像存在一定的误差，但视觉效果一般可以接受，压缩比可以从几倍到上百倍。例如：预测编码、频率域方法、子带编码、空间域方法、模型方法、基于重要性。

2. 根据数据压缩的原理进行划分，可以有以下几类：

(1) 统计冗余度的压缩（信息熵编码）

对于一串由许多数值构成的数据来说，如果其中某些值经常出现，而另外一些值很少出现，则这种由取值上的统计不均匀性就构成了统计冗余度，可以对之进行压缩。具体方法是对那些经常出现的值用短的码组来表示，对不经常出现的值用长的码组来表示，因而最终用于表示这一串数据的总的码位，相对于用定长码组来表示的码位而言得到了降低，这就是熵编码的思想。最常见的方法如Huffman编码、Shannon编码以及算术编码。目前用于图像压缩的具体的熵编码方法主要是霍夫曼编码，即一个数值的编码长度与此数值出现的概率尽可能地成反比。霍夫曼编码虽然压缩比不高，约为1.6: 1，但好处是无损压缩，目前在图像压缩编码中被广泛采用。

视频图像在每一点的取值上具有任意性。对于运动图像而言，每一点在一段时间内能取可能的任意值，在取值上具有统计均匀性，难以直接运用熵编码的方法，但可以通过适当的变换编码的方法，如DCT变换，使原图像变成由一串统计不均匀的数据来表示，从而利用霍夫曼编码来进行压缩。变换编码将图像光强矩阵（时域信号）变换到频域空间上进行处理。在时域空间上具有强相关的信号，反映在频域上是某些特定的区域内能量常常被集中在一起，我们只需将主要注意力放在相对小的区域上，从而实现压缩。一般采用正交变换，如离散余弦变换（DCT）、离散傅立叶变换（DFT）、Walsh-Hadamard变换（WHT）和小波变换（WT），

来实现压缩算法。

### (2) 空间冗余度的压缩

一幅视频图像相邻各点的取值往往相近或相同，具有空间相关性，这就是空间冗余度。图像的空间相关性表示相邻象素点取值变化缓慢。从频域的观点看，意味着图像信号的能量主要集中在低频附近，高频信号的能量随频率的增加而迅速衰减。通过频域变换，可以将原图像信号用直流分量及少数低频交流分量的系数来表示，这就是变换编码中的正交余弦变换DCT的方法。DCT是JPEG和MPEG压缩编码的基础，可对图像的空间冗余度进行有效的压缩。

视频图像中经常出现一连串连续的象素点具有相同值的情况，典型的如彩条，彩场信号等。只传送起始象素点的值及随后取相同值的象素点的个数，也能有效地压缩码率，这就是行游程编码。目前在图像压缩编码中，行游程编码并不直接对图像数据进行编码，主要用于对量化后的DCT系数进行编码。

### (3) 时间冗余度的压缩

时间冗余度表现在电视画面中相继各帧对应象素点的值往往相近或相同，具有时间相关性。在知道了一个象素点的值后，利用此象素点的值及其与后一象素点的值的差值就可求出后一象素点的值。因此，不传送象素点本身的值而传送其与前一帧对应象素点的差值，也能有效地压缩码率，这就是差分编码DPCM。在实际的压缩编码中，DPCM主要用于各图像子块在DCT变换后的直流系数的传送。相对于交流系数而言，DCT直流系数的值很大，而相继各帧对应子块的DCT直流系数的值一般比较接近，在图像未发生跳变的情况下，其差值同直流系数本身值相比是很小的。

由差分编码进一步发展起来的预测编码，是根据一定的规则先预测出下一个象素点或图像子块的值，然后将此预测值与实际值的差值传送给接收端。目前图像压缩中的预测编码主要用于帧间压缩编码，方法是先根据一个子块的运动矢量求出下一帧对应子块的预测值及其与实际值的差值，接收端根据运动矢量及差值恢复出原图像。由于运动矢量及差值的数据量低于原图像的数据量，因而也能达到图像数据压缩的目的。

### (4) 视觉冗余度的压缩

视觉冗余度是相对于人眼的视觉特性而言的。人眼对于图像的视觉特性包括：对亮度信号比对色度信号敏感，对低频信号比对高频信号敏感，对静止图像比对运动图像敏感，以及对图像水平线条和垂直线条比对斜线敏感等。因此，包含在色度信号，图像高频信号和运动图像中的一些数据并不能对增加图像相对于人眼的清晰度作出贡献，而被认为是多余的，这就是视觉冗余度。

压缩视觉冗余度的核心思想是去掉那些相对人眼而言是看不到的或可有可无的图像数据。对视觉冗余度的压缩通常已反映在各种具体的压缩编码过程中。如对于DCT系数的直流与低频部分采取细量化，而对高频部分采取粗量化，使得DCT变换能借此压缩码率，并能有效地进行行游程编码。在帧间预测编码中，大码率压缩的预测帧及双向预测帧的采用，也是利用了人眼对运动图像细节不敏感的特性。

图像压缩编码的具体方法虽然还有多种，但大都是建立在上述基本思想之上的。DCT变换，行游程编码，DPCM，帧间预测编码及霍夫曼编码等编码方法，因技术上的成熟，已被有关国际组织定为压缩编码的主要方法。

衡量一个压缩编码方法优劣的重要指标是：

- 压缩比要高，有几倍、几十倍，也有几百乃至几千倍；
- 压缩与解压缩要快，算法要简单，硬件实现容易；
- 解压缩的图像质量要好。

最后要说明的是选用编码方法时一定要考虑图像信源本身的统计特征；多媒体系统（硬件和软件产品）的适应能力；应用环境以及技术标准。

### 3.3.4 压缩编码方法简介

压缩编码的方法有几十种之多，并在编码过程中涉及较深的数学理论基础问题，在此仅介绍几种常用的压缩编码方法，主要是从物理意义上作一定的解释。

#### 1. 莫尔斯码与信源编码

莫尔斯码即电报码，其精华之处在于用短码来表示常出现的英文字母，用长码来表示不常出现的字母，以减小码率。这种方法非常有效，故延用至今。电视信号经过变换后，例如经差值脉冲编码后，发现前后像素幅度差值小的概率大，而差值大的概率小，因此可用短码表示概率大的信号，而用长码来代表概率小的信号，从而达到压缩码率的目的。

#### 2. 霍夫曼编码

霍夫曼编码是可变字长编码（VLC）的一种。Huffman于1952年提出一种编码方法，该方法完全依据字符出现概率来构造异字头的平均长度最短的码字，有时称之为最佳编码，一般就叫作Huffman编码。下面引证一个定理，该定理保证了按字符出现概率分配码长，可使平均码长最短。

定理：在变字长编码中，如果码字长度严格按照对应符号出现的概率大小逆序排列，则平均码字长度一定小于按任何其它符号顺序排列方式得到的平均码长。

编码步骤如下：

- (1) 把信源符号（共N个）按出现概率的值由大到小顺序排列；
- (2) 将出现概率最小的两个符号的概率相加，合成一个概率；将这个概率与其它符号一起重新按概率大小顺序排列；
- (3) 重复第2步做法，直到概率为1；
- (4) 用线将符号连接起来，逐步从后向前进行编码，每个节点有两个分支，对概率大的赋0，概率小的赋1，（也可以对概率大的赋1，概率小的赋0），经过几个节点后到达端点；
- (7) 将一路遇到的0或1按顺序排列起来，就是这个端点所对应的信源符号的码字。

一个Huffman编码例子如下图所示：

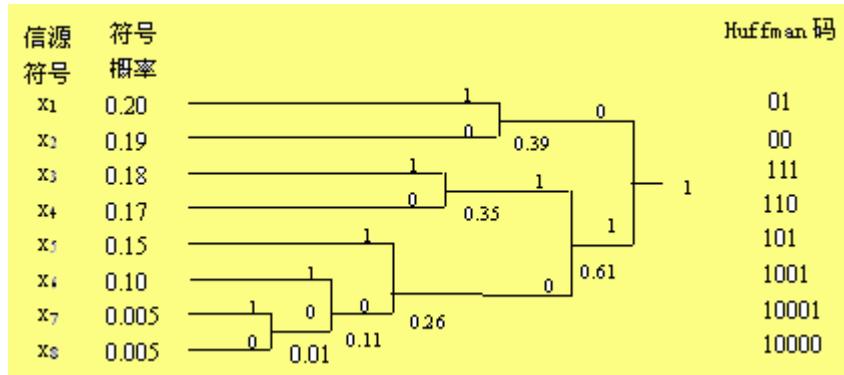


图 3-9 Huffman 编码举例

表 3-3

信源符号	出现概率 $p(x_i)$	组成的码字	码长 $n_i$
$x_1$	0.2	01	2
$x_2$	0.19	00	2
$x_3$	0.18	111	3
$x_4$	0.17	110	3
$x_5$	0.15	101	3
$x_6$	0.10	1001	4
$x_7$	0.005	10001	5
$x_8$	0.005	10000	5

$$N = \sum_{i=1}^8 P(i)n_i = 2.73bit/\text{码字}$$

平均码长N为：

$$H(X) = -\sum_{i=1}^8 p(x_i) \cdot \log_2 p(x_i) = 2.61bit/\text{码字}$$

信息熵H为：，式中  $x_i (i=1,2,\dots,N)$  是

信息源X的符号集,  $p(x_i)$  为  $x_i$  出现的概率。

可见，Huffman编码后的冗余仅为：  $2.73-2.61=0.12bit/\text{码字}$ 。二者已经非常接近。

### 3. 离散余弦变换

离散余弦变换（Discrete cosine Transform）简称DCT。任何连续的实对称函数的傅里叶

变换中只含余弦项，因此余弦变换与傅里叶变换一样有明确的物理量意义。DCT是先将整体图像分成 $N \times N$ 像素块，然后对 $N \times N$ 像素块逐一进行DCT变换。由于大多数图像的高频分量较小，相当于图像高频成分的系数经常为零，加上人眼对高频成分的失真不太敏感，所以可用更粗的量化，因此传送变换系数所用的数码率要大大小于传送图像像素所用的数码率。到达接收端后再通过反离散余弦变换回到样值，虽然会有一定的失真，但人眼是可以接受的。

二维DCT变换示意图如下图所示：

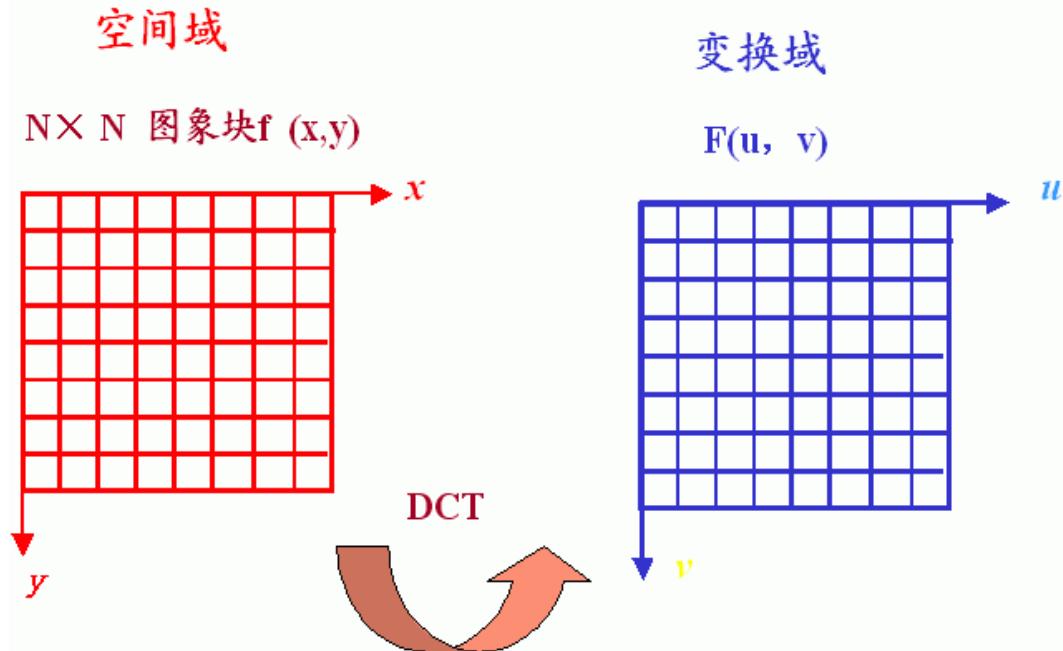


图 3-10 二维 DCT 变换示意图

$N$ 代表像素数，一般 $N=8$ ， $8 \times 8$ 的二维数据块经DCT后变成 $8 \times 8$ 个变换系数，这些系数都有明确的物理意义：U代表水平像素号，V代表垂直像素号。如当 $U=0$ ， $V=0$ 时， $F(0, 0)$ 是原64个样值的平均，相当于直流分量，随着 $U$ 、 $V$ 值增加，相应系数分别代表逐步增加的水平空间频率分量和垂直空间频率分量的大小。一个 $8 \times 8$ 图像块 $f(x, y)$ 的DCT变换系数 $F(u, v)$ 如下图3-11所示。

由图可见， $F(u, v)$ 的能量主要集中在低频部分区域，随着 $u, v$ 增加能量逐渐减小。左上角 $F(0,0)$ 对应于该象块的平均亮度值，称为直流系数，其余的63个系数称为交流系数。

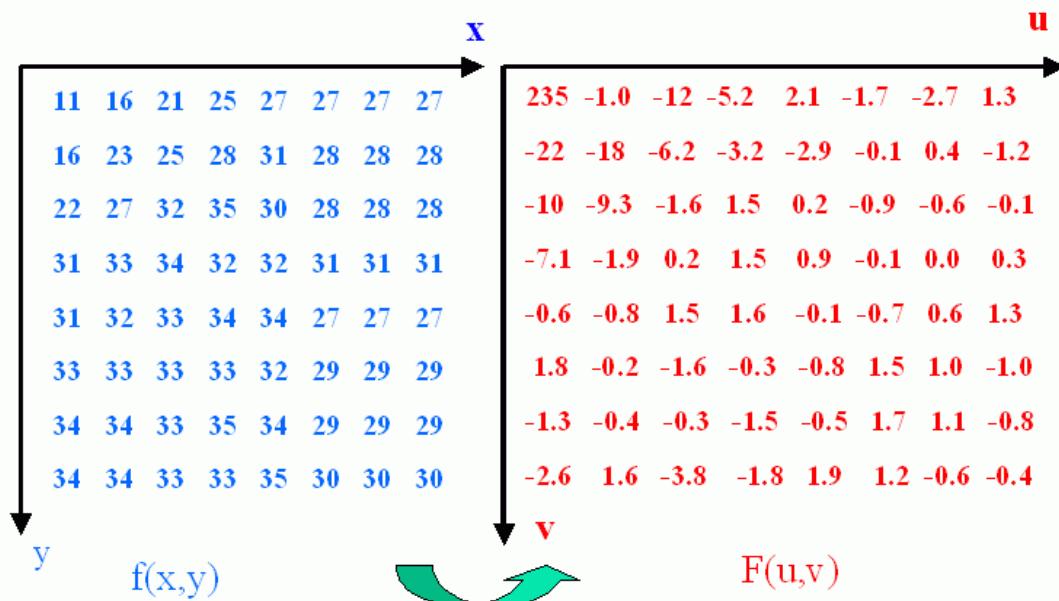


图3-11 DCT变换举例

严格说DCT本身并不能进行码率压缩，因为64个样值仍然得到64个系数。只是在经过量化后，特别是按人眼的生理特征对低频分量和高频分量设置不同的量化，会使大多数高频分量的系数变为零。一般说来，人眼对低频分量比较敏感，而对高频分量不太敏感。可以对变换系数矩阵中的不同变换系数分别乘以不同视觉加权系数，这一加权系数应随空间频率的增加而逐渐减小。这相当于对不同的变换系数分别采用粗细不同的量化步长。同时根据人眼对亮度信号比对色差信号更敏感的视觉特性，色度信号的量化步长应大于亮度信号的量化步长。JPEG推荐了亮度信号和色度信号两种量化表3-4如表所示。

表 3-4 亮度信号与色度信号量化表

亮度量化表  $Q(u, v)$ 

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

色度量化表  $Q(u, v)$ 

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
26	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

在量化表  $Q(u, v)$  中，对应空间频率的低频部分的左上角的量化步长要比右下角的量化步长小。色度信号的量化步长也大于亮度信号的量化步长。

#### 4. 游程长度编码

读出数据和表示数据的方式也是减少码率的一个重要因素。读出的方式可以有多种选择，如水平逐行读出、垂直逐列读出、之字型读出和交替读出等，其中之字型读出（Zig-Zag）是最常用的一种。由于经DCT变换以后，系数大多数集中在左上角，即低频分量区，因此之字型读出实际上是按二维频率的高低顺序读出系数的，这样一来就为游程长度编码（Runlength Encoding）创造了条件。所谓游程长度编码是指一个码可同时表示码的值和前面几个零，这样就可以把之字型读出的优点显示出来了。因为之字型读出在大多数情况下出现连零的机会比较多，尤其在最后，如果都是零，在读到最后一个数后只要给出“块结束”（EOB）码，就可以结束输出，因此节省了很多码率。游程长度指的是由字构成的数据流中各个字符连续重复出现而形成字符串的长度。基本的游程编码就是在数据流中直接用三个字符来给出上述三种信息，其数据结构如下图所示。

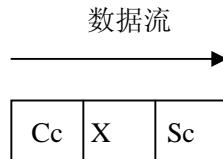


图3-11 数据流示意图

Sc表示有一个字符串在此位置，X代表构成串的字符，Cc代表串的长度。游程编码和霍夫曼编码等属于统计编码。

#### 5. 差值脉冲编码

电视图像基本上是由面积较大的像块（如蓝天、大地、服装等）组成。虽然每个像块的幅值各不相同，但像块内各样值的幅度是相近的或相同的，幅值跃变部分相当于像块的轮廓，只占整幅图像的很小一部分。帧间相同的概率就更大了，静止图像相邻帧间的相应位置的像素完全一样，这意味着前后像素之差或前后帧间相应位置像素之差为零或差值小的概率大，差值大的概率小。这就是差值编码的基本想法，其原理框图见下图（a）所示。发端将当前样值和前一样值相减所得差值经量化后进行传输，收端将收到的差值与前一个样值相加得到当前样值。在这个原理图中，输出的当前样值是输出的前一样值加上收到的差值，由于在当前差值中包括当前的量化误差，而输出的前一样值又包括前一样值的量化误差，这就造成了量化误差的积累。因此实用电路为图（b）。这时输入当前样值不是与输入的前一样值相减，而是与输出的前一样值相减，因此在差值中已经包含了前一样值的量化误差的负值，在与输出的前一个样值相加时，这部分量化误差被抵消，只剩下当前的量化误差，这就避免了量化误差的积累。

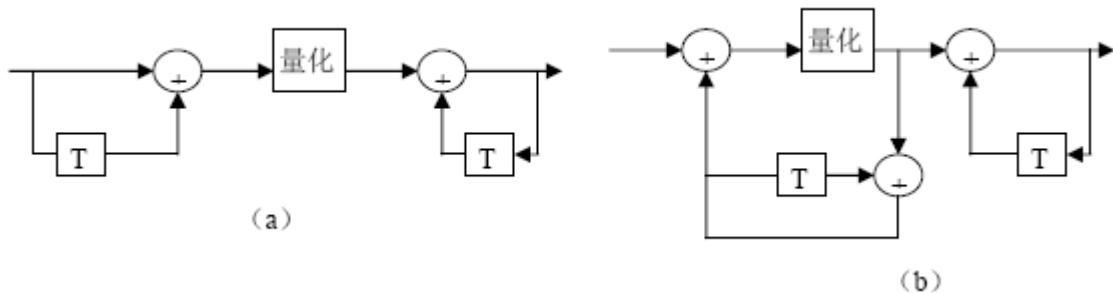


图3-12 差值脉冲编码

### 6. 预测编码

预测编码利用像素的相关性，可进一步减小差值。

从前面的分析可以看出，如果差值编码中小幅度出现的机会增加，由于其对应的码长较短，总数码率会进一步减小。如果能猜出下一个样值，那么差值就会是零，当然这种情况是没有意义的，因为若预先知道下一样值，就不需要进行通信了。但可以肯定，如果我们不仅利用前后样值的相关性，同时也利用其它行、其它帧的像素的相关性，用更接近当前样值的预测值与当前样值相减，小幅度差值就会增加，总数码率就会减小，这就是预测编码的方法。预测编码的电路与差值编码类似，或者说差值编码就是以前一样值为预测值的预测编码，又称为一维预测。如果用到以前行的像素或以前帧的像素，则称为二维或三维预测。只用到帧内像素的处理称为帧内编码（Intraframe Coding），用到前后帧像素的处理称为帧间编码

（Interframe Coding），要得到较大的码率压缩就必须使用帧间编码，帧内预测和帧间预测相邻象素示意图如下图所示。JPEG是典型的帧内编码方案，而MPEG是帧间编码方法。前者大多用于静止图像处理，而后者主要用于对运动图像的处理。

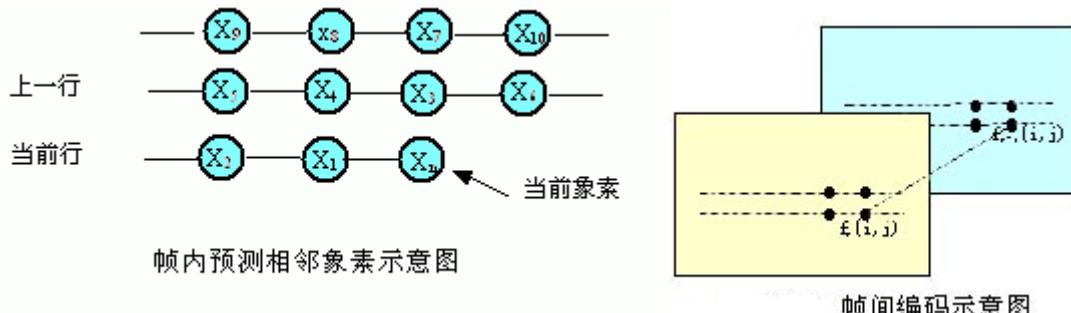


图3-13 预测编码

### 7. 运动估值和运动补偿编码

这是一种帧间编码的方法，它保证了在一定图像质量下有高的码率压缩比。其原理是利用帧间的空间相关性，减小空间冗余度。帧间编码为什么可以减小冗余度，这是因为两帧之间有很大的相似性。

#### (1) 运动处理原理

通常，电视节目中只要画面镜头不切换，前后帧运动图像的内容是差别不大的，许多情

况下仅仅很少一部分在运动，因此，只需知道画面中哪部分在运动，其运动方向和位移量怎么样，把就可以从前一帧图像中预测出当前帧图像。又由于运动预测会有误差，需要对帧间预测差信号进行压缩编码和传送，因此我们只需要传送运动矢量和帧间预测差信，帧间差集中在零附近，可以用短的码字传送，从而可以大幅度压缩码率。用下图来说明这个过程：

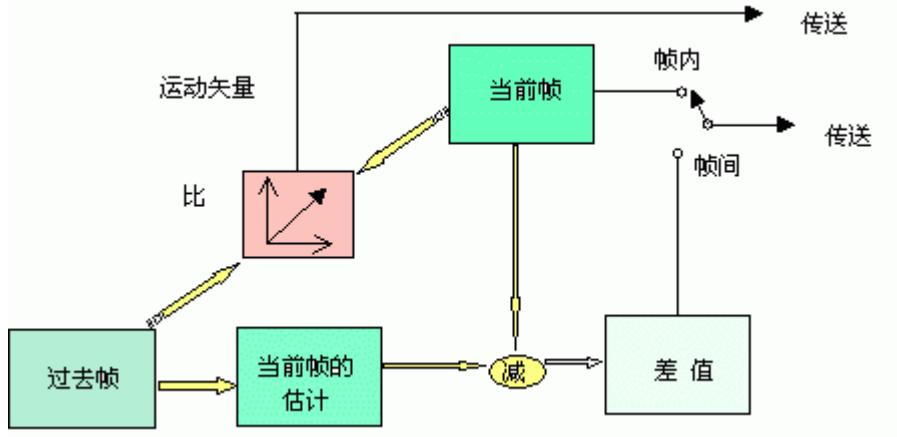


图3-14 运动处理原理图

由图可见，帧间编码的首要任务是进行运动估值，找出运动位移矢量。当前帧在过去帧的窗口中寻找匹配部分，从中找到运动矢量；根据运动矢量，将过去帧位移，求得对当前帧的估计；将这个估计和当前帧相减，求得估计的误差值；接收端根据收到的运动矢量将过去帧作位移（也就是对当前帧的估计），再加上接收到的误差值，就是当前帧了。

## (2) 运动估值

运动物体的帧间移位如下图所示，它示出前后帧间运动物体的直线匀速运动。问题的关键是怎样进行运动估值以得出准确的位移矢量。在运动估值的方法中最常用的一种方法是块匹配法。

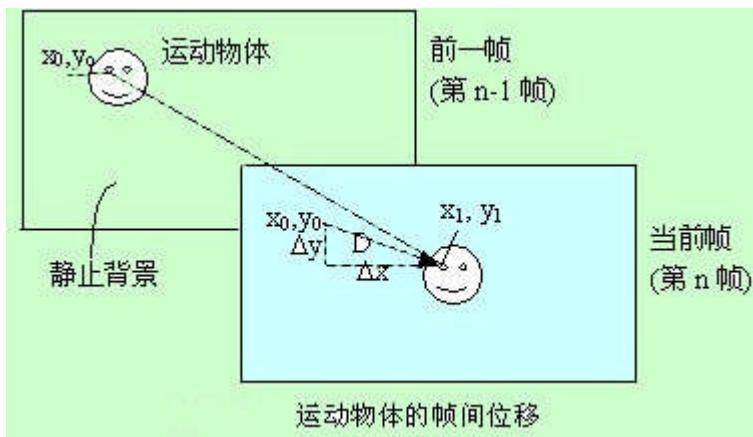


图3-15 运动估值

在块匹配法中是把图像分成若干子块，设子块图像是由M×N个象素组成的象块，并假设一个象块内的所有象素作一致的平移运动。对当前帧中的每一个象块MB，在前一帧中以与其对应的位置(m, n)为中心，上下左右四个方向搜寻找与其最佳匹配的象块MB'，宏块MB

和MB'在水平和垂直方向上的距离即是求得的位移矢量。块匹配搜索如下图所示。

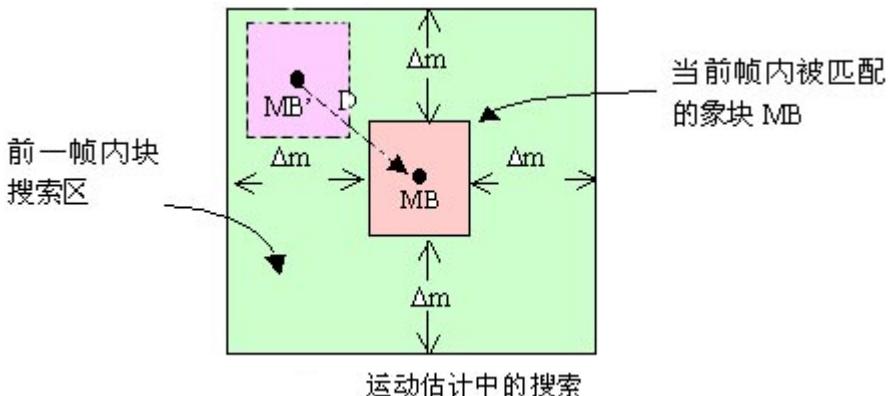


图3-15 运动估值

在MPEG-1和MPEG-2中，运动估值块的大小为 $16\times 16$ 象素，称之为宏块。宏块大小的确定是综合考虑了实际图像细节构成和运算估值中的计算量而得出的。对于SDTV的亮度信号（ $720\times 576$ ）来说，横向有45个宏块，纵向有36个宏块，全帧有 $45\times 36=1620$ 个亮度宏块。 $Cb$ 、 $Cr$ 色差信号可直接使用亮度信号帧间预测得到位移矢量。

搜索范围的确定要综合考虑帧间运动位移的可能大小和计算量。对于 $16\times 16$ 象素的亮度宏块， $\Delta m$ 可取16个象素距离，即向上、下、左、右各作0~16次、每次增量一个象素的位移，每移位一次，计算一下匹配情况直至寻找到最佳匹配块，从而得到运动矢量的估值，称之为全局搜索法。衡量匹配好坏的准则可以是均方误差最小准则。

为了减少搜索次数，提出了多种快速搜索方法，这些搜索方法总是一步步沿着判决函数值减小的方向进行。分级搜索方法分为粗搜索和细搜索。首先对图像进行亚取样得到一个低分辨率的图像，然后再对所得到的低分辨率图像进行全搜索，由于分辨率低，使搜索次数大大减少，称为粗搜索。然后以粗搜索的结果作为细搜索的起始点，再在较小的范围内进行细搜索，因此总的搜索次数可相应减少。

### 3.4 数字视频压缩标准详述

从九十年代开始，国际上先后制定了一系列视频图像编码标准。目前从事视频压缩标准制定的国际标准组织主要有国际电信联盟ITU-T的视频编码专家组VCEG（Video Coding Expert Group）和国际标准化组织ISO/IEC的运动图像专家组MPEG（Motion Picture Expert Group）。两个标准化组织根据不同的应用需求，采用近似的压缩编码技术，分别制定了H.26X和MPEG-X系列视频压缩标准，虽然它们的应用领域不同，但是均采用了预测编码结合变换量化的混合编码模式。其中这两大标准化组织于1992年联合提出的MPEG-2/H.262是现有比较成功的国际视频压缩标准，目前又再次联手推出了H.264/AVC，即MPEG-4第10部分。

### 3.4.1 JPEG 编码标准

JPEG (Joint Photo Graphic Experts Group) 是联合图像专家组的英文缩写。JPEG主要是针对静止图像的压缩编码标准，但是在电视图像序列的帧内压缩中也常采用JPEG，是一个适用范围广泛的通用标准。

JPEG包含两种基本压缩方法，各有不同的工作模式。包括以DCT为基础的有损压缩方法和以二维DPCM为基础的无损压缩方法。以DCT为基础的压缩方法压缩比较高，得到广泛应用。

#### (1) 基于DCT的JPEG算法框图

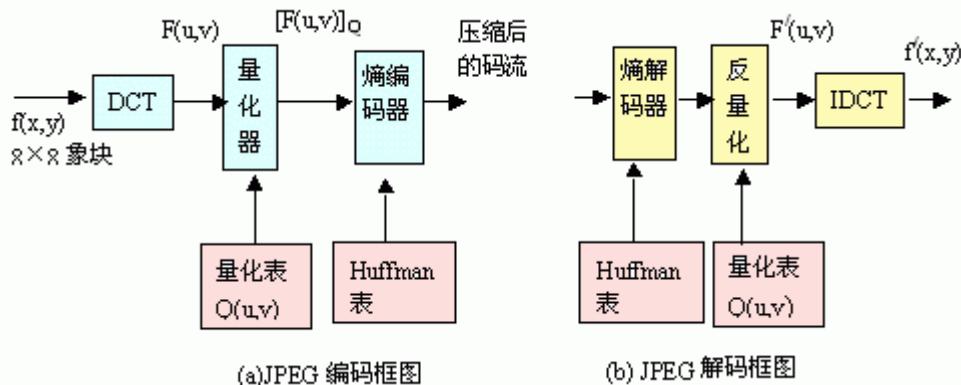


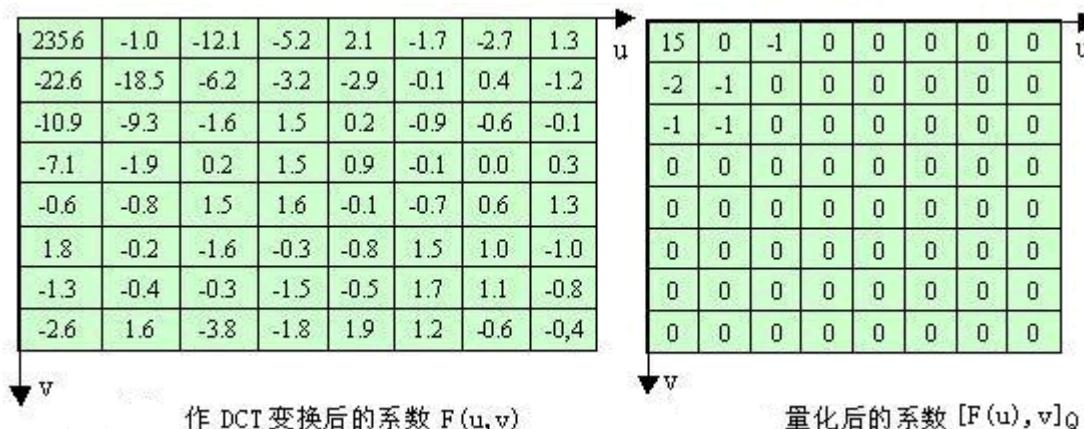
图3-15 基于DCT的JPEG算法框图

#### (2) JPEG算法编码过程

一个 $8 \times 8$ 亮度图像块进行JPEG压缩编解码过程如表3-5所示。

表 3-5 JPEG 压缩编解码

原图象样值 $f(x, y)$								作电平移位后的图象样值							
139	144	149	153	155	155	155	155	11	16	21	25	27	27	27	27
144	151	153	156	159	156	156	156	16	23	25	28	31	28	28	28
150	155	160	163	158	156	156	156	22	27	32	35	30	28	28	28
159	161	162	160	160	159	159	159	31	33	34	32	32	31	31	31
159	160	161	162	162	155	155	155	31	32	33	34	34	27	27	27
161	161	161	161	160	157	157	157	33	33	33	33	32	29	29	29
162	162	161	163	162	157	157	157	34	34	33	35	34	29	29	29
162	162	161	161	163	158	158	158	34	34	33	33	35	30	30	30



分块：把原始图像分成 $8 \times 8$ 像块 $f(x,y)$ 之后分别进入DCT变换器。

电平搬移、DCT变换：由于平均电平较高，在作变换之前首先将电平下移128。然后作DCT变换得系数块 $F(u,v)$ 。在DCT系数块中，直流系数 $F(0,0)$ 最大，能量主要集中在左上角低频区，高频系数较小。

量化：对系数 $F(u,v)$ 进行量化， $[F(u,v)]_Q = [F(u,v)/Q(u,v)]$ 取整数， $Q(u,v)$ 称为量化系数矩阵。量化后的 $[F(u,v)]_Q$ 高频系数已经大部分为零，能量主要集中在低频系数上。

之字型扫描读出：由于右下角高频区的大部分系数为0，编码时不对单个0编码，而只对0的游程（连续0的个数）编码，为了制造更长的0游程，对变换系数矩阵采用之字型扫描读出方式（如下图所示）。即对于交流系数按 $F(0,1) F(1,0) F(2,0) F(1,1) F(0,2) \dots F(7,7)$ 顺序读出，这样排在后面的大多是一串0系数，因此提高了0游程编码的编码效率。由于直流系数 $F(0,0)$ 较大，应和前一个块的直流系数进行差值编码。

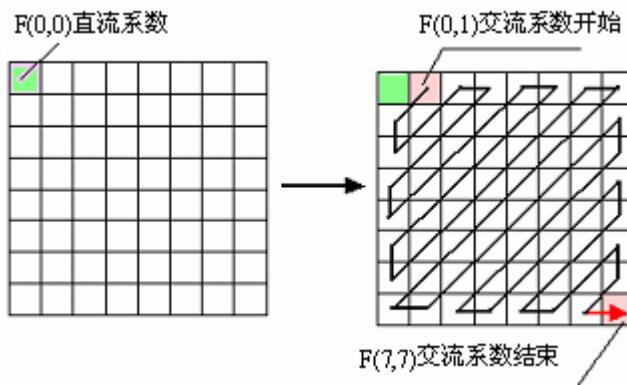


图3-16 zig-zag扫描读取方法

变字长熵编码：为了消除编码码字中存在的统计冗余，采用变字长熵编码。分别对非0系数和0系数游程这两个事件合并成一个二维联合事件（一维是0游程的长度，另一维是紧接在此0游程后的非0系数的幅值）出现的概率作统计，设计Huffman码表。在JPEG、H.261、MPEG-1、MPEG-2中都推荐了这种码表。

经过这几个步骤后，压缩后的码率将大大下降。

JPEG出了几个衡量压缩编码效果的等级准则:

对于 $720\times576$ 、8bit/pixel、4: 2色度格式、自然景色图像

压缩到 $0.25\sim0.5$ bit/pixel, 压缩比 $1/64\sim1/32$ , 图像仍可识别, 满足某些应用。

压缩到 $0.5\sim0.75$ bit/pixel, 压缩比 $1/32\sim1/20$ , 图像很好, 满足许多应用。

压缩到 $0.75\sim1.5$ bit/pixel, 压缩比 $1/20\sim1/10$ , 图像质量优秀, 满足大多数应用。

压缩到 $1.5\sim2$ bit/pixel, 压缩比约 $1/10\sim1/8$ , 图像压缩前后质量难于区别, 能满足绝大多数应用。

JPEG 标准, 即 ISO/IEC1091-1 标准。它是对静态图像制订的, 但也可用于对连续运动图像进行压缩, 压缩时将连续图像的每一个帧视为一幅静止图像进行压缩, 若压缩器/解压缩器速度足够快, 还可以实时处理视频信号, 构成以 JPEG 为基础 的实时视频存储/回放系统。

JPEG 标准压缩后的视频图像数据量大大减小, 对同样的硬盘可以存储更长时间图像, 因而在现代数字视频编辑、处理中大量运用了该种编码标准。在因特网上只允许用两种图像格式, JPEG 就是其中之一。

JPEG 标准提供了 4 种压缩算法:

(1) 基线有损压压缩算法

该种算法在 DCT 离散弦变换的基础上建立的。其压缩运算过程是: 以  $8\times8$  像素块为单位, 对图像数据进行离散余弦变换, 将数据转换到频率域, 得到 64 个 DCT 矩阵。对 DCT 系统进行排序、量化, 使数据得到第一次压缩。采用了可变长编码技术, 对量化后的 DCT 系数进行编码。其特点是, 对出现概率最的码字分配以较短的码长, 对出现概率低的码字分配以长的码长, 这样编码后的数据将大大少于编码前的数据, 从而达到数据压缩的目的。

(2) 扩展有损压缩算法,

(3) 无损压缩算法。

(4) 分层压缩算法。

JPEG 标准可以用于对不同像素结构、不同色度空间、不同扫描方式图像进行压缩, 但在不同应用领域对图像压缩的要求也不同, 采用的量化表及可长编码技术也不同。为了便于在不同系统间压缩数据文件的交换处理, JPEG 标准中定义了几种标记段及相应标记。如在 JPEG 基线系统中定义的一些标记为:

- 图像开始标记 SOI, 它主要用于表示 JPEG 数据文件的开始, 是 JPEG 文件的第一个标记, 也是 JPEG 文件的第一个字。SOI 只有标记没有段体。
- 帧开始段 SOFO, 它主要由若干字节组成, 用来定义每个色彩分量使用的量化表及其块数。
- 扫描开始段 SOS, 它也主要由若干字节组成, 用来定义每个色彩分量使用的可长编码技术。
- 图像结束标记 EOI, 它紧随压缩数据最后一个字节, 也是 JPEG 文件的最后一个字, 用以表示 JPEG 数据文件的结束。
- 应用定义段 APPn。在 JPEG 标准中允许一幅图像数据中最多有 16 个 APP 段, APP 在压缩时插入用于说明该 JPEG 文件的应用场合等, 解压缩时该段直接由解码器读出传递给使用者。

- 说明段 COM。COM 也是在压缩时期插入用于该 JPEG 文件进行注释、备忘等，解压缩时该段直接由解码器读出传递给使用者。
- 量化表定义段 DOT，记录编码时用到的量化表，解码时传递给解码器使用。
- Huffman 表定义段 DHT，记录编码时用到该表，解码时传递给解码器使用。Huffman 编码，是一种可变长编码技术。

### 3.4.2 H.261 标准

H.261是最早出现的视频编码标准，由ITU-T的前身CCITT针对可视电话、视频电视和窄带ISDN等要求提出的一个编码标准。它的全称为“p×64Kbit/s视听业务的视频编解码器”，其中p=1到30的整数，当p小于6时，只能传输清晰度不太高的图像，可用于电视电话；当p大于6时，可以传输清晰度很好的图像，适用于电视会议等。采用的算法结合了可减少时间冗余的帧间预测和可减少空间冗余的二维DCT变换的混合编码方法，主要由运动估计/补偿、DCT变换和Huffman编码等部分组成，它的压缩比大致是JPEG的三倍。由于它主要针对实时业务，因而希望编码器的延时尽可能小，所以只利用前一帧做参考帧进行前向预测，且编解码器的复杂度基本对称。这种标准具有最小延迟实时对话的能力。

H.263是为低码率视频压缩提供的新标准，主要支持小于64kbit/s的窄带电信信道视频编码，但实际上其应用范围已经超出了低码率图像编码范围。它在许多应用中可以认为被用于取代H.261。H.263的编码算法与之前的H.261一样，但做了一些改善和改变，以提高性能和纠错能力。在技术上，它采用了半像素精度的运动估计、不受限运动矢量、高级预测模式、PB帧等，性能要优于H.261。H.263+、H.263++扩充了H.263的编码可选项和其它的一些附加特性，增强了抗误码的差错隐藏性能，将信道传输性能问题在信源编码中加以综合考虑。

#### (1) 图像格式

H.261和H.263的图像格式如下表所示：

表 3-6 H.261 和 H.263 的图像格式

视频格式	亮度分辨率	色度分辨率	H. 261	H. 263
SQCIF	128×96	64×48		支持
QCIF	176×144	88×72	支持	支持
CIF	352×288	176×144	支持	支持
4CIF	704×576	352×288		可选
16CIF	1408×1152	704×576		可选

其中：CIF（Common Intermediate Format）为公用中间格式；QCIF（Quarter CIF）为1/4公用中间格式；SQCIF为扩展的公用中间格式；4CIF为4倍的公用中间格式；16CIF为16倍的公用中间格式，16CIF是高清晰度电视的水平，所以它也适用于高速率图像编码。H.261标准只对CIF和QCIF两种图像格式进行处理。H.263有五种图像格式。

CIF和QCIF的基本帧频是30帧/秒。但是视频编码器并不一定要对每幅图象都编码。尤其是在低比特率时，H.261允许在每两帧传送的图象之间有0到3帧图象不传，这是因为电视电话的图象有较强的相关性，不传的图象可以由已传的前后帧图象插值出来，又称为插帧。

#### (2) H.261的编码器框图

H.261编码器的框图如下所示：

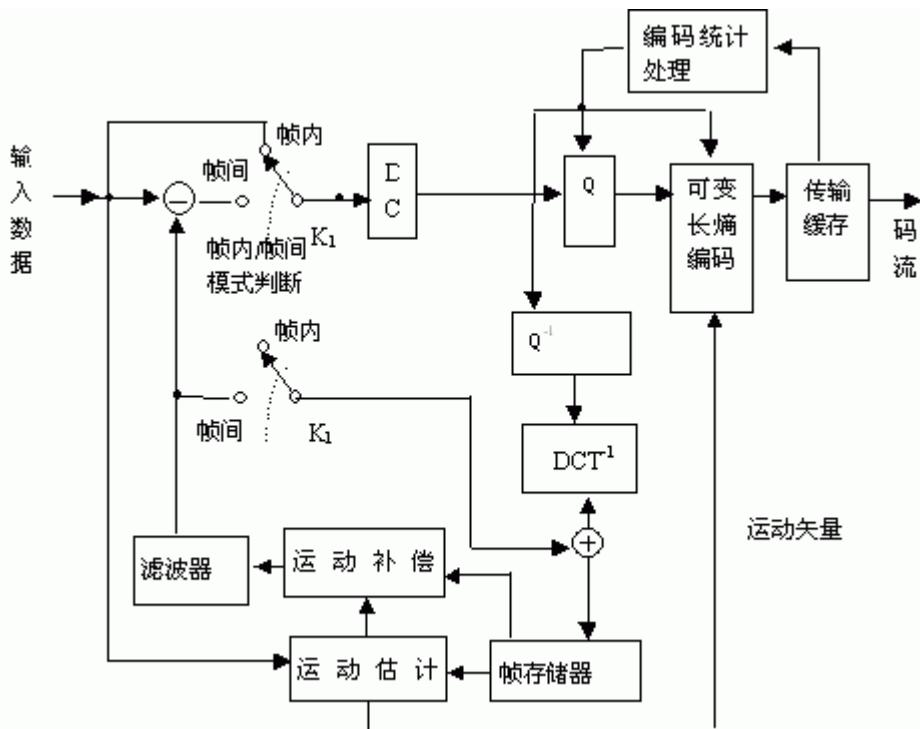


图 3-17 H.261 的编码器框图

其简化的编码原理框图如下图所示：

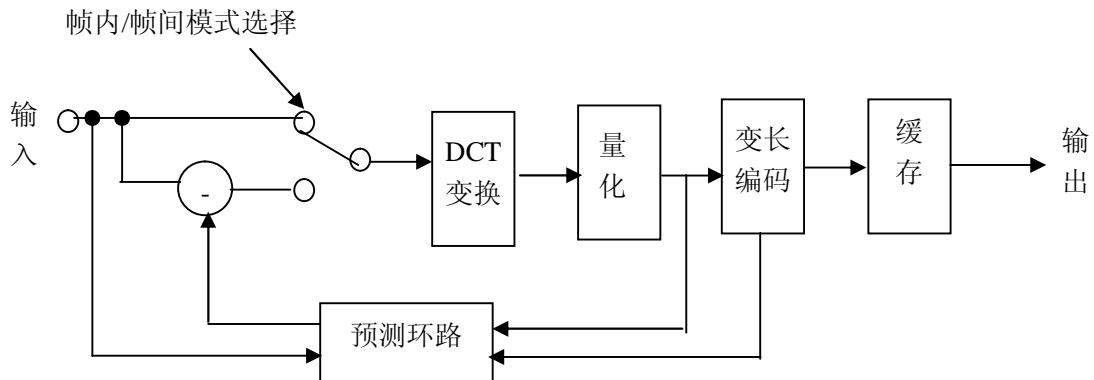


图 3-18 H.261 压缩编码简图

图中，DCT变换的输入输出选择开关由帧内/帧间模式选择电路控制。在帧内模式时，开关打到上面，输入信号经DCT变换，线性量化和变长编码后输出，图像只进行帧内压缩。在帧间模式时，开关打到下面，前一帧图像信号经过预测环路中的运动补偿后产生一个后帧的预测信号。后帧的实际输入信号与其预测值相减后，在进行一个帧内压缩编码的过程后输出。变长编码器产生的控制信号送量化器以控制其量化步长。当变长编码器的输入中连续出现许多大数值的数据，导致集中出现长的码组，使缓存器接近溢出时，控制信号使量化器的量化

步长加大，以降低大数值数据的出现；反之，也可控制量化器以减小其量化步长。在预测环路中由于存在用于恢复前帧信号的反量化器，量化步长控制信号也要送到预测环中的反量化器中。

H.261编码器有一个和解码器一样的过程，解出的图像放在运动补偿预测器（存储器）中形成过去帧，它的输出和当前帧一起加到“运动估计”，求得的运动矢量一方面经VLC送到复用器中去，另一方面加到运动补偿预测器中，使之产生估计帧（对当前帧），它和当前帧相减即求得差值，这个差值经DCT和Q、VLC也送到复用器中去。

运动补偿单元使帧间差最小，从而减少所需传输码率。搜索窗的大小在水平和垂直方向上都是 $\pm 15$ 个采样值。通常只对亮度信号作运动估计，但运动补偿不仅作用于亮度，也作用于色度（亮度象素位移的一半）。

H.261的一幅图像是由块（Block）组成宏块（Macroblock），宏块组成图像组（GOB），图像组组成图像。

H.263标准在低码率下能够提供比H.261更好的图像效果，两者的区别有：

- H.263的运动补偿使用半象素精度，而H.261则用全象素精度和循环滤波；
- 数据流层次结构的某些部分在H.263中是可选的，使得编解码可以配置成更低的数据率或更好的纠错能力；
- H.263包含四个可协商的选项以改善性能；
- H.263采用无限制的运动向量以及基于语法的算术编码；
- 采用事先预测和与MPEG中的P-B帧一样的帧预测方法；
- H.263支持5种分辨率，即除了支持H.261中所支持的QCIF和CIF外，还支持SQCIF、4CIF和16CIF，SQCIF相当于QCIF一半的分辨率，而4CIF和16CIF分别为CIF的4倍和16倍。

### 3.4.3 MPEG-1 标准

MPEG 是 Moving,Picture Expert Group 的缩写词，意为活动图像专家组，他隶属于国际标准化组织（ISO）和国际电工协会（IEC）名下。由该组织规定的视频编码标准就被称为 MPEG 标准。MPEG 标准是现在运用比较广泛的运动图像压缩技术，它的主要特点是利用了 DCT 算法减少图像空间（二维视面）的信息冗余度，利用运动估算与运动补偿来减少图像在时间方向上的冗余度，以达到大幅度压缩图像信息的目的。目前已有 MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 等几种标准。它们都是在不断发展中形成的。

MPEG-1 标准是由活动图像专家组于 1990 年正式公布，其图像传输速率规定为 1.5Mbps，音频信号速率为 64.128-192Mbps，基本分辨率为  $352\times288$ ，主要用于 VCD。MPEG-1 没有采用国际广播协会确定的 CCIR601 分辨图像的指标（NTSC 为  $704\times480$ , PAL 为  $704\times576$ ），而是采用了适当降低图像清晰度标准的方案，使用较低数据率的 1/4 分辨图像的标准（NTSC 制为  $352\times240$ , PAL 为  $352\times288$ ），水平和垂直清晰度均降低一半，并作 VCD 视盘机的图像信号标准。

MPEG-1 由两个主要部分组成：

## 1. MPEG 系统

该系统规范说明如何将符合MPEG标准视频和音频部分的一条或多条数据流与定时信息结合，形成单一的复合流，以便于数据的存储或传输，在MPEG-1的数据流中又分成系统层和压缩层。系统层主要包含定时信息和其他需要分离的音、视频流，以及重播时同步音、视频的信息；压缩层主要含有被压缩的音、视频数据。

## 2. MPEG 视频

该视频部分提供了一种统一的编码格式，用来描述存储在各种数字存储媒体上的经过压缩的视频信息，主要用于对连续传输速率为0.9-1.5Mbps的数字视频序列均含有序列头标、一至多个图像组以及序列结束码，而视频序列的基本编码单元是图，为偶数，而B-Y矩阵和R-Y色差矩阵、R-Y色差矩阵。Y矩阵的行和列均为偶数，而B-Y矩阵和R-Y矩阵无论是在水平方向或是垂直方向均为Y矩阵的一半的尺度。为了保证画面质量，获取高的压缩比，采用了失真算法，使用帧内编码（减少空间相关）和帧间编码（减少时间相关）相结合的办法。帧内编码图像，即为I图像，它在编码时不与其他图像进行参照，它提供编码序列的直接存取（访问）点，并从这一点开始解码。预测编码图像（P图像）使用运动估计与补偿预测进行有效编码，预测时使用过去的帧内编码图像或预测编码图像，并且P图像一般又用作进一步预测的参考。双向预测编码图像（B图像）提供最高的压缩比，但是它需要过去参考图像和将来参图像进行运动补偿，而双向预测编码图像从不用作预测时的参考。

在MPEG-1中，每一幅视频画面都有一个头标和多个画面的切片，通常是垂直方向分片，NTSC制把每帧图像切成15片，而PAL制把每帧图像切成18片。切片同样由一个头标和若干宏块组成，每片分成22个宏块，它的排列从左到右，从顶到底。每一个宏块的亮度部分含有16行，每行有16个像素，这样使用 $16\times 16$ 大小的宏块作为运动补偿的单位。同时还把每一个宏块再分成4份，谓之像块，这样一个宏块含有4个亮度Y的像块和两个色差像块，每一个像块均为 $8\times 8=64$ 个像素，由此可以算出在PAL制画面中，像素数为 $64\times 6\times 22\times 18=152064$ 个像素；在NTSC制画面中像素数为 $64\times 6\times 22\times 15=126720$ 个像素。

### （1）MPEG-1/2标准的层次性结构

MPEG（Moving Picture Expert Group）意思是“运动图像专家组”。这个专家组的任务是为了对数字存储媒质、电视广播、通信等方面运动图像和伴音给出一种通用的编码方法。针对不同的应用目的MPEG专家组制定了MPEG系列标准。为更好地表示编码数据，符合这种编码方法的MPEG运用句法规定了一个层次性的结构，共分六层。这六层是图像序列（Video Sequence）—图像组、（Group of Picture）—图像、（Picture）—宏块条、（Slice）—宏块、（Macroblock）—块（Block）。

视频序列（Video Sequence）：一个视频序列（也称图象序列）由一系列图象组（GOP）组成。

图象组（Group of Pictures）：图象组是由连续的几个图象组成，这些图象被分为I、P、B三种编码图象帧，GOP是编码后视频码流进行编辑的随机存取视频单元，进入点应在I帧的起始端。

图象（Pictures）：图象是一个独立的显示单元，也是图象编码的基本单元，分为I、P、B三种编码图象。

像条（Slice）：像条（宏块条）由一系列连续的宏块组成。像条的宏块应处在同一水平

宏块行内。象条是发生误码后且不可纠正时，数据重新获得同步从而能正常解码的基本单元。对于 $720\times576$ 象素的画面来说，一帧图象里有36个宏块排（ $16\times36=576$ ），宏块排内可以各自有不同的像条划分方法。一个宏块内像条数最少为1个，如果每个宏块排内像条数多，则有利于误码后的重新正确解码，但确增加了码流中附加的信息，从而降低编码效率变。

宏块（Macroblock）：一个宏块由一个 $16\times16$ 象素的亮度阵列和相应区域内的Cb、Cr色差信号阵列共同组成，它是运动预测的基本单元，以宏块为单位得到一个个宏块最佳匹配的运动矢量。但运动预测只对亮度阵列进行，色差阵列的帧间编码使用亮度阵列中得到的运动矢量。在MPEG-1中图象的色度格式是4:2:0,而在MPEG-2中图象的色度格式还包括4:2:2和4:4:4格式。宏块的结构如图所示。

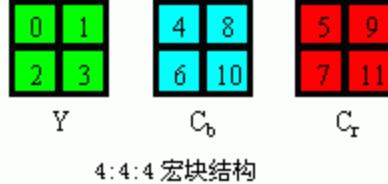
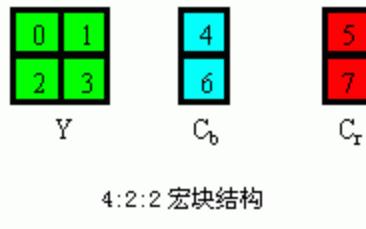
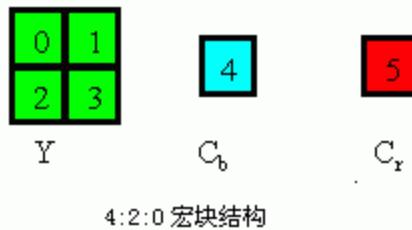


图3-19 宏块的结构图

块（Block）：一幅图象以亮度数据阵列为基准被分成为若干个 $8\times8$ 象素的阵列，简称为块。它是DCT变换编码的基本单元。

MPEG-1和MPEG-2的视频结构如下图所示：

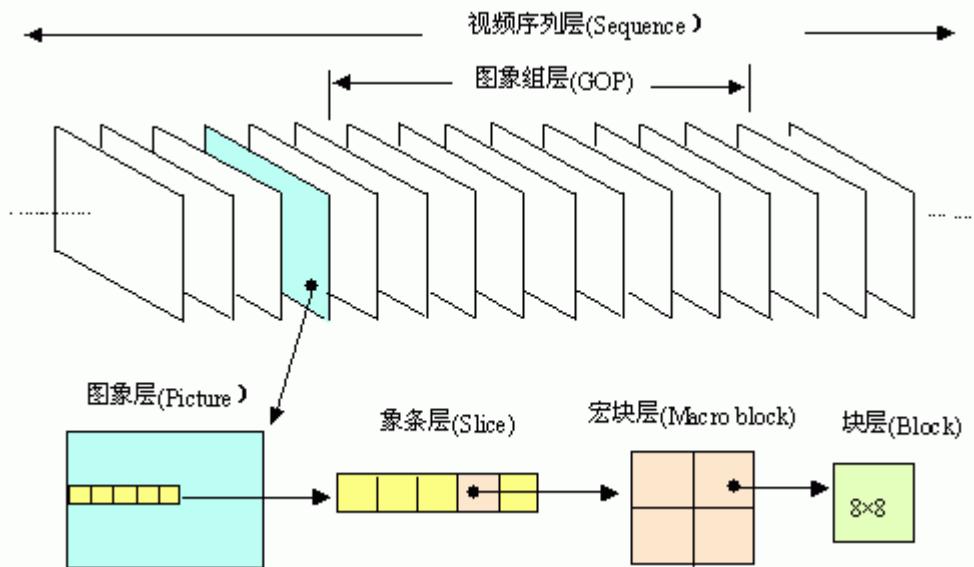


图3-19 MPEG-1和MPEG-2的视频结构

一个图像包含亮度阵列和色度阵列。在MPEG-1中亮度和色度的格式是4：2：0，而在MPEG-2中，除这一格式外，还允许有4：2：2及4：4：4。所谓4：2：0是指在垂直方向每隔一行去除一行色度信号。

## (2) MPEG-1/2中三种类型图像

MPEG在利用块匹配运动补偿来减小时间冗余度时，不仅用上一帧的图像预测当前图像，而且也使用下一帧图像预测当前图像，即双向预测，这是和H.261标准有重要区别的地方。因此，MPEG-1和2中有三种类型图像，即I、B、P三种，如下图所示。

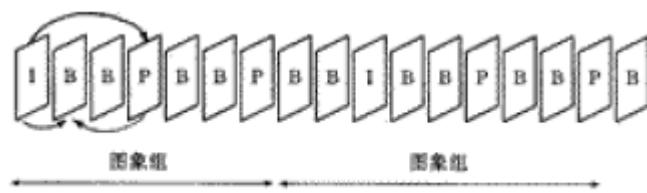


图3-20 MPEG-1和MPEG-2的三种类型图象

I图像或称Intra图像，I帧是只使用本帧内的数据进行编码的图象，不参照其它帧，即只对本帧内的图象象块进行DCT变换、量化和熵编码等压缩处理，是完整的独立编码帧，必须存储或传输；为了保证图象有高的质量，I帧图象的压缩比一般不高，约在(2~5):1的范围内。在一个图象组(GOP)中的第一个编码帧应为I帧。

P图像或称Predicted图像，前向预测编码图象简称“P帧”，P帧是根据前面最靠近的I帧或P帧作为参考帧进行前向预测编码的图象。由于P帧使用了运动补偿压缩方法，压缩比高于I帧，可达到(5~10):1的范围。P帧可以作为B帧和后面的P帧的参考帧。

B图像或称双向预测图像，B帧是根据一个过去的参考帧和一个将来的参考帧进行双向预测的编码图象。其参考帧可以是一个I帧和P帧，或是前后两个P帧。由于B帧是在两个参考帧

基础上双向预测得出的，它的预测精度能做到很高，其压缩比较大，可达到(20~30):1范围。如下图所示：

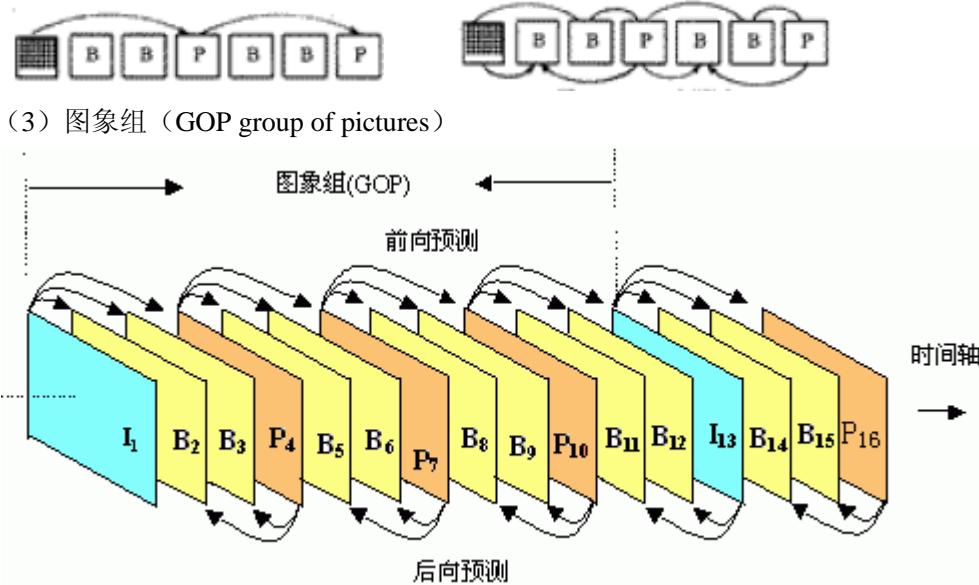


图3-20 图象组

图中的一个GOP中有12帧，其中包含1个I帧、3个P帧和8个B帧，称为一个图象组。MPEG-2编码规范中，对于GOP的长度、GOP内部有几个P帧、一对I、P或P、P之间有几个B帧以及一个GOP结束于B帧还是P帧都没有作规定，这些均由设计者根据需要确定。

#### (4) MPEG-1视频压缩编码标准 (ISO, 1991)

MPEG专家组于1992年制定了MPEG-1标准。标准的文件编号为ISO/IEC11172。主要包括三个部分，第一部分系统、第二部分视频、第三部分音频。MPEG-1视频是面向位速率大约1.5Mbps的视频信号的压缩；MPEG-1音频是面向每通道速率为64Kbps、128Kbps、192Kbps的数字音频的压缩；MPEG-1系统是解决将数字视频、数字音频和辅助数据等多路压缩数据流进行复用和同步的问题。

用于家用VCD的视频压缩的MPEG-1所支持的输入图像格式有两种：352×240×30和352×288×25。其基本算法对于压缩水平方向360个象素、竖直方向288个象素的空间分辨力，每秒24至30幅画面的运动图像有很好的效果。其主要功能如下：

视频压缩编码，可用于视频传输和视频存储；编码前必须将图像转换为逐行扫描图像。在优化模式下采用标准交换格式（SIF）。

录像机的正放、图像冻结、快进、快退和慢放功能以及随机存储功能。

MPEG-1标准采用了运动估计/运动补偿、变换编码等技术，并规定了编码位流的表示语法和具体解码方法。它的图像预测类型可以分成四种情况：帧内预测、前向帧间预测、双向帧间预测和直接预测。因为它针对的是数字存储的应用，它的编解码器是非对称的，其编码端的复杂度通常远远要高于解码端。

MPEG-1中视频编码的关键压缩技术和H.261一样，仍是DCT、运动补偿和Huffman编码。编码器和解码器的原理框图也和H.261没有区别。MPEG-1的信源输入格式是SIF (Source Input

Format)。CCIR601格式的信源要转换成SIF后进入MPEG-1编码器，解码器输出也是SIF格式，显示时要经内插，扩充为CCIR601格式。PAL/NTSC都作如此处理。SIF(625/525)格式如下表所示。

表3-6 SIF(625/525)格式

信号分量	行数/帧	像素数/行
亮度(Y)	240/288	352
色度(Cb)	120/144	176
色度(Cr)	120/144	176

下图所示为MPEG-1视频编码器。图中和H.261不同的部分是有二组运动补偿和存储器，并有相应的转换开关，这是因为MPEG-1有B图像要处理。开关有4种状态，“0”是针对帧内编码，“2”或“3”是用上一帧图像（经S2的虚线a/c）或用下一帧图像（经S2的实线d/b），“4”是用了上一帧和下一帧两幅图像（经S2的实线b和实线c），这时候要相应产生2个运动矢量。

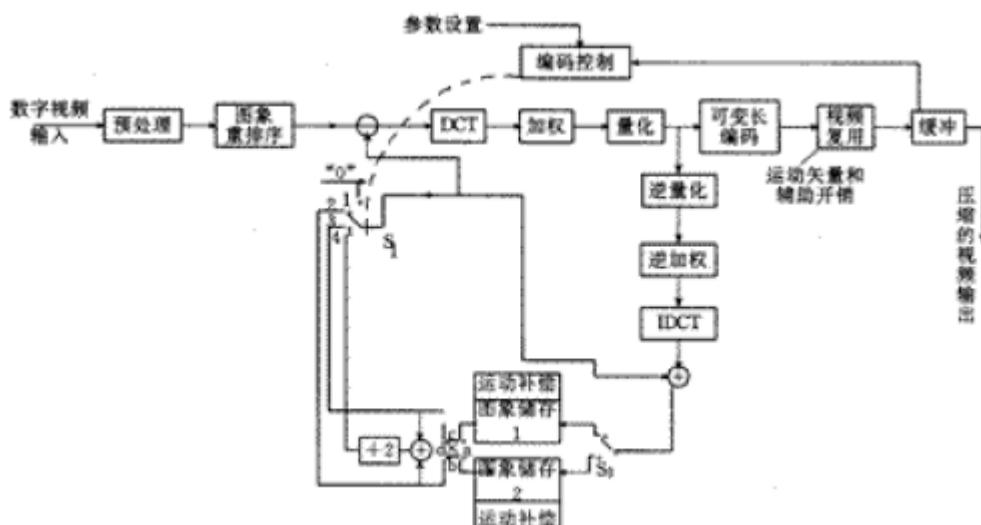


图3-21 MPEG-1视频编码器

### 3.3.4 MPEG-2/H.262 标准

MPEG-2建议(草案)由活动图像专家组于1993年11月提出，主要用于数字电视广播、数字CATV的机顶盒STB及DVD播放机。在这个标准中，图像传输速率为5-10Mbps，音频信号速率为56-256Mbps，基本分辨率为720×480。

MPEG-2 标准的核心部分与 MPEG-1 基本相同，但功能上比 MPEG-1 有了很大的扩充。它不仅支持普通的 CIF、CCIR601 等分辨格式，而且还可以支持清晰度分辨率；不仅支持面向存储媒介的应用，还广泛地支持各种通信环境下数字视频信号的编码与传输，如卫星广播、数字地面广播、DVD 等等；不仅支持恒定比特率传输模式 CBR，还可支持变化比特率传输模式 VBR。MPEG-2 另一个重要特点是其比特流的可分级性，这意味着编码器可以忽略比特流中的增强部分，只解码全部比特流中的基本部分，仍可得到有用的图像序列，只不过这时所得到的图像分辨率低一些，或者帧速率低一些，或者质量低一些。

在 MPEG-2 中，视频比特率的范围约在 2-80Mbps；视频格式有多种，同时还规定了不同的档次和等级。在所规定的档次中有两个：

- 主要档次，称为 MP，是 Main Profile 的缩写词；
- 专业档次，称为 PP，是 Professional Profile 的缩写词。其亮色比例采用 4: 2: 2 格式。

在所规定的等级中有 3 个：

- 高等级，称为 H L，是 High Level 的缩写词，指图像尺寸不大于  $1920 \times 1152$ ；
- 主要等级，称为 ML，是 Main Level 的缩写，指图像尺寸不大于  $352 \times 576$ ；
- 低等级，称为 LL，是 Low Level 的缩写，指图像尺寸不大于  $352 \times 288$ ；

最常用的主要档次（MP）/主要等级（ML）可以简写为 MP@ML，其中 @ 为英文 at。在 NPEG-2 标准中，重建图像显示清晰度的提高，往往需要以视频比特率为代价。例如：

- 超级 VCD，480 像素  $\times 576$  行 /25 帧，视频比特率为 1.89Mbps，压缩比为 44: 1，重建图像显示的清晰度为 350 线；
- 高密度数字激光视盘 DVD，720 像素  $\times 576$  行。25 帧，视频比特率为 3.5-4.5Mbps，压缩比为 36: 1-28: 1，重建图像显示的清晰度为 400-450 线；
- 数字 SDTV（标准清晰度电视），720 像素  $\times 576$  行 /25 帧，视频比特率为 4.0-5.0Mbps，压缩比为 3: 1-25: 1，重建图像显示的清晰度为 400 线；
- 数字 HDTV（高清晰度电视），1920  $\times 1080$  行 /30 帧，视频比特率为 18.8Mbps，压缩比为 40:1，重建图像显示的清晰度为 1000 线。

在采用MPEG-2国际标准进行视频压缩编码，而且压缩编码的算法确定时，如何恰当地选取视频比特率数值，是数字化电视业务的一个关键。

## 1. MPEG-2 标准概述

MPEG-2 (Generic Coding of Moving Picture Associated Audio Information 活动图像及有关声音信息的通用编码) 是由MPEG开发的第二个标准，按计划于1994年11月正式确定为国际标准。

研究制定MPEG-2标准是为了使应用于数字存储媒体、电视广播、通信等方面的运动图像和伴音有一种通用的编码方法。使用这个标准意味着运动图像可以作为一种计算机数据来处理，并且能够存储在各种各样的存储器中，也可以在现有的或未来的网络中传送和接收，还可以在现在的或将来的广播信道中广播。作为一个目前在DVD存储和数字电视广播方面得到了广泛应用的国际标准，它的成功之处在于提出了通用的压缩编码方法，它按照不同的压缩比分成5个档次（Profiles），并按视频清晰度分别分成四个级别（Levels），共有20种组合。

其中最常用的有11种，分别用于标准数字电视、高清晰度电视等，码率从3Mbit/s~100Mbit/s。

MPEG-2在多方面提高了编码参数的灵活性以及编码性能，它综合采用了运动补偿的帧间预测、空间域离散余弦变换、自适应量化和可变长编码的混合编码。同时，开始使用半像素精度的运动矢量搜索，引入了“帧”和“场”的编码方法，根据帧的行间相关系数和场的行间相关系数，判定采用帧分割还是场分割进行编码。为了适应信道的变化和扩大应用范围，MPEG-2采用三种分级编码：空间域分级、时间域分级和信噪比分级。

## 2. MPEG-2 标准的组成部分

MPEG-2标准分为多个部分，即系统，视频，音频，符合测试，软件模拟，DSM-CC扩展的完全软件实现，系统解码的实时接口扩展。其中H.262就是它的视频编码部分。

第一部分是系统（System）部分（ISO/IEC IS13818-1），系统部分解决多个视频，音频和数据基本码流的复用和同步问题。分别从MPEG-2编码器中输出的视频，音频和数据基本码流无法直接送信道传输，需要经过打包和复用，形成适合传输的单一的MPEG-2传输码流。

在第二部分是视频（Video）部分（ISO/IEC IS 13818-2），主要涉及各种比特率的数字视频编码。

第三部分音频（Audio）部分（ISO/IEC IS 13818-3）扩充了MPEG-1的音频标准，与MPEG-1音频标准反向兼容，并支持多通道音频编码，达到了5.1声道之多。

第六部分是规定数字存储媒体指令和控制（Digital Storage Media command and control: DSM-CC）协议，用以支持单独的或网络环境下的DSM-CC模式，将码流从服务器传送给用户，已于1996年6月通过。

第七部分规定不与MPEG-1音频反向兼容的多通道音频编码，这一标准已在1997年4月通过。

第八部分原计划用于10比特视频抽样的编码，但因有兴趣的厂家不多，已停止。

第九部分规定了传送码流的实时接口（Real Time Interface: RTI），于1996年6月通过为国际标准。

第十部分将是DSM-CC的符合测试标准。

## 3. MPEG-2 的“类”和“级”

由于想使这个标准适用于各种不同的应用，而各种应用在码率、分辨力、图像质量和服务方面要求又各不相同，所以希望这个标准要有通用性。在这个标准产生的过程中，考虑了各种应用的不同要求，开发了必要的算法，并且把它们集中成为一种单一的句法。正因为如此，这个标准使得各种不同应用的码流之间可以灵活地相互改变。既要使句法有通用性，又不能要求具体的解码器全面满足整个句法的需要，那样具体的解码器就太复杂了。为了解决通用性和特殊性的矛盾，设想将整个 ISO/IEC 的句法分成子集，这样分的子集就称为 Profile，我们称之为“类”。

MPEG-2 视频标准的技术规范集由 5 类（profile）4 级（level）组成，并采用分级编码。MPEG-2 不同的压缩和处理方法，称为类（Profiles），每一类都包括压缩和使用方法的一个集合。不同的类意味着使用不同集合的码率压缩工具，MPEG-2 共分 5 类：

- 简单类 SP（Simple Profile），简单型采用 I 帧和 P 帧两种编码帧；
- 主类 MP（Main Profile）和主类的扩展类 P（Profile）：主类采用了 I 帧、P 帧和 B

帧三种编码帧，增加了双向预测方法（Bi-directional prediction），在相同比特率的情况下，将给出比简单型更好的图象质量，可实现效率较高的压缩。具有后向兼容性，即 MP 解码器也能解用 SP 方法编码的图象；

- 信噪比可分级类 SNRP (SNR Scaleable Profile): SNRP 将视频数据分成基本层和上层。基本层表示编码图象的基本数据但图象质量较低，增强层可用来改进提高图象的信噪比，SNRP 可分级的目的是提供传输两层业务的机制，低层和增强层两个比特流结合将给出较高的图象质量；
- 空间可分级类 SPP (Spatially Scaleable Profile): SSP 允许多分辨率编码技术，适合于视频业务相互操作的应用；
- 高级类 HP (High Profile): HP 对亮度取样率、最大比特率和 VBV 缓存容量都有不同约束。

这个“类”规定的子集还觉得太大，有必要再分得细一些。例如图像的尺寸有小有大的，因此，在 Profile 中又规定了“level”，称为级。所谓级是指 MPEG-2 的输入格式，包括从有限清晰度质量图像到 HDTV 质量图像，每一种输入格式编码后都有一个相应的范围。MPEG-2 共分为低级 LL (Low Level)、主级 ML (Main Level)、1440 高级 H14L (High 1440 Level) 高级和 HL (High Level) 4 级。

“级”和“类”的若干组合构成MPEG-2视频编码标准的某种特定应用。对某一输入格式的图像，采用特定集合的压缩编码工具，产生规定速率范围内的编码码流。MPEG-2标准特别适用于广播级数字电视的编码和传送。现有数字电视广播系统就利用了MPEG-2的这种可分级性，使数字信号能同时覆盖接收条件好的和接收条件差的地区。MPEG-2格式经常用级和类的缩写表示，如：MP@ML是指主类和主级，目前用于普通数字电视、卫星、电缆、广播的 DVB 标准就是用这一格式；而HDTV采用的是MP@HL主类和高级；用于演播室编辑用的4:2:2MP@ML于1996年1月通过，合并于视频标准中；目前还在开发的还有多重观看点类 (Multiview Profile: MVP)，允许使用现有MPEG-2视频编码工具将两个相差小角度的摄像机摄取的同一场景进行有效的编码。

但是并不是所有的级和类的组合都有用，只有11种是有可能有实际应用的。ISO/IEC13818-2 (即MPEG-2视频) 规定了5个类和4个级如下表所示：

表3-7 MPEG-2的“类”和“级”

型 profile 级 level	简单型 SP 4:2:0	主型 MP 4:2:0	信杂比可分级 型 SNRP 4:2:0	空间可分级型 SSP 4:2:0	高型 HP 4:2:0、4:2:2
高级 HL 1920×1080×30 1920×1152×25		MP@HL 80Mbps			HP@HL 全部层 100Mbps 底层 25 Mbps
高 1440 级 H-1440L 1440×1080×30 1920×1152×25		MP@ H1440L 60Mbps		SSP@H1440L 全部层 60Mbps 底层 15 Mbps	HP@H1440L 全部层 80Mbps 底层 20 Mbps
主级 ML 720×480×30 720×576×25	SP@ML 15Mbps (无 B 帧)	MP@ML 15Mbps	SNP@ML 全部层 15Mbps 底层 10Mbps		HP@ML 全部层 20Mbps 底层 4 Mbps
低级 LL 352×248×30 352×288×25		MP@LL 4Mbps	SNP@LL 全部层 4Mbps 底层 3Mbps		

#### 4. MPEG-2 编码器原理

MPEG-2编码器原理框图如下所示：

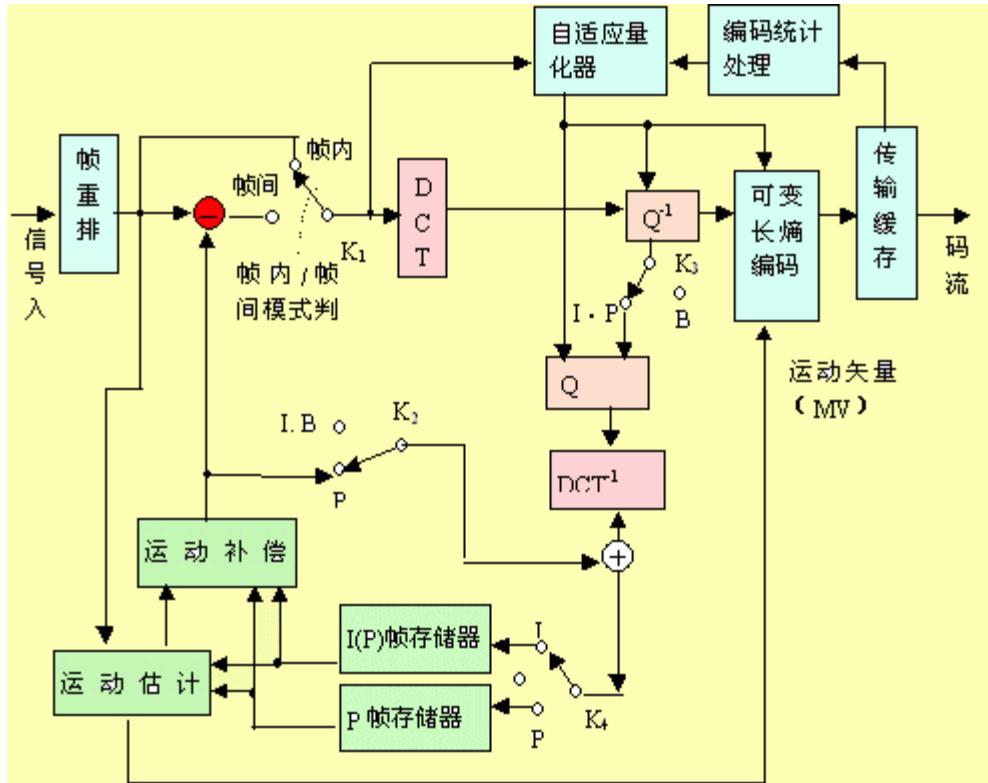


图3-22 MPEG-2视频编原理框图

当P帧的宏块进入编码器时，前面的I帧已经储存在I帧存储器中作为参考帧。运动估计器ME（Motion Estimation）在I帧中搜索与P帧输入宏块最佳的匹配宏块。在I帧搜索到的最匹配宏块相对于P帧宏块的位置就是运动矢量MV（Motion Vector）。

运动矢量分为两路输出，一路送到熵编码器中进行编码，另一路送入运动检测器MC（Motion Compensation）中，同时I帧图象也输入到MC中。根据运动矢量坐标以及P帧宏块的位置找到I帧中的匹配宏块。该宏块由运动检测器输出向上分为两路，一路进入减法器与P帧宏块相减得预测误差。

当B帧的宏块进入编码器时，参考帧I、P帧或P、P帧已经储存在I帧和P帧存储器内作为参考帧。运动估计器，进行双向运动预测。找到两个运动矢量后，分两路输出，一路送到熵编码器，另一路送到运动补偿预测器，同时I帧和P帧也一起输到此预测器。由B帧宏块位置和两个运动矢量MV1、MV2，可以分别找到I帧的匹配宏块和P帧的匹配宏块，将它们按比例相加后，由预测器输出，作为帧间预测值。然后进入减法器与B帧宏块相减得预测误差。预测误差经过DCT和量化器后，直接进入熵编码器，由于B帧不作为基准帧，所以不必进入存储器。

由于在编码B帧时，需要用将来的一个帧作为参考帧，因此需要把按显示顺序送进来的图象序列重新排列后再进入编码器，这称为帧重排。图象序列的显示顺序和帧重排后图象序列的编码顺序如下图所示：

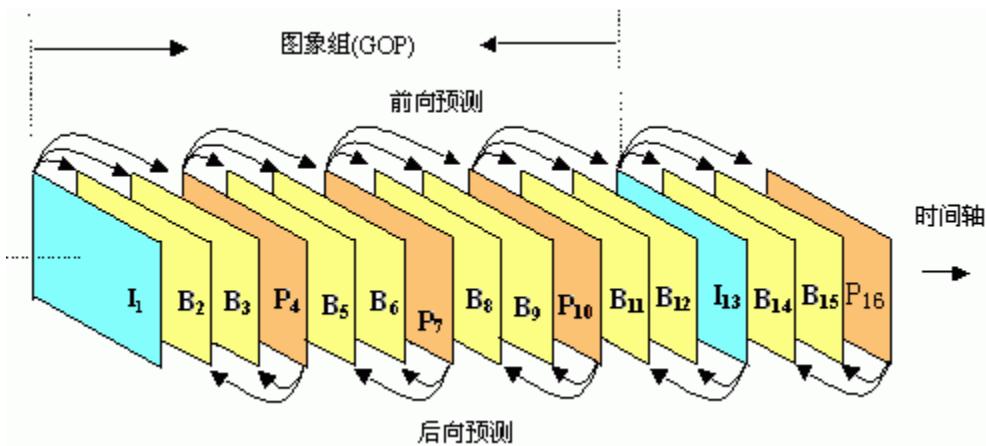


图3-23 双向预测示意图

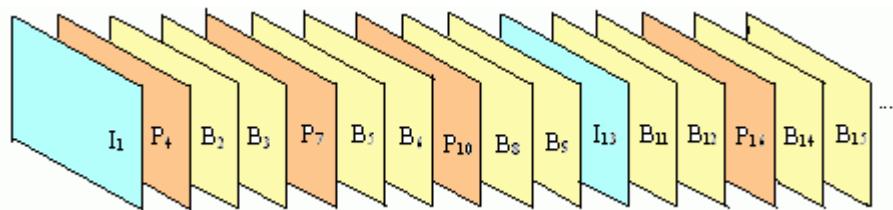


图3-24 倾重排后图象序列的编码顺序

## 5. MPEG-2 中的分级编码

MPEG-2分级包括：空间分级、SNR分级、时间分级等。

空间可分级：空间可分级增强层使用的预测是依据较低层样点数据进行的，不使用运动矢量。各层可以有不同的帧尺寸、帧频或色度格式。空间分级视频解码过程框图如图所示。

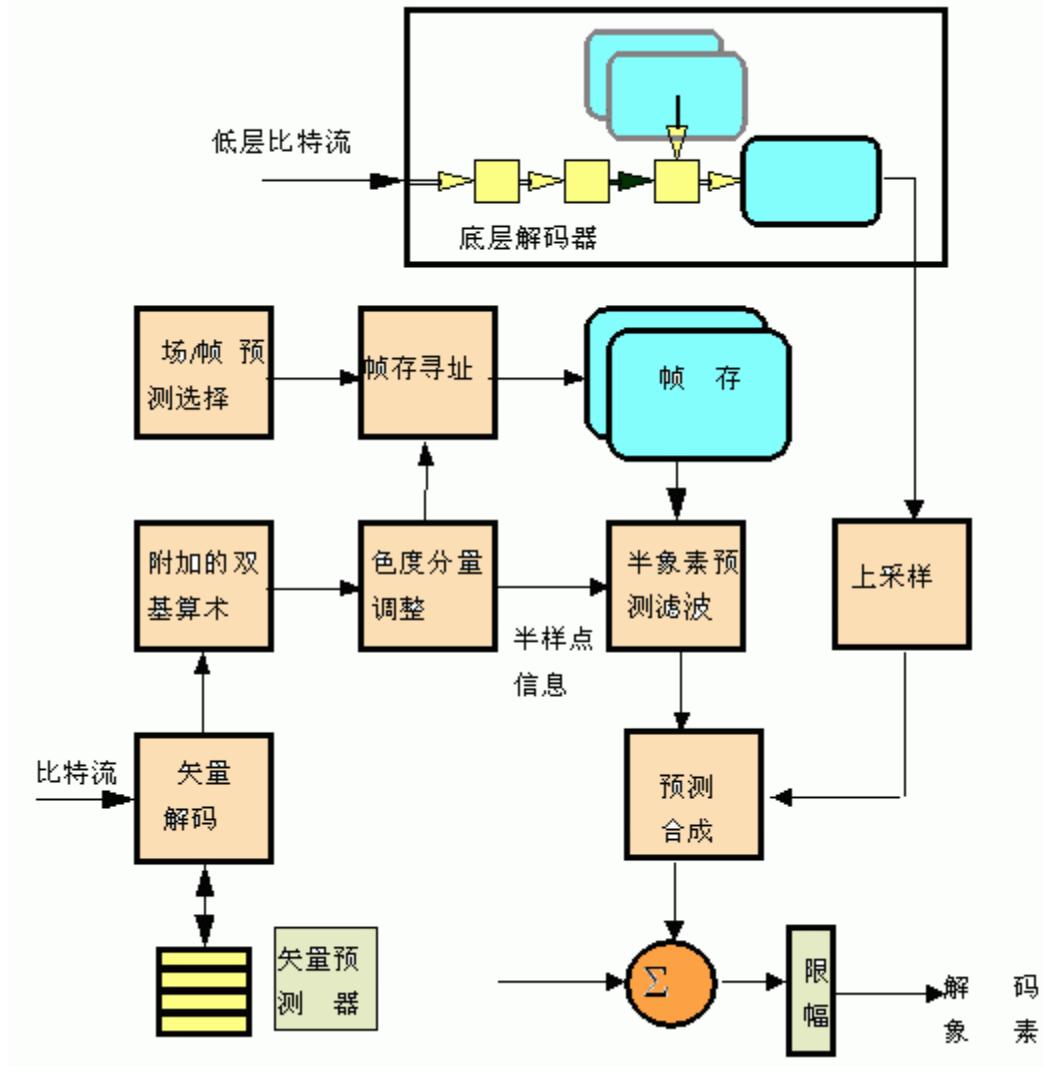


图3-25 空间分级视频解码框图

(1) SNR可分级: SNR分级的主要目的是提供传输两层业务的应用,这两层提供相同的图象分辨率但有不同的质量等级。将一个序列编码成低层和增强层两个比特流。低层比特流可以独立于增强层比特流进行解码。例如低层码率在3到4Mb/s, 提供相当于现有NTSC/PAL/SECAM质量的图象质量。通过使用低层和增强层两个比特流, 增强解码器可以输出主观接近演播室质量的图象质量, 总码率为7至12 Mb/s。信噪比可分级解码框图如图所示:

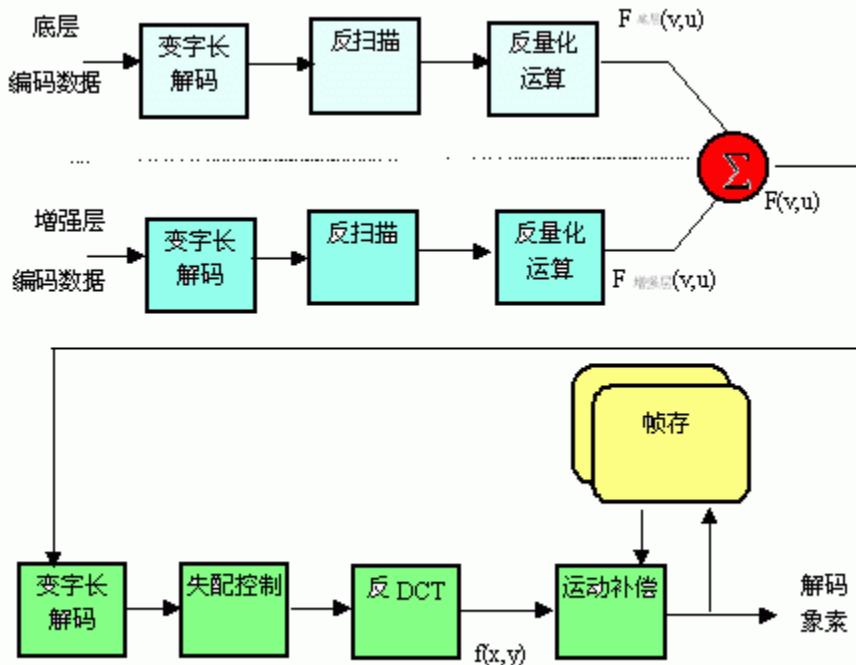


图3-26 SNR分级的解码处理框图

(2) 时间可分级：时间分级增强层使用的预测是依据较低层样点数据进行的，使用了运动矢量。包含底层和增强层的两层时间分级编码结构如下图所示。

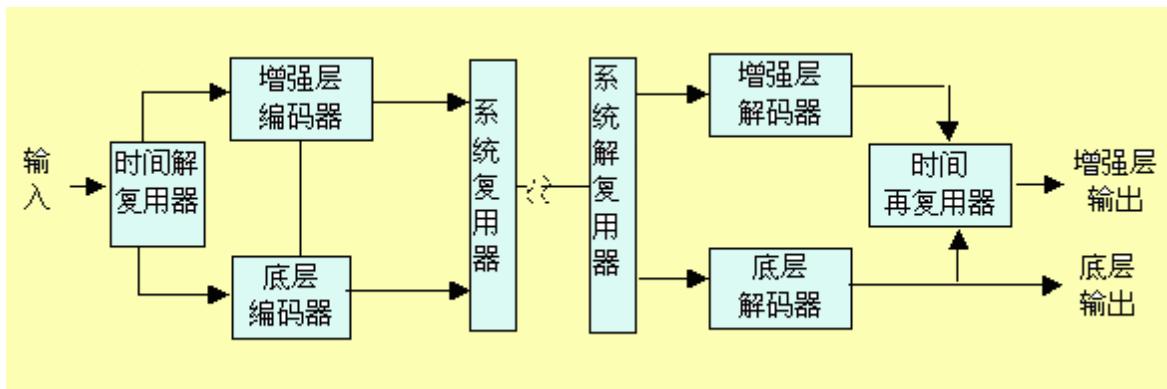


图3-27 时间可分级的编解码器框图

输入到时间解复用器上的是全时间分辨率视频，经过时间解复用形成两个视频序列，一个作为底层编码器的输入，另一个作为增强层编码器的输入。底层编码器是以半时间分辨率工作的非分层结构编码器；增强层编码器为主型编码器，使用底层解码的图象进行运动补偿预测，也以半时间分辨率工作。在系统复用器中将底层和增强层的编码比特流复用成单一码流。系统解复用器提取出两个比特流，将相应的比特流输入到层和增强层解码器。底层解码器的输出可以以半时间分辨率单独显示，与增强层解码帧时间再复用后以全时间分辨率显示。

时间分级的增强层运动补偿解码框图如下图所示。

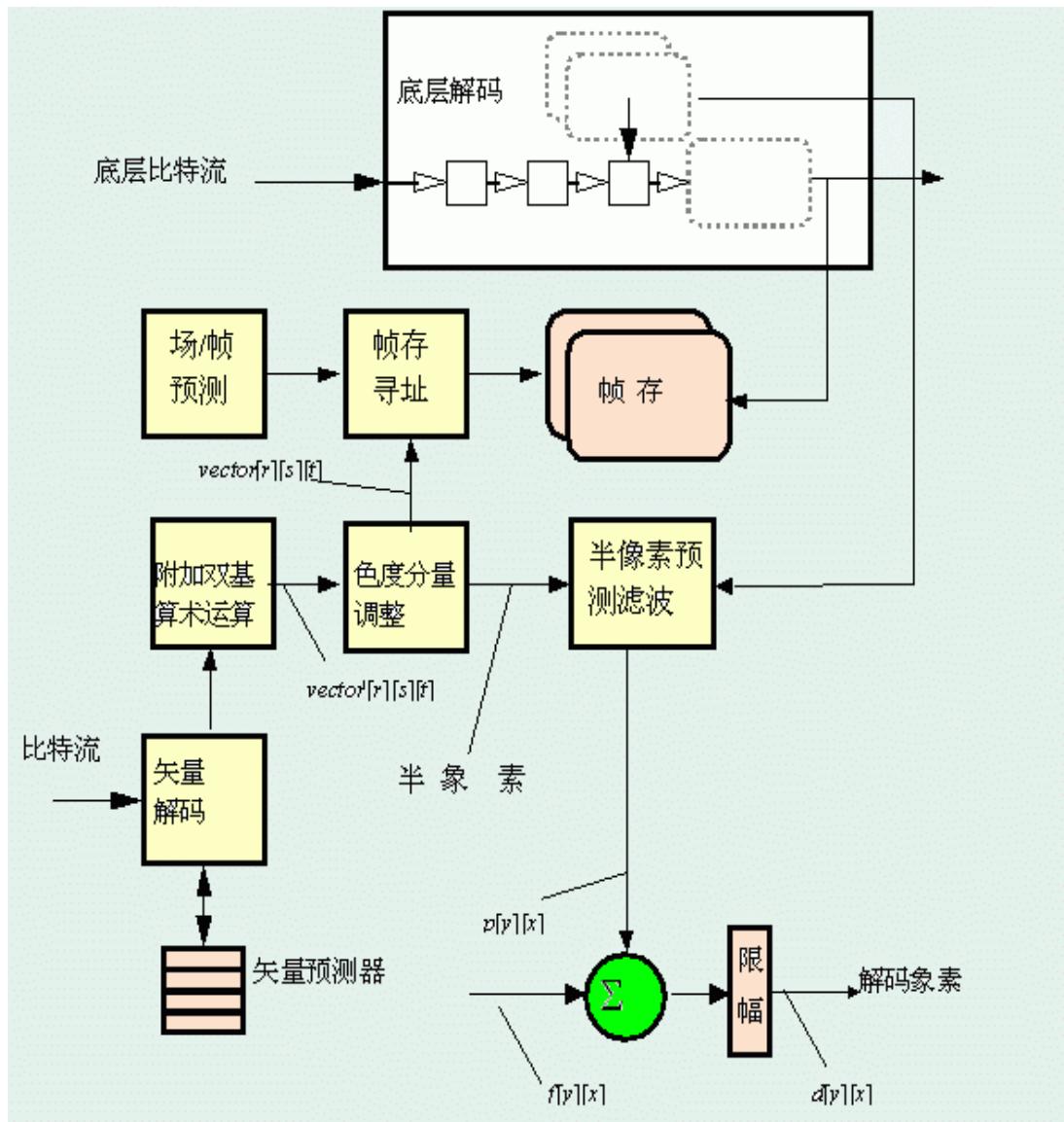


图 3-28 时间可分级的增强层运动补偿解码框图

## 6. MPEG-2 解码

MPEG-2 解码是 MPEG-2 编码处理的逆过程，原理框图如下：

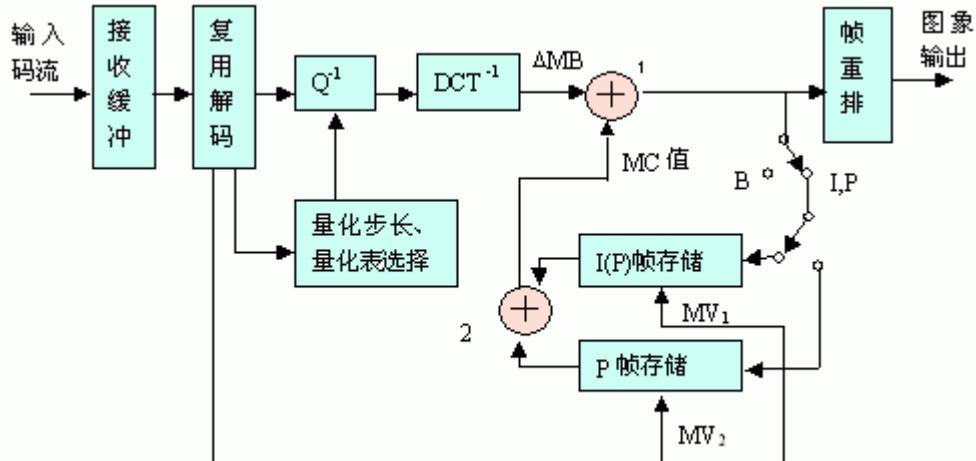


图 3-29 MPEG-2 编码处理的逆过程框图

MPEG-2 中编码与解码电路不是一一对应的，编码复杂，解码简单，因为解码所需的许多参数如运动矢量、预测值和量化表等都在传输码流中提供给接收端，解码器直接使用就可以。因此解码框图中没有复杂的运动预测电路。

(1) I 帧解码：当 I 帧数据输入时，经接收缓冲和解复用后视频 ES 流通过  $Q^{-1}$  和  $DCT^{-1}$  形成 I 帧宏块数据，因为它是帧内编码，没有运动预测，所以加法器 1、2 不起作用，宏块数值直通到帧重排内缓存起来，同时进入下面的 I (P) 帧存储器。反量化器所需的量化表存储在解码器中，由码流中分离出的数据标识进行选取。

(2) P 帧解码：随后输入的 P 帧数据为宏块预测差值，以及运动补偿矢量和量化步长等信息，经解复用后视频数据通过  $Q^{-1}$  和  $DCT^{-1}$  将得到的量化步长送入去量化器，得到的宏块帧差  $\Delta MB$  进入加法器 1，得到的运动矢量  $MV_1$  去控制 I 帧存，从 I 帧存中找到的相应的 I 帧宏块，在加法器 2 中输出 MC 值。在加法器 1 中，使  $\Delta MB$  与 MC 值相加，即  $\Delta MB$  与 I 帧存内的匹配宏块数据  $I(x+h,y+v)$  相加，得到当前 P 帧的宏块数据  $MB(x,y)$ 。它一路送入帧重排器，另一路送入 P 帧存储器。

(3) B 帧解码：接着输入的 B 帧数据象 P 帧那样地经解码后将得到的  $\Delta MB$  送入加法器 1，得到运动矢量  $MV_1$ 、 $MV_2$ ，分别送入 I 帧存、P 帧存，从那里得到相应的预测宏块并乘以比例系数，从加法器 2 中输出后也送入加法器 1。于是，在加法器 1 中得到当前 B 帧的宏块数据  $MB(x,y)$  送入帧重排器。B 帧不作为参考帧，故 B 帧的宏块数据不输入帧存储器。

(4) 帧重排：在帧重排内将解码后的图像组，重排成编码时输入的显示图像的原始序列。

## 7. MPEG-2 系统复用

MPEG-2 系统部分主要规范如何将一个或多个视频流、音频流和其他辅助数据流复合成一个数据流以适应存储和传送。复用器将编码器来的视频、音频数据流，按照一定的复用规范交织复用成符合 MPEG-2 系统层规范的单一的系统码流。为了实现音、视频的解码同步，在码流中还需插入各种时间标记，系统控制等信息，最后送到信道编码与调制器。单路节目的视音频数据流的复用框图如图所示。

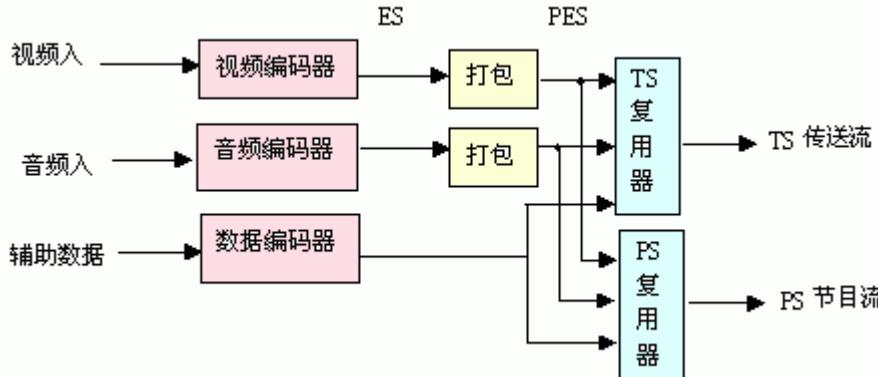


图 3-30 视音频数据流的复用框图

(1) 基本数据流 (ES Elementary Stream)：视频和音频信号压缩编码后的码流称为基本数据流 ES。

(2) 打包了的基本码流 (PES Paketized Elementary Stream)：ES 流经过打包器输出 PES 流。PES 包是非定长的，音频 PES 包不超过 64K 字节，视频一般一帧一个 PES 包。为实现解码的同步，还需插入相关的标志信息。PES 包的结构图如下图所示。

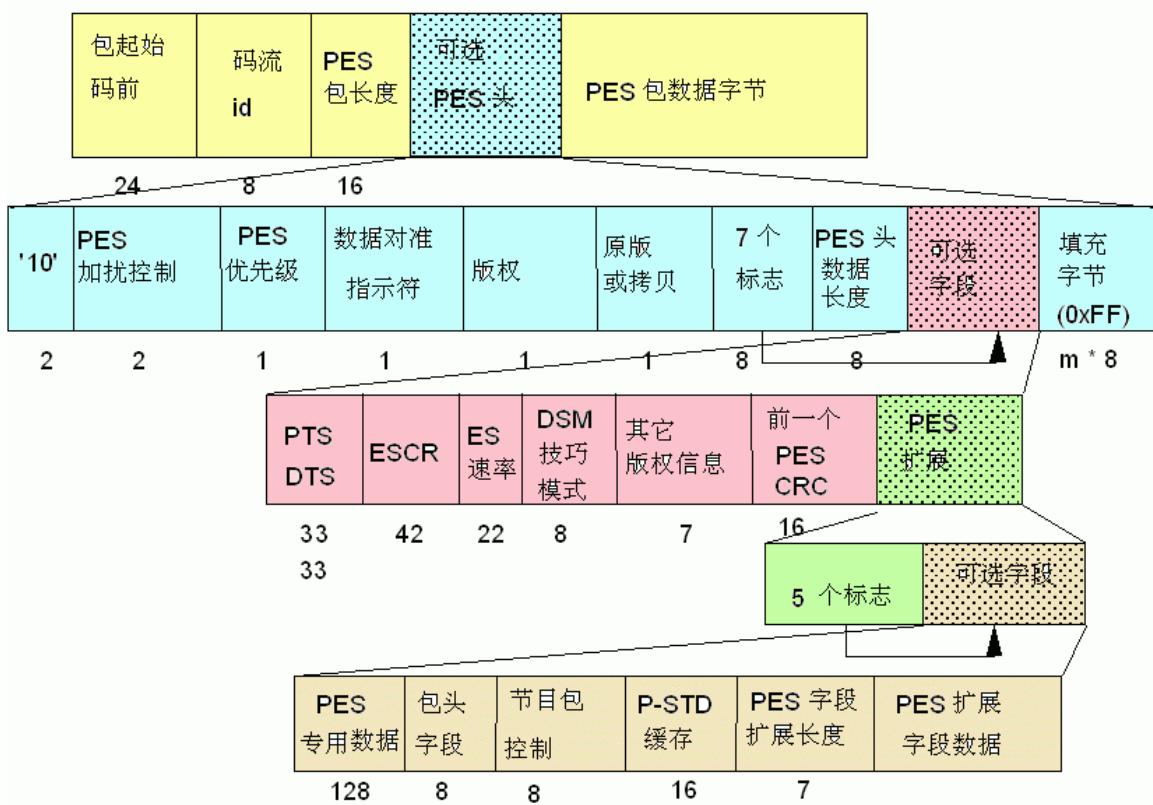


图 3-31 PES 包的结构图

(3) 节目流 (PS Program Stream) : ES 流经过 PS 复用器后输出 PS 流, PS 流是针对误码比较小的环境设计的, 适用于演播室、家庭环境和存储媒介的应用。PS 包的长度是可变的, 相对较长。

(4) 传输流 (TS Transport Stream) : ES 流经过 TS 复用器后输出 TS 流, TS 流是针对那些容易发生误码的环境而设计的。TS 包的长度是固定的, 为 188 字节。它适用于差些的信道环境中应用。TS 包的结构图如下图所示。包头为 4 个字节 (32 比特), 其中同步占 8 比特, 包标识符 (PID) 占 13 比特。

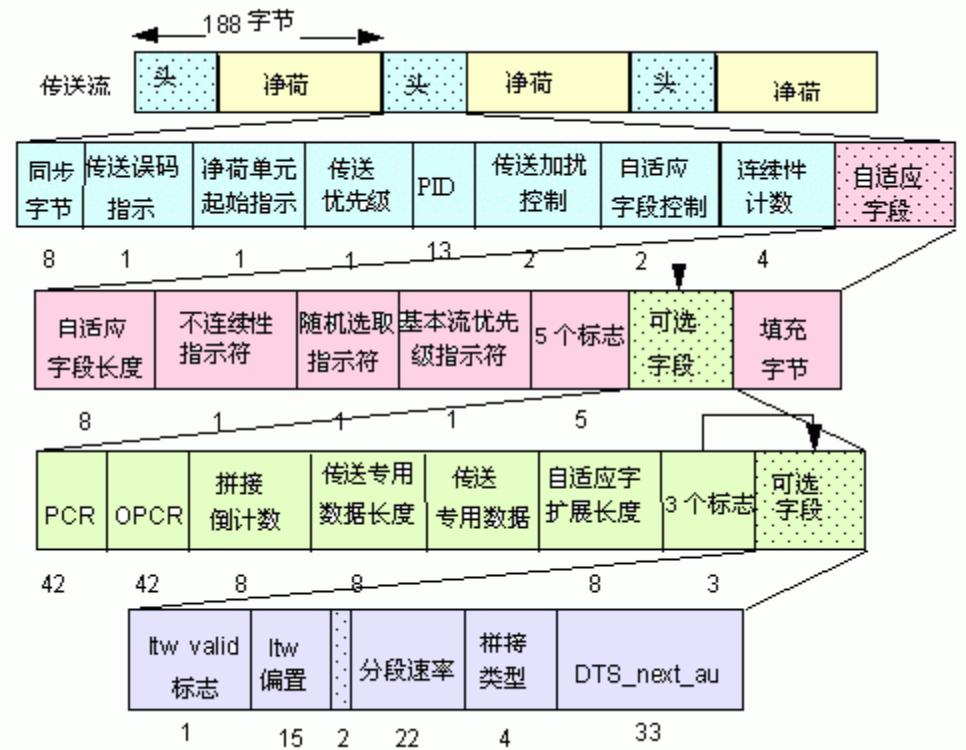


图 3-32 TS 包句法结构示意图

多路节目视音频数据流的系统复用。

如果一个电视频道内传多套数字电视节目, 需要将诸个 TS 流进一步时分复用成一路总的多节目 TS 流, 多路节目视音频数据流的系统复用框图如下图所示。

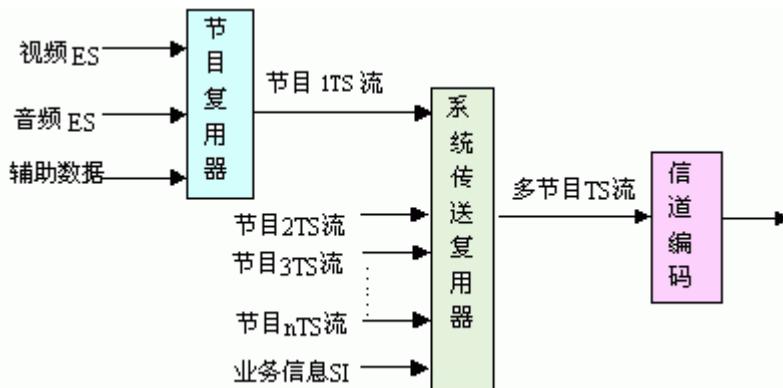


图 3-33 多路节目视音频数据流的系统复用框图

在多路节目复用中，还可根据各套节目的内容精细粗略和运动速度快慢而分配它们以不同的 TS 包数目，实现码率动态复用，达到各套节目都有尽可能好的图像质量。

### 8. MPEG-2 节目专用信息

在 MPEG-2 中定义了节目特定信息（PSI），PSI 提供了使接收机能够自动配置的信息，用于对复用流中的不同节目流进行解复用和解码。

PSI 信息由以下几种类型表组成：

- 节目关联表（PAT Program Association Table）：PAT 表由 PID 为 0 的 TS 包传送。它的主要作用是针对复用的每一路传输流，提供传输流中包含那些节目、节目的编号以及对应节目的节目映射表（PMT）的位置，即 PMT 的 TS 包的包标识符（PID）的值，同时还提供网络信息表（NIT）的位置，即 NIT 的 TS 包的包标识符（PID）的值。
- 条件接收表（CAT Conditional Access Table）：CAT 表由 PID 为 1 的 TS 包传送。它提供了在复用流中条件接收系统的有关信息，指定 CA 系统与它们相应的授权管理信息（EMM）之间的联系，指定 EMM 的 PID，以及相关的参数。
- 节目映射表（PMT Program Map Table）：节目映射表指明该节目包含的内容，即该节目由哪些流组成，这些流的类型（音频、视频、数据），以及组成该节目的流的位置，即对应的 TS 包的 PID 值，每路节目的节目时钟参考（PCR）字段的位置。
- 网络信息表（NIT Nerwork Information Table）：网络信息表提供关于多组传输流和传输网络相关的信息，其中包含传输流描述符、通道频率、卫星发射器号码、调制特性等信息。
- 传输流描述表（TSDT Transport Stream Description Table）：传输流描述表由 PID 为 2 的 TS 包传送，提供传输流的一些主要参数。
- 专用段（private\_section）：MPEG-2 还定义了一种专用段用于传送用户自己定义的专用数据。
- 描述符（Descriptor）：除了上述的表之外，MPEG-2 还定义了许多描述符，这些描述符提供关于视频流、音频流、语言、层次、系统时钟、码率等多方面的信息。在 PSI 的表中可以灵活的采用这些描述符进一步为接收机提供更多的信息。
- PSI 结构和 TS 流的关系示例如下图所示：

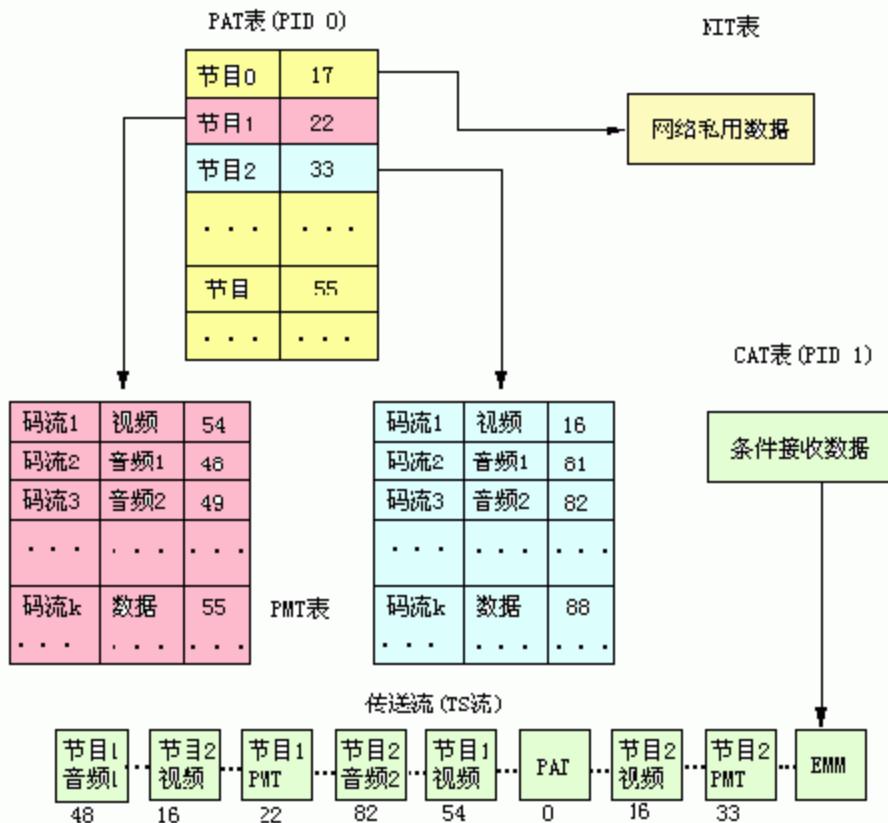


图 3-34 PSI 结构和 TS 流的关系示例图

其中 PID 是 TS 包的包标识符，一共 13 位。在解码时，接收机首先找到 PAT 表，找出相应节目的 PMT 表的 PID，再由该 PID 找到该 PMT 表，再在 PMT 表中找到相应的码流，然后开始解码。

### 3.3.5 MPEG-4 标准

MPEG-4 是一个多媒体通信标准。其应用十分广泛，既可以应用于高质量的数字电视，又可以应用于极低码率的移动多媒体通信系统，还可以以互方式进行工作。MPEG-4 标准中，对称动通信信道，视频的数码率为 5-64Kb/s；对影视应用视频的数码率可高达 2Mb/s。

由于预见到通用可编程 DSP 技术的发展，及相对于用软件实现标准的明显优势，活动图像专家组于 1993 年 7 月便开始了制定 MPEG-4 标准，1997 年 1 月，MPEG-4 的第一片正式分布，但 MPEG-4 的工作尚未结束。第二版的标准还在制定之中。MPEG-4 将是一个多媒体通信时代被广泛应用的国际标准。其实现技术还有待于进一步的研究与开发。另外，MPEG-7 也将成为未来国标标准，目前正处于开发探讨阶段。

综上所述，随着多种国际编码标准的实施，我国数字高清晰度电视视频编码器的实时实现已成为必然。其实现方法为：先将  $1440 \times 1152$  的 HDTV 画面划分成 4 个  $720 \times 576$  的 SDTV 子画面，由 4 个 MPEG-2MP@ML 子编码器并行编码，最后将 4 路码流合成为高清晰度电视

码流。为了较彻底地解决十字边界效应问题，子图像重建质量均衡策略主要采用了：1.过界运动估计/运动补偿；2. 码率分配和量化控制策略。

随着微电子技术的发展，我国高清晰度电视最终采用  $1920 \times 1152/4:2:2$  格式。运动图像专家组 MPEG 于 1999 年 2 月正式公布了 MPEG-4 (ISO/IEC14496) 标准第一版本。同年年底 MPEG-4 第二版亦告底定，且于 2000 年年初正式成为国际标准。与 MPEG-1、MPEG-2 不同，MPEG-4 并不仅仅着眼于定义不同码流下的压缩编码标准，而是更多的强调多媒体通信的交互性和灵活性，以及多工业领域的融合。

MPEG-4 初衷是针对视频会议、可视电话的超低比特率编码的。但随着芯片性价比的提高使得基于软件平台的压缩编码具有实用的可能，且人们在对视频信息的应用需求从播放型逐渐转到基于内容的访问和操作型，所以它制定的新目标为支持多媒体应用（侧重于对多媒体信息内容的访问），可根据应用要求配置解码器。

MPEG-4 代表了基于模型/对象的第二代压缩编码技术，它充分利用了人眼视觉特性，抓住了图像信息传输的本质，从轮廓、图形、纹理思路出发，支持基于视觉内容的交互功能，这适应了多媒体信息的应用由播放型转向基于内容的访问、检索及操作的发展趋势。MPEG-4 的目标是建立一个通用有效的编码方法，对称之为音视频对象的应用音视频数据格式进行编码，这些音视频对象可以是自然的 (Natural) 或合成的 (Synthetic)。使用的工具可以来自自己的标准如 MPEG-1, MPEG-2、H.261 和 H.263，也可以采用 MPEG-4 专门开发的工具来编码。

### 1. MPEG-4 的主要特点

MPEG-4 标准的主要特征就是采纳了基于对象 (Object-Based) 的编码等第二代编码技术。所谓的对象是在一个场景中能够访问和操纵的实体，对象的划分可以根据其独特的纹理、运动、形状、模型和高层语义为依据。这种编码是一种基于内容的数据压缩方式，如将图像分割为运动物体对象和静止不动的背景对象平面，并对这两个对象进行分别处理。

背景对象可以采用压缩比较高的办法进行编码，运动物体对象采用压缩比较低、损失比较小的办法，这样就在压缩效率和解码图像质量间得到较好的平衡。

基于对象的编码除了能提高数据的压缩比，还能实现许多基于内容的交互性功能，允许将场景中的运动对象同与此对象相关的信息连接起来，从而就可以实现很多应用如基于内容的多媒体数据存取等。

MPEG-4 标准将众多的多媒体应用集成于一个完整的框架内，旨在为多媒体通信及应用环境提供标准的算法及工具，从而建立起一种能被多媒体传输、存储、检索等应用普遍采用的统一数据格式，并根据不同的应用需求，现场配置解码器，开放的编码系统也可随时加入新的有效的算法模块。MPEG-4 中运动估计和补偿可以看作针对任意形状图像序列的块匹配技术的延伸。MPEG-4 为多媒体数据压缩提供了一个更为广阔的平台，更注重于定义一种格式和框架，而不是具体的算法，这样可以建立一个更自由的通信和研发环境，可以在系统中加入许多新的算法，为使用计算机软件实现编码和解码提供更大的方便。它还可以将各种各样的多媒体技术充分运用在编码中，除包括压缩本身的一些工具、算法外，还包括图像分析和合成、计算机视觉、计算机图形学、虚拟现实和语音合成技术。

MPEG-4 可以对不同来源的视音频对象进行合成。视音频对象可以是自然的（摄像机或麦克风捕捉到的）也可以是人工合成的；这些对象可以是单声道、立体声和多声道音频，2D

和 3D 立体视频，也可以是计算机图形，动画，文字等。各种对象通过各自的解码工具进行解码，同时可以创建新的视音频对象。MPEG-4 标准同以前标准的最显著的差别在于它是采用基于对象的编码理念，即在编码时将一幅景物分成若干在时间和空间上相互联系的视频音频对象，分别编码后，再经过复用传输到接收端，然后再对不同的对象分别解码，从而组合成所需要的视频和音频。这样既方便我们对不同的对象采用不同的编码方法和表示方法，又有利于不同数据类型间的融合，并且这样也可以方便的实现对于各种对象的操作及编辑。例如，我们可以将一个卡通人物放在真实的场景中，或者将真人置于一个虚拟的演播室里，还可以在互联网上方便的实现交互，根据自己的需要有选择的组合各种视频音频以及图形文本对象。

基于对象的分级功能是 MPEG-4 提供的又一个新的功能，同时兼容于 MEPG-2 标准中的图像分级功能，分级工具主要用于因特网和无线网等窄带的视频通信、多质量视频服务和多媒体数据库预览等服务。

## 2. MPEG-4 的主要内容

MPEG-4 主要包括系统、视频、音频和多媒体传送集成框架（DMIF）等部分，随着标准的发展，MPEG-4 的内容也不断充实和改进。

MPEG-4 基于对象的视频编解码总体框图如下图所示：

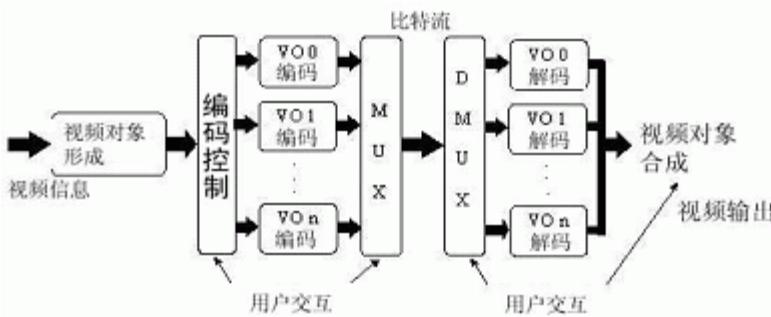


图 3-35 MPEG-4 编解码系统

首先，对自然视频流进行视频对象平面（VOP）分割，由编码控制器为不同视频对象（VO）的形状、运动、纹理信息分配码率，对各个 VO 分别独立进行编码，然后复用成一个输出码流。编码控制和复用部分可以加入用户的交互控制或智能算法控制。接收端经解复用，将各个 VO 分别解码，然后将解码后的 VO 合成场景输出。解复用和 VO 合成时也可以加入用户交互控制。它围绕 AV 对象的编码、存储、传输和组合而制定的，它是第一个使用户在接收端对画面进行操作和交互访问的编码标准。

视频部分：MPEG-4 的视频编码包括：形状编码、运动估计和补偿、纹理编码、可分级编码、Sprite 编码等。

(1) 纹理编码：MPEG4 中静止图像的编码又称为静态纹理编码，并单独提供了一种模式，与基于 DCT 的活动纹理编码技术相比，这种静态纹理编码技术提供了更强的可分级能力，其主要基于小波变换和算术编码。

(2) 分级编码：MPEG-4 的一个主要特点就是其可分级特性。与 MPEG-2 中以帧为基础的可分级性相比，MPEG-4 分级编码允许基于内容的随机访问和 VOP 在不同的时间及空间分

分辨率下的传输。MPEG-4 通用分级编码框图如图所示：

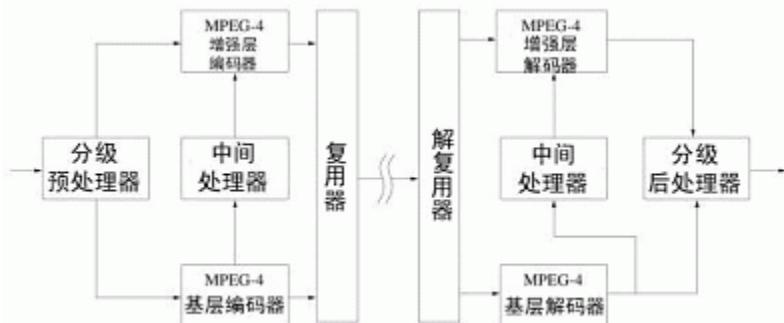


图 3-36 MPEG-4 通用分级编码框图

(3) 视频序列都可以分为两层：基本层和增强层，基本层提供了视频序列的基本信息，增强层提供了视频序列更高的分辨率和细节，基层可以单独传输和解码，而增强层则必须与基层一起传输和解码。

(4) Sprite 编码：Sprite 是指一个相对静止的长背景。例如，在摄像机摇镜头过程中拍摄到的背景可以组成一个 Sprite，Sprite 包括了整个过程中所拍摄到的全部背景像素。实际上，Sprite 只需在传送开始时发送一次，因此使压缩效率很高。Sprite 编码的例子如下图所示，右上方是前景视频对象，下方的当前帧的背景是从 Sprite 图像中取出的。

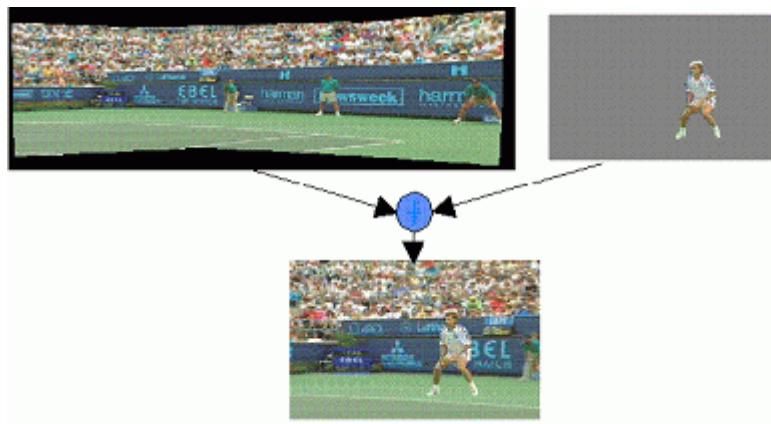


图 3-37 Sprite 对象编码

音频部分：MPEG-4 的音频编码分为两种：自然声音和合成声音。自然声音的频率范围为 2~64kbps，又分为三种类型的压缩：对于最低比特率 2~6kbps，运用采样速率为 8kHz 的参数语音编码；对于中等比特率 6~24kbps，采用 8 或 16kHz 采样速率的激励线性预测优化后的语音编码；而大于 16kbps 的音频，MPEG-4 采用 MPEG-2AAC 压缩算法提供高质量音频压缩。

### 3. MPEG-4 的主要应用

MPEG-4 标准的目标是多媒体的多领域应用，包括实时通信（视频会议、可视电话等）、移动多媒体（PDA 等）、交互媒体存储（DVD 等）、交互视频游戏、节目制作及广播业务等。

MPEG-4 为不同应用定义了编解码器和码流的不同类 (Profile) 和级 (Level)，从而支持各种码率 (5kbps 至 4Mbps)、格式 (逐行和隔行)、分辨率 (QCIF 至 HDTV)。

### 3.3.6 MPEG-7 标准

数字音视频信息越来越多，但对音视频信息的检索却很困难，目前尽管有许多文字为基础的搜索浏览工具，如 Internet 网上的多种搜索软件，但要发现音视频素材却很困难。MPEG-7 的目标是支持多种音频和视觉的描述，包括自由文本、N 维时空结构、统计信息、客观属性、主观属性、生产属性和组合信息，建立一种多种媒体内容描述接口 (Multimedla Content Description Interface)，简称 MPEG-7。这种标准化的描述可以加到任何类型的媒体信息上，不管视频信息的表达形式或压缩形式如何，允许快速有效的查询用户感兴趣的信息。信息的内容包括：静止图像、图形、音频、活动图像和有关这些元素如何组成多媒体的信息。特殊例子如脸部描述，个人特征等。希望使用很少特征就可以对信息进行检索。例如对音乐，只要演奏很少几个音符就可以得到与该段音乐有关的一系列乐曲；对图像只要定义了色表或纹理，就可以得到一系列相应的对象来组合图像。现有的 MPEG-7 标准包括 7 个部分：系统、描述定义语言、音频、视觉、多媒体描述方案、参考软件 (Reference Software)、一致性原则。

MPEG-21 总体上来讲是一个支持通过异构网络和设备使用户透明而广泛地使用多媒体资源的标准，其目标是定义多媒体信息之间的通信和互操作框架。这个多媒体框架使得我们能够跨越由不同社区团体使用的大范围的网络和设备来透明的使用多媒体资源。通过 MPEG-21 这种集成环境对全球数字媒体资源进行透明和增强的管理，实现内容描述、创建、发布、使用、识别、收费管理、产权保护、用户隐私保护、终端和网络资源抽取、事件报告等功能。MPEG-21 多媒体框架是一个结构化的框架，从结构上可分成 7 大要素：数字项声明 (Digital Item Declaration, DID)、数字项标识 (Digital Item Identification, DII)、知识产权管理和保护 (Intellectual Property Management and Protection, IPMP)、权利描述语言 (Rights Expression Language, REL)、权利数据字典 (Rights Data Dictionary, RDD)、数字项适配 (Digital Item Adaptation, DIA)、数字项处理 (Digital Item Processing, DIP)。

总的来说，MPEG-7 和 MPEG-21 其应用范围已经超出了传统的传输和存储范畴，而是转向多媒体检索、交互式多媒体操作和内容管理等领域，已经不是一种单纯意义上的视频编码算法。

### 3.3.7 H.264/AVC 标准

H.264/AVC 是视频编码专家组 (VCEG-ITU-T SG16Q.6) 和运动图像专家组 (MPEG-ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11) 共同成立的联合视频组 JVT (Joint Video Team) 共同制定的新标准。JVT 于 1999 年 8 月完成了第一版草案和相应的测试模型，2001 年 12 月，在 JVT 的第 1 次会议上形成 H.264/AVC 的第二版工作草案 (Work Draft 2)，并推出测试模型 JM-1 (Justified Model Number 1)，2002 年 7 月的 JVT 第 4 次会议上推出了 H.264/AVC 的会员草案版 (Committee draft)，提出了相应的校验模型 JM-4，在 2003 年 3 月召开的全体大会 (Pattaya, Thailand) 上，给出了最后的冻结草案和相应的测试模型。两个月后该标准提交给 ISO/IEC，通过讨论成为国际标准 14496-10 (MPEG-4 第 10 部分) 高级视频编码 (AVC)，形成正式版。

H.264/AVC 的设计方案包含两个层次，视频编码层（VCL，Video Coding Layer）和网络抽象层（NAL，Network Abstraction Layer）。视频编码层主要致力于有效地表示视频内容。网络抽象层格式化 VCL 视频表示，提供头部信息，适合多种传输和存储媒体。VCL 的设计同以前的 ITU-T 和 ISO/IEC JTC 一样，基于块的混合视频编码方法。基本的源编码算法是：利用时间统计的相关性，开发帧间预测算法；利用预测残留变换编码，开发空间统计的相关性。

H.264/AVC 代表了当前业界最先进的视频压缩技术，具有无可比拟的优越性。和 MPEG-2 等压缩技术相比，在同等图像质量下，采用 H.264 技术压缩后的数据量只有 MPEG-2 的 1/2~1/3，显然，H.264 压缩技术的采用将大大节省用户的下载时间和数据流量收费；H.264 能提供连续、流畅的高质量图像。提供了解决在不稳定网络环境下容易发生的丢包等错误的必要工具；提供了网络适应层，使得 H.264 的文件能容易地在不同网络上传输。

### 1. 提高了编码效率

在相同图像质量情况下，H.264/AVC 比 H.263 编码至少减少 50% 以上的码率；采用了简洁的设计思路，不再采用 H.263+ 和 H.263++ 标准众多的可选项，而是将整个编码器融合在一个框架内，在解码器端采用了复杂度可分级设计，在图像质量和解码处理速度之间进行折中，以适应多种复杂应用。视频编码层在原理上与 MPEG2 是一致的，采用变换编码，使用空间和时间预测的混合编码。目前采用与 MPEG-2 主类相同的 4: 2: 0 采样结构、8 比特精度。H.264/AVC 相对以前的编码方法，通过在图像内容预测和改善编码效率方面改善图像质量，主要特点如下：

- 可变块大小运动补偿：选择运动补偿大小和形状比以前的标准更灵活，最小的亮度运动补偿块可以小到 4×4。
- 1/4 采样精度运动补偿：以前的标准最多 1/2 精度运动补偿，首次 1/4 采样精度运动补偿出现在 MPEG-4 第二部分高级类部分，但 H.264/AVC 大大减少了内插处理的复杂度。
- 运动矢量可跨越图像边界：在以前的标准中，运动矢量限制在已编码参考图像的内部。图像边界外推法作为可选技术首次出现在 H.263 中。
- 多参考图像运动补偿：在 MPEG-2 及以前的标准中，P 帧只使用一帧，B 帧只使用两帧图像进行预测。H.264/AVC 使用高级图像选择技术，可以用以前已编码过且保留在缓冲区的大量的图像进行预测，大大提高了编码效率。
- 消除参考图像顺序和显示图像顺序的相关性：在以前的标准中，参考图像顺序依赖显示图像顺序，H.264/AVC 消除了该限制，可以任意选择。
- 消除参考图像与图像表示方法的限制：在以前的标准中，B 帧图像不能作为预测图像，H.264/AVC 在很多情况可以利用 B 帧图像作为参考。
- 加权预测：H.264/AVC 采用新技术，允许加权运动补偿预测和偏移一定量。在淡入淡出场景中该技术极大提高编码效率，该技术还可用于其它多种用途。
- 改善“跳过”和“直接”运动推测：在以前的标准中，预测编码图像的“跳过”区不能有运动，当编码有全局运动的图像时，该限制非常有害。H.264/AVC 对“跳过”区的运动采用推测方法。对双预测的 B 帧图像，采用高级运动预测方法，称为“直接”运动

补偿，进一步改善编码效率。

- 帧内编码直接空间预测：将编码图像边沿进行外推应用到当前帧内编码图像的预测。
- 循环去块效应滤波器：基于块的视频编码在图像中存在块效应，主要来源于预测和残余编码。自适应去块效应滤波技术是非常著名的技术，能有效消除块效应，改善视频的主观和客观质量。
- 分级块变换：H.264/AVC 通常使用小块变换，但有些信号包含足够的相关性，要求以大块表示，H.264/AVC 有两种方式实现。低频色度信号可用  $8 \times 8$ ，对帧内编码，可使用特别的编码类型，低频亮度信号可用  $16 \times 16$  块。
- 短字长变换：所有以前标准使用的变换要求 32 位运算，H.264/AVC 只使用 16 位运算。
- 完全匹配反变换：所有以前标准反变换和变换之间存在一定容限的误差，因此，每个解码器输出视频信号都不相同，产生小的漂移，最终影响图像的质量，H.264/AVC 实现了完全匹配。
- 基于上下文的熵编码：H.264/AVC 使用两种熵编码方法，CAVLC（上下文自适应的可变长编码）和 CABAC（上下文自适应二进制算术编码），两种都是基于上下文的熵编码技术。

## 2. 增强的网络适应能力

它采用了面向网络传输的结构和语法，增强了标准的网络适应能力，通过引入面向 IP (Internet Protocol) 包交换的编码机制，实现视频数据在网络中的分组传输，对于不同的内容采用分割 (Data Partition) 编码传输，灵活地采用相应的时延限制，以适应 IP 网络、移动网络等多种系统的网络传输要求，保证获得平稳的图像质量。并且提供了较强的抗误码特性，适用于丢包率高、干扰严重的无线信道视频传输。主要特性如下：

- 参数集结构：H.264/AVC 参数集结构设计了强大、有效的传输头部信息。在以前的标准中，如果少数几位关键信息丢失，可能解码器产生严重解码错误。H.264/AVC 采用很灵活、特殊的方式，分开处理关键信息，能在各种环境下可靠传送。
- NAL 单元语法结构：H.264/AVC 中的每一个语法结构放置在称为 NAL 的单元中，以前的标准采用强制性特定的位流接口。NAL 单元语法结构允许很自由的客户化，几乎适合所有的网络接口。
- 灵活的像条大小：在 MPEG-2 中，规定了严格的像条结构，头部数据量大，降低预测效率，编码效率低。在 H.264/AVC 可采用非常灵活的像条大小。
- 灵活宏块排序 (FMO)：H.264/AVC 可以将图像划分为像条组，又称为图像区，每个像条可以独立解码。FMO 通过管理图像区之间的关系，具有很强的抗数据丢失能力。
- 任意像条排序：因为每个像条几乎可以独立解码，所以像条可以按任意顺序发送和接收，在实时应用中，可以改善端到端的延时特性，特别适合于接收顺序和发送顺序不能对应的网络中，如使用 INTERNET 网络协议的应用。
- 允余图像：为提高抗数据丢失的能力，H.264/AVC 设计中包含一种新的能力，允许

编码器发送图像区的冗余表示，当图像区的主表示丢失时仍可以正确解码。

- 数据划分：视频流中的编码信息的重要性不同，有些信息（如运动矢量、预测信息等）比其它信息更为重要。H.264/AVC 可以根据每个像条语法元素的范畴，将像条语法划分为 3 部分，分开传送。

### 3. 类和级及新标准类的使用领域

H.264/AVC 定义了 3 类：基类、主类和扩展类。基类支持除下面两组特性外的所有 H.264/AVC 特性：

- B 像条、加权预测、CABAC、场编码、图像或宏块在帧场编码之间自适应切换。
- PI/SI 像条和像条数据分割。
- 主类不支持 FMO、ASO 和冗余图像特性，扩展类支持除 CABAC 外所有 H.264/AVC 特性，序列参数中包含了一些标志指示解码该码流要求解码器支持的类。
- 在 H.264/AVC，所有类使用相同的级定义，但个别实现时，可能每个支持的类支持的级不完全相同。H.264/AVC 定义了 15 个级。
- H.264/AVC 的高压缩效率，扩充了现有的应用领域，至少包含以下领域：
- 交互视频服务，通常速率 1Mbps 以下，低延迟。近期主要利用基类，然后过渡到另两类。主要应用如下：H.320 交互式视频服务，利用基于 ISDN 视频会议的电路交换；3GPP 交互式 H.324/M 服务；H.323 交互式视频服务，基于 INTERNET，利用 IP/RTP 协议。
- 娱乐视频应用，1Mbps~8Mbps 码率，0.5 到 2 秒中等时延。H.222.0|MPEG-2 正在被修改以支持这方面的应用，这些应用主要利用主类，主要应用如下：有线、卫星、地面、DSL 等广播电视；标清和高清 DVD；通过各种媒体的视频点播。
- 流媒体服务，典型 50kbps 到 1.5Mbps，2 秒以上的时延，这些应用主要利用基类或扩展类。有线或无线使用情况有所不同，主要应用如下：3GPP 流，利用 IP/RTP 传输，RTSP 作会话设置，3GPP 规范的扩充部分可能仅使用基类；有线 INTERNET 流，利用 IP/RTP 传输，RTSP 作会话设置。
- 其它服务，主要是低码率，以文件传送方式，不考虑时延，根据不同应用，可能用到 3 类，主要应用如下：3GPP 多媒体信息服务；视频邮件。

### 3.3.8 其它压缩标准

除了上述通用标准外，还存在很多专用格式，比较流行的有：C-Cube 的 M-JPEG、Intel 的 IVI (tm) (Indeo Video Interactive)、Apple 的 QuickTime (tm)、Microsoft 的 Media Player (tm) 和 RealNetworks 的 RealPlayer (tm)。

## 本章总结

学习完本章，学生应该掌握：

- ◆ 掌握数字电视信源编码概念
- ◆ 掌握数字电视信号参数
- ◆ 掌握数字视频压缩技术原理
- ◆ 掌握数字视频压缩标准

# 第4章 数字电视信道编码及传输技术

## 本章目标

本章结束时，学生能够：

- ◆ 掌握数字电视信道编码概念
- ◆ 掌握奇偶检验码和RS码、卷积码、交织编码原理
- ◆ 数字信号基带传输原理

### 4.1 信道编码概述

#### 4.1.1 信道编码的作用

信源编码（即数字压缩编码）的主要目的是降低数据率，提高信息量效率，而信道编码的主要目的是提高系统的抗干扰能力。数字信号在传输中往往由于各种原因，使得在传送的数据流中产生误码，从而使接收端产生图象跳跃、不连续、出现马赛克等现象。所以通过信道编码这一环节，对数码流进行相应的处理，使系统具有一定的纠错能力和抗干扰能力，可极大地避免码流传送中误码的发生。误码的处理技术有纠错、交织、线性内插等。

对信道编码的要求主要有以下几点：

- 编码效率高，抗干扰能力强；
- 对信号有良好的透明性，也即传输通道对于传输的信号内容不加限制；
- 传输信号的频谱特性与传输信道的通频带有最佳的匹配性；
- 编码信号内包含有数据定时信息和帧同步信息，以便接收端准确地解码；
- 编码的数字信号具有适当的电平范围；
- 发生误码时，误码的扩散蔓延小。

主要可概括为两点。其一，即是附加一些数据信息以实现最大的检错纠错能力，这就涉及到差错控制编码原理和特性；其二则是数据流的频谱特性适应传输通道的通频带特性，以求信号能量经由通道传输时损失最小，而做到这一点需应用到数字信号序列的频谱形成技术，也即涉及到传输码型的选区和转换。

提高数据传输效率，降低误码率是信道编码的任务。信道编码的本质是增加通信的可靠性。但信道编码会使有用的信息数据传输减少，信道编码的过程是在源数据码流中加插一些码元，从而达到在接收端进行判错和纠错的目的，这就是我们常常说的开销。

### 4.1.2 纠错编码的分类

在信源编码数据的基础上增加一些冗余码元（又称监督码或检验码），使监督码元与信息码元之间建立一种确定的关系，称为差错控制编码或纠错编码。

在接收端，根据监督码元与信息码元之间已知的特定关系，可实现检错和纠错，完成此任务的过程称之为误码控制译码（解码）。

（1）按照检错纠错功能可分为：

- 检错码—只能检知一定的误码而不能纠错；
- 纠错码—具备检错能力和一定的纠错能力；
- 纠删码—能检错纠错，对超过其纠错能力的误码则将有关信息删除或采取误码隐匿措施将误码加以掩蔽。

（2）按照误码产生原因不同可分为：

- 纠随机误码的纠错码—应用于主要产生独立性随机误码的信道；
- 纠突发误码的纠错码—应用于易产生突发性局部误码的信道。

（3）按照信息码元与监督码元之间的检验关系可分为：

- 线性码—码元之间存在线行关系，即满足一组线性方程式，就称线性码；
- 非线性码—码元之间不能用线性方程式描述，称为非线性码。

（4）按照信息码元与监督码元之间约束方式的不同可分为：

- 分组码—编码后的码元序列每  $n$  位分为一组，其中包括  $k$  位信息码元和  $r$  位附加监督码元，即  $n=k+r$ ，每组的监督码元仅与本组的信息码元有关，而与其他组的信息码元无关；
- 卷积码—虽然编码后码元序列也划分为码组，但每组的监督码元不但与本组的信息码元有关，而且与前面码组的信息码元也有约束关系。

（5）按照信息码元在编码之后是否保持原来的形式不变，可分为：

- 系统码—编码后的信息码元序列保持原样不变；
- 非系统码—信息码元会改变其原有的信号序列。由于原有码位发生了变化，使译码电路更为复杂，故较少选用。

根据编码过程中所选用的数字函数式或信息码元特性的不同，又包括多种编码方式。对于某种具体的数字设备，为了提高检错、纠错能力，通常同时选用几种误码控制编码方式。下图是纠错码的各种类型：

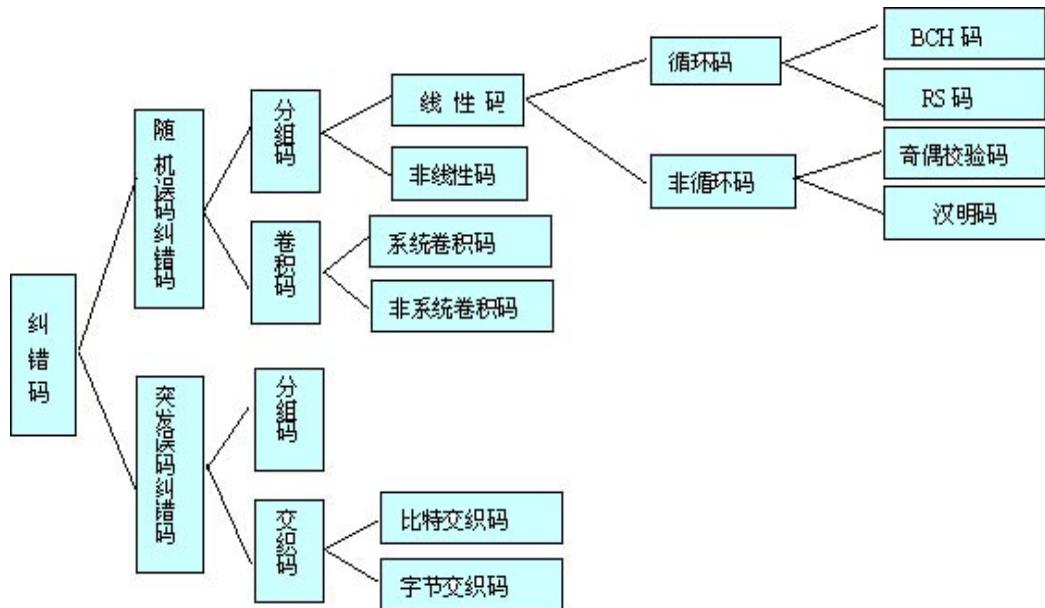


图 4-1 各种类型的纠错码

DVB-T 数字电视中常用的纠错编码，通常采用两次附加纠错码的前向纠错（FEC）编码。RS 编码属于第一个 FEC，188 字节后附加 16 字节 RS 码，构成（204，188）RS 码，这也可称为外编码。第二个附加纠错码的 FEC 一般采用卷积编码，又称为内编码。外编码和内编码结合一起，称之为级联编码。级联编码后得到的数据流再按规定的调制方式对载频进行调制。

前向纠错码（FEC）的码字是具有一定纠错能力的码型，它在接收端解码后，不仅可以发现错误，而且能够判断错误码元所在的位置，并自动纠错。这种纠错码信息不需要储存，不需要反馈，实时性好。所以在广播系统（单向传输系统）都采用这种信道编码方式。

下文将主要介绍数字电视中用到的纠错编码方法，其他的编码方法不予介绍。

### 4.1.3 信道编码基本概念

#### (1) 信息码元和监督码元

信息码元又称信息序列或信息位，是发送端由信源编码得到的信息数据比特，通常以  $K$  表示。以  $k$  个码元为一个码组时，在二元码情况下，总共可有  $2^k$  种不同的信息码组。

监督码元又称校验码元，是为了检错纠错在信道编码中附加的校验数据。通常，对  $k$  个信息码元的码组附加  $r$  个监督码元，组成总码元数为  $n=k+r$  的码组。

#### (2) 许用码组和禁用码组

信道编码后总码长为  $n$  的不同码组有  $2^n$  个。其中，发送的信息码组有  $2^k$  个，称之为许用码组，其余的  $(2^n - 2^k)$  个码组不予传送，称之为禁用码组。发端误码控制编码的任务正是寻求某种规则从总码组中选出许用码组；而收端译码的任务则是利用相应的规则来判断及校正收到的码字符是否符合许用码组。

#### (3) 编码效率

每个码组内信息码元数  $k$  值与总码元数  $n$  值之比称为信道编码的编码效率，即  $\eta = k/n = k/(k+r)$ 。编码效率  $\eta$  是衡量信道编码性能的一个重要指标。一般地，监督码元越多，检错纠错能力越强，但编码效率相应地降低。

#### (4) 码重和码距

码重：每个码组内码元“1”的数目称为码的重量，简称码重。

码距：每两个码组间的距离，简称码距，又称汉明距。通常用  $d$  表示。

例如，000 与 101 码组之间码距为  $d=2$ ，000 与 111 码组之间码距为  $d=3$ 。

最小码距：对于  $(n, k)$  分码组，许用码组为  $2^k$  个，各码组之间的码距的最小值称为最小码距，通常用  $d_0$  表示。

#### (5) 最小码距与检错和纠错能力的关系。

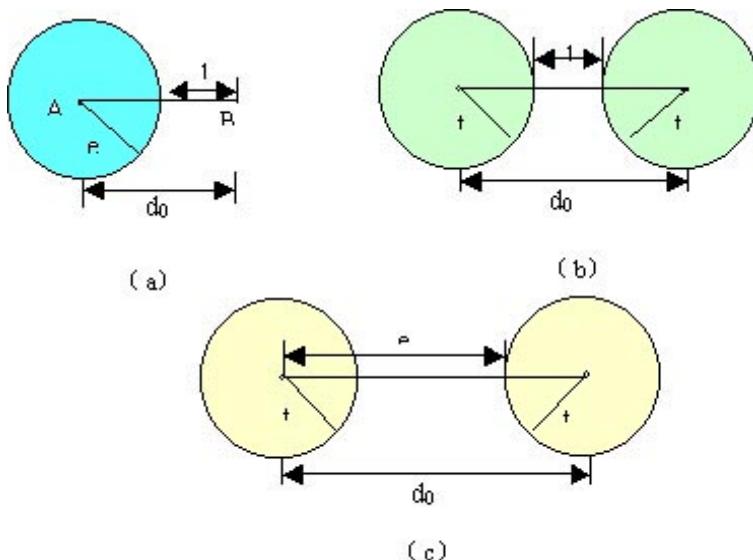


图 4-2 最小码距与检错和纠错能力的关系

对于分组码，有以下三条关于最小码距与检错能力的关系：

- 在一个码组内为了检知  $e$  个误码，要求最小码距应满足  $d_0 \geq e+1$ ；
- 在一个码组内为了纠正  $t$  个误码，要求最小码距应满足  $d_0 \geq 2t+1$ ；
- 在一个码组内为了纠正  $t$  个误码并同时检知  $e$  个误码 ( $e > t$ )，最小码距应满足  $d_0 \geq e+t+1$ 。

## 4.2 奇偶校验码和 RS 码

### 4.2.1 奇偶校验码

奇偶校验码是一种最为简单的线性分组检错码。其方法是先将信源编码后的信息数据流分成等长码组，然后在每一信息码组之后加入 1 位监督码元作为奇偶校验位，使得码组总码

长  $n$  内 ( $n$  等于信息码元数  $k$  加监督码元数 1, 即  $n=k+1$ ) 的码重为偶数 (称为偶校验编码) 或奇数 (称为奇校验编码)。如果在传输过程中, 一个码组内发生一位奇数位误码, 接收端译码出的码组便不符合奇偶校验规律, 因此可以发现存在误码, 这种编码中由于最小码距  $d_0=2$ , 故仍无纠错能力。奇偶校验码如下表所示:

表 水平奇偶校验码 (偶校验)

信息码元	监督码元
0101101	0
0101010	1
0011000	0
1100011	0
0011111	1
0001001	0
1110110	1

对于水平奇偶校验码, 如果在阵列的列方向上也附加上一个奇偶校验位, 就构成了水平垂直奇偶校验码, 又称行列监督码或矩阵码, 如下表所示。这样, 在接收端不但可以检知任何一行或任何一列内的奇数个误码, 而且具有一位误码的纠错能力。因为阵列中某个码元误码时, 从其所在的行和列的奇偶校验中可以发现它, 将行与列交叉点上的码元变成反码, 该误码就被纠正了。编码效率为  $\eta=k/n=49/64=76.6\%$ 。

表 水平垂直奇偶校验码 (偶校验)

信息码元	监督码元
0101101	0
0101010	1
0011000	0
1100011	0
0011111	1
0001001	0
1110110	1
监督: 0011100	1

## 4.2.2 RS 码

RS 码是 Reed 和 Solomon 二位研究者发明的，故称为里德—所罗门码，简称 RS 码。RS 码是一种重要的线性分组编码方式，它是以字节为单位进行前向误码校正（FEC）的纠错编码方法，具有强地随机误码和突发误码校正能力，它是能够纠正多个错误的纠错码。

在 RS 编码过程中，各符号不是直接出现，而是每个符号要乘以某个基本元素的幂次方后再模 2 加，如果要纠正七个错误，那么码字必须被  $2t$  个不同的一次多项式整除。RS 编码中，输入数据分成  $km$  比特构成的信息段，每段内  $k$  为字节数， $m=8$  为每字节的比特数。一个可纠错  $t$  个误码字节的 RS 码可表示为  $(n, k, t)$ ：

- $n$  表示码长： $n=2^m-1$  字节或  $m(2^m-1)$  比特
- $k$  表示信息段： $k$  个符号或  $km$  个比特
- $2t$  表示监督段： $n-k=2t$  符号或  $m(n-k)$  比特
- 最小码距： $d_0=2t+1$  符号或  $m(2t+1)$  比特

例如：数字电视数据流的信道编码中，采用了  $(204, 188, t=8)$  的 RS 码，也即对应的  $k=188$  字节， $m=8$  比特（1 字节），监督段为  $2t=16$  字节，纠错能力为一段码长 204 字节内的 8 个字节。该 RS 码的长在原理上应为  $n=2m-1=255$  字节，实施上述 RS 编码时，是在 188 字节前加上 51 个全“0”字节，组成 239 字节的信息段，而后根据 RS 编码电路在信息段后面生成 16 个监督字节，得到所需的 RS 码。产生 RS 码后丢弃前面 51 个空字节，形成截短的  $(204, 188)$  RS 码。RS 的编码效率是： $188/204$ 。

## 4.3 卷积码

卷积码又称连环码，是由  $k$  个信息比特编码成  $n$  ( $n>k$ ) 比特的码组，编码出的  $n$  比特的码组值不仅与当前码字中的  $k$  个信息比特值有关，而且与其前面  $N-1$  个码字中的  $(N-1)k$  个信息比特值有关，也即当前码组内的  $n$  个码元它们的值取决于  $N$  个码组内的全部信息码元， $N$  可称为卷积码编码的约束长度。卷积码是一种非分组码，通常它更适用于前向纠错法，因为其性能对于许多实际情况常优于分组码，而且设备简单。卷积码每一个监督码元都要对前后的信息单元起监督作用，整个编解码过程也是一环扣一环，连锁地进行下去。通常，卷积码的标记法采用  $(n, k, N-1)$ 。它的编码效率为  $\eta=k/n$ 。

### 4.3.1 卷积码分两种形式

#### （1）基本卷积码：

基本卷积码编码效率为， $\eta=1/2$ ，编码效率较低，优点是纠错能力强。

#### （2）收缩卷积码：

如果传输信道质量较好，为提高编码效率，可以采样收缩截短卷积码。有编码效率为： $\eta=1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$  这几种编码效率的收缩卷积码。编码效率高，一定带宽内可传输的有效比特率增大，但纠错能力越减弱。

### 4.3.2 编码器的形式

几种卷积码编码器的结构如下图所示：

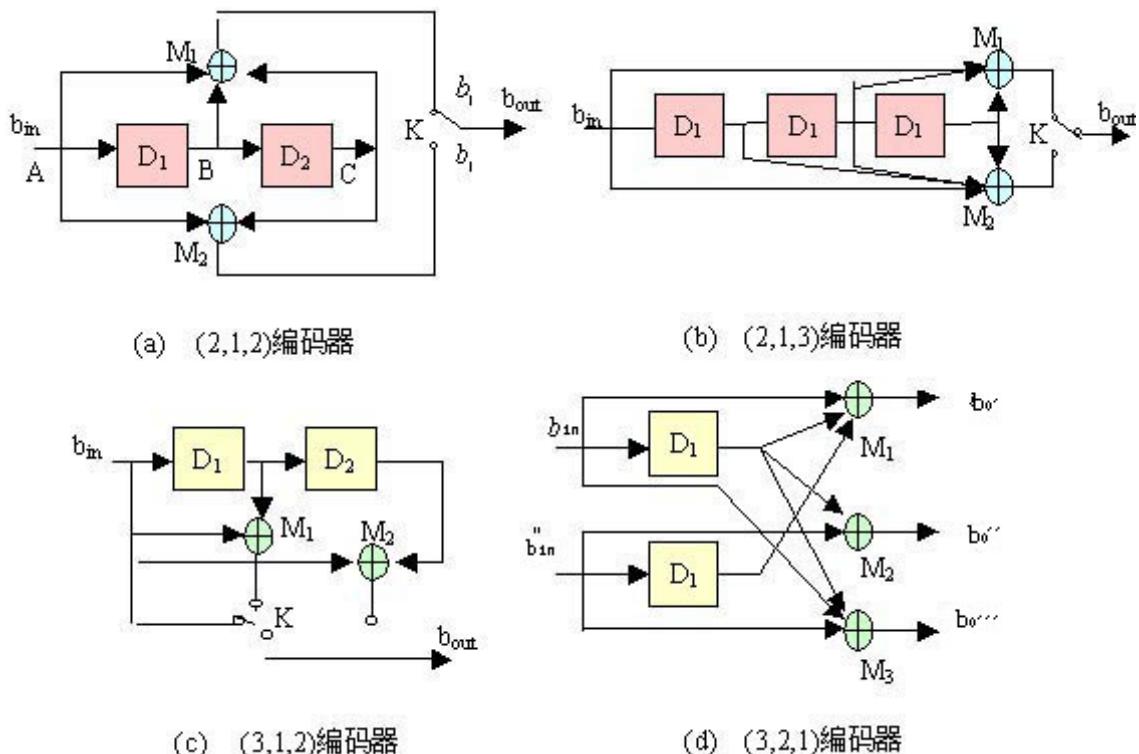


图 4-2 几种卷积码编码器结构示例

卷积码编码器一般由若干移位寄存器及几个模 2 和加法器来组成。通常，移位寄存器数目等于  $N-1$ ，模 2 和加法器数目等于  $n$  值。由于串行输入的  $k$  个信息码元生成  $n$  个卷积码元后一般仍以串行数据流形式输出，所以在输出端加入了一个并/串转换开关。以 (2, 1, 2) 卷积编码器为例：

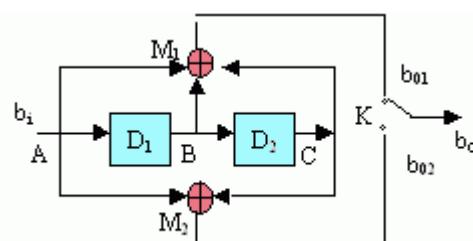


图 4-3 卷积码编码器结构

两个模 2 和加法器  $M_1$  及  $M_2$  的逻辑关系式  $g1(x)$  和  $g2(x)$  分别有下面的生成多项式：

$$\left. \begin{array}{l} g_1(x) = 1 + x + x^2 \\ g_2(x) = 1 + x^2 \end{array} \right\}$$

设输入的数据序列  $b_{in}$ , 则输出序列为:

$$b_{01}(x) = g_1(x) b_{in} = (1+x+x^2)(1+x+x^3+x^4+x^5+\dots) = 1+x^5+x^7+\dots;$$

$$b_{02}(x) = g_2(x) b_{in} = (1+x^2)(1+x+x^3+x^4+x^5+\dots) = 1+x+x^2+x^4+x^6+x^7+\dots;$$

因此, 当输入序列  $b_{in}=11011100\dots$  时, 输出序列为  $b_{01}=10000101\dots$ ,  $b_{02}=11101011\dots$

经转换开关 K 进行并/串转换后, 输出为  $b_{out} 11, 01, 01, 00, 01, 10, 01, 11, \dots$

### 4.3.3 状态图

(2,1,2) 卷积编码器状态图如下所示。

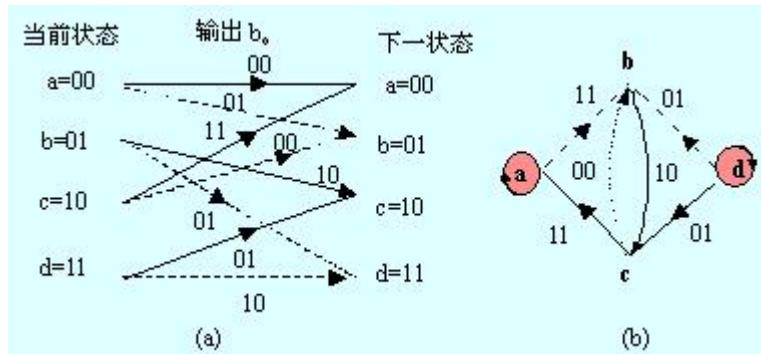


图 4-4 卷积编码器状态图

可以把“CB”两点组成的四种可能状态标记为 a (00)、b (01)、c (10) 和 d (11)。以实线表示输入 bin 为 0 时状态转移路径, 虚线表示输入 bin 为 1 时的状态转移路径, 并在路径上标注了输出码元  $b_{01}b_{02}$ 。

根据状态转移的特点, 又可画出图 (b) 所示的状态图。图 (b) 中的四个节点 a、b、c、d 也分别表示“CB”点组成的四种可能状态, 每个节点有两个离开的线条, 实线表示下一 bin 输入 0 时的路径, 虚线表示输入 bin 为 1 的路径, 并在路径上标注了输出码元  $b_{out}=b_{01}, b_{02}$ 。图 (b) 中两个自闭圆环分别表示  $a \rightarrow a$  和  $d \rightarrow d$  状态转移。

将状态图沿时间轴展开, 可以得到网格图, (2,1,2) 卷积编码器网格图如图所示。从 a 点出发, bin 输入 0 时路径沿实线走, 输出则为路径旁标注的码元值。因此, 输入序列 1011100…… 时输出为 11, 10, 00, 01, 10, 01, 11。

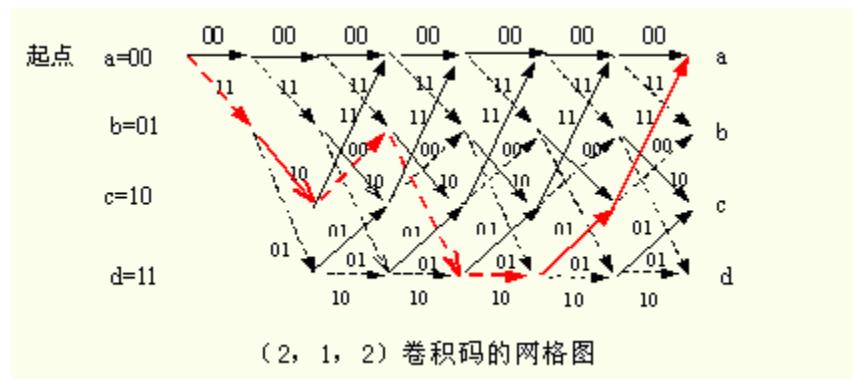


图 4-5 卷积码的网格图

卷积码非常适用于纠正随机错误，但是，解码算法本身的特性却是：如果在解码过程中发生错误，解码器可能会导致突发性错误。为此在卷积码的上部采用 RS 码块，RS 码适用于检测和校正那些由解码器产生的突发性错误。所以卷积码和 RS 码结合在一起可以起到相互补偿的作用。

数字电视中常用的纠错编码，通常采用两次附加纠错码的前向纠错（FEC）编码。RS 编码属于第一个 FEC，188 字节后附加 16 字节 RS 码，构成 (204, 188) RS 码，这也称为外编码。第二个附加纠错码的 FEC 一般采用卷积编码，又称为内编码。外编码和内编码结合一起，称之为级联编码。

## 4.4 交织编码

在实际应用中，比特差错经常成串发生，这是由于持续时间较长的衰落谷点会影响到几个连续的比特，而前向纠错编码仅在检测和校正单个差错和不太长的差错串时才最有效（如 RS 只能纠正 8 个字节的错误）。为了纠正这些成串发生的比特差错及一些突发错误，可以运用交织技术来分散这些误差，使长串的比特差错变成短串差错，从而可以用前向码对其进行纠错，例如：在 DVB-C 系统中，RS (204,188) 的纠错能力是 8 个字节，交织深度为 12，那么纠可抗长度为  $8 \times 12 = 96$  个字节的突发错误，实现交织和解交织一般使用卷积方式。

交织技术对已编码的信号按一定规则重新排列，解交织后突发性错误在时间上被分散，使其类似于独立发生的随机错误，从而前向纠错编码可以有效的进行纠错，提高了 RS 码等在传输中抗突发误码的能力。也就是说，数据交织是在不附加纠错码字的前提下用改变数据码字传输顺序的方法来提高接收端去交织解码时抗突发误码的能力。纠错能力强的编码一般要求的交织深度相对较低，纠错能力弱的则要求更深的交织深度。

一般来说，对数据进行传输时，在发端先对数据进行 FEC 编码，然后再进行交织处理。在收端次序和发端相反，先做去交织处理完成误差分散，再 FEC 解码实现数据纠错。另外，从上图可看出，交织不会增加信道的数据码元。

#### 4.4.1 基本原理

下图是交织编码的原理示意图：

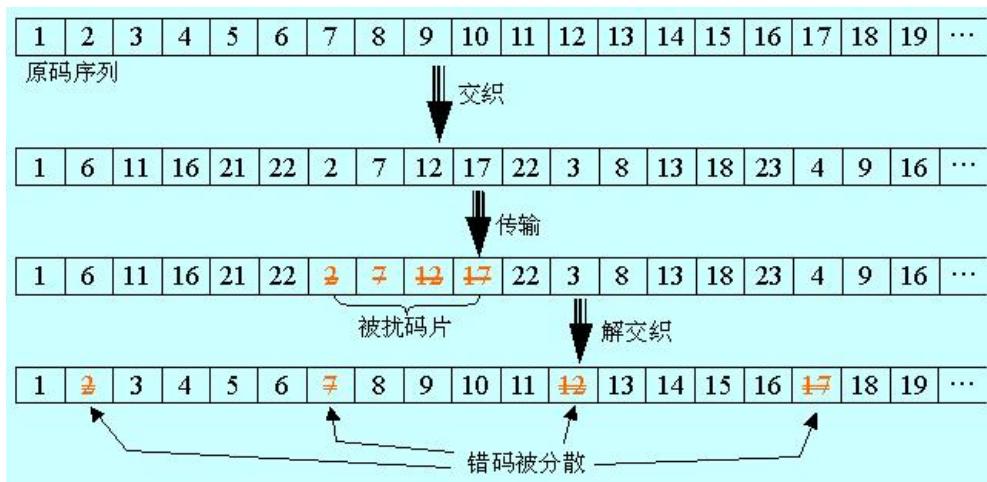


图 4-6 交织原理示意图

交织：交织端首先将经过前向纠错编码后的串行流以自上而下的方向先逐列地写入一个随机存取寄存器 RAM 中，排列成 I 行、L 列的阵列，数据包码长为  $n=I \times L$  比特，再自左向右地逐行读出。比特交织编码图如图所示：

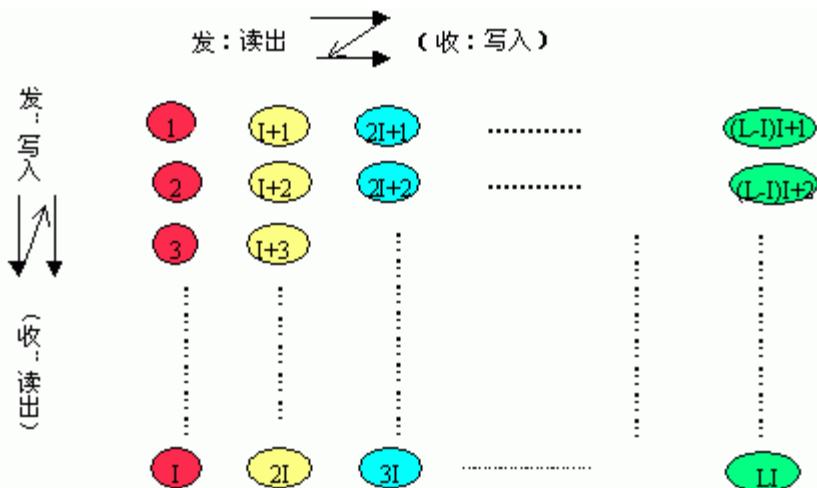


图 4-7 比特交织编码图

写入 RAM 的比特顺序为 1、2、3、……、I、I+1、……、2I、……、(L-1) I+1、(L-1) I+2、……、LI；读出 RAM 输出的比特顺序为 1、I+1、2I+1、(L-1) I+1、2、I+2、……、LI。这样的交织可称为交织深度为 I 的比特交织。

去交织：在接收端将接收到的比特交织的数据流以相逆的过程写入 RAM 再从 RAM 中

读出，然后再送去解码。如果在传输中发生突发误码，其长度超出译码的纠错能力，则现在由于要先将比特交织的码流进行去交织处理，会使突发误码散布在一些行列内，容易在译码时得到纠正。

#### 4.4.2 交织编码在数字电视广播系统中的应用

由于在 DVB 数字电视广播系统的前向纠错编码采用了 (204, 188, 8) RS 码编码，为了进一步提高纠错能力，对每 204 个字节组成的数据帧实施符字节交织处理，交织深度 I=12 字节。DVB 中的交织电路如图所示。

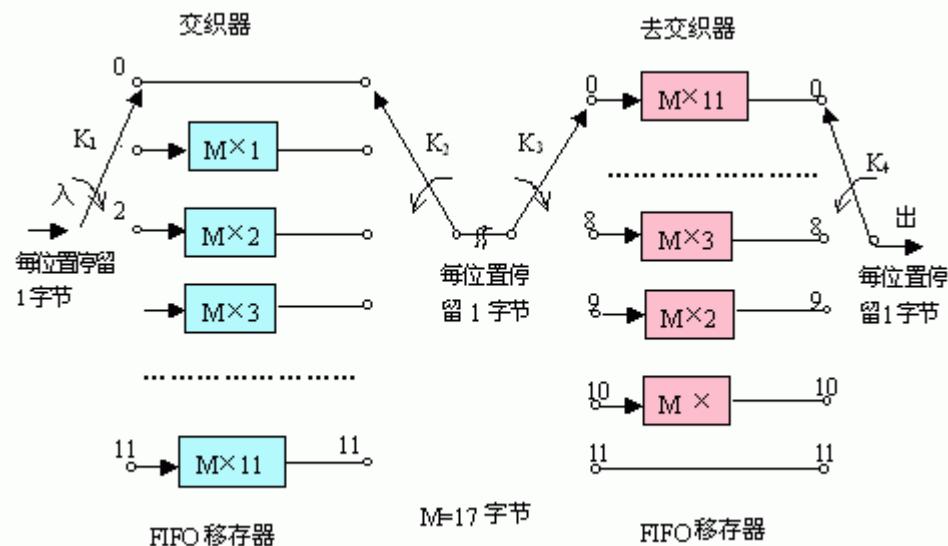


图 4-8 DVB 中的交织电路

工作过程：切换开关 k<sub>1</sub> 和 k<sub>2</sub> 是同步顺序的接在相同的支路上，因为  $12 \times 17 = 204$  可以看出，k<sub>1</sub> 经过 17 次循环切换，将一个数据包内 204 个字节全部输入至交织器中。设用通过 k<sub>1</sub> 输入到交织器中的是第 0 个包的 204 个字节的顺序为： $B_0^1 B_0^2 \dots B_0^{11}, B_0^{12}$

$B_0^{13} \dots B_0^{22}, \dots, B_0^{193} B_0^{194} \dots B_0^{204}$  则通过 k<sub>2</sub> 输出的 204 个字节则为： $B_0^1 B_{-1}^2 \dots B_{-11}^{11}, B_0^{12} B_{-1}^{13} \dots B_{-11}^{22}, \dots, B_0^{193} B_{-1}^{194} \dots B_{-11}^{204}$ 。

其中  $B_0^1$  表示第 0 个包的 1 个字节； $B_{-1}^2$  表示第 0 个包之前 1 个包的 2 个字节，以此类推。可见输出的 204 个字节中相互之间相隔较远，交织了 12 个包的不同的字节。在接收端去交织器中 12 条支路内移存器数量的安排与发送端交织器中的相反，恢复了交织之前的原顺序。传输中发生的突发误码在去交织后离散成了随机性质的误码，可由 RS 译码器充分的予以纠正。

## 4.5 数字电视信道编码方案

根据信道的情况不同，信道编码方案也有所不同。

(1) 在 DVB-T 里由于由于是无线信道且存在多径干扰和其它的干扰，所以采样的信道编码是：RS+外交织+卷积码+内交织。采用了两次交织处理的级联编码，增强其纠错的能力。RS 作为外编码，其编码效率是 188/204 (又称外码率)，卷积码作为内编码，其编码效率有 1/2、2/3、3/4、5/6、7/8 五种 (又称内码率) 选择，信道的总编码效率是两种编码效率的级联叠加。设信道带宽 8MHZ，符号率为 6.8966Mb/S，内码率选 2/3，16QAM 调制，其总传输率是 27.586Mbps，有效传输率是  $27.586 \times (188/204) \times (2/3) = 16.948\text{Mbps}$ ，如果加上保护间隔的插入所造成的开销，有效码率将更低。

(2) 在 DVB-C 里，由于是有线信道，信道比较“干净”，所以它的信道编码是：RS+交织。一般 DVB-C 的信道物理带宽是 8MHz，在符号率为 6.8966Mb/s，调制方式为 64QAM 的系统，其总传输率是 41.379Mbps，由于其编码效率为 188/204，所以其有效传输率是  $41.379 \times 188/204 = 38.134\text{Mbps}$ 。

(3) 在 DVB-S 里，由于它是无线信道，所以它的信道编码是：RS+交织+卷积码。也是级联编码。下图是 DVB-T、DVB-C、DVB-S 各自的信道编码方式：

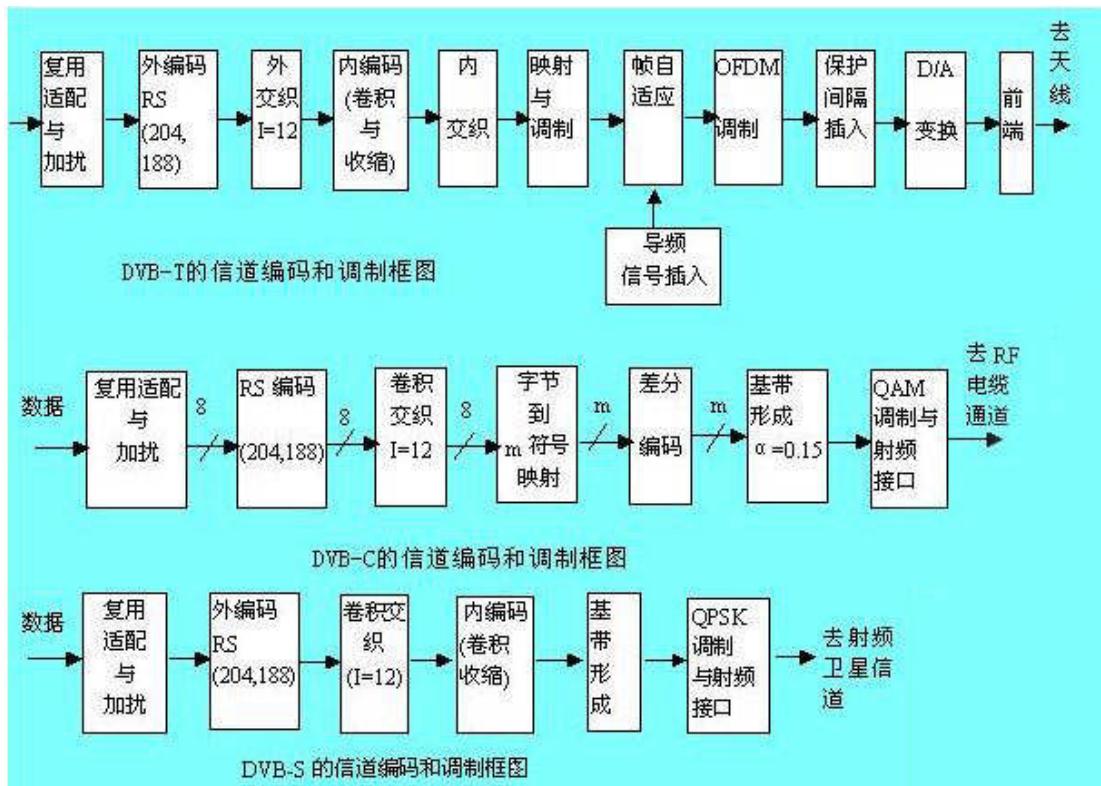


图 4-9 几种信道编码示意图

## 4.6 数字信号的基带传输

### 4.6.1 数字信号的基带传输

经过信源编码数据压缩和信道纠错编码后得到的数字信号称为二元数字信息，其脉冲波形占据的频带一般从直流开始直至较高的频率，称之为数字基带信号。在一些场合，例如有线信道中，特别是传输距离不太长的情况下，可直接传送数字基带信号。数字信号基带传输系统如下图所示：

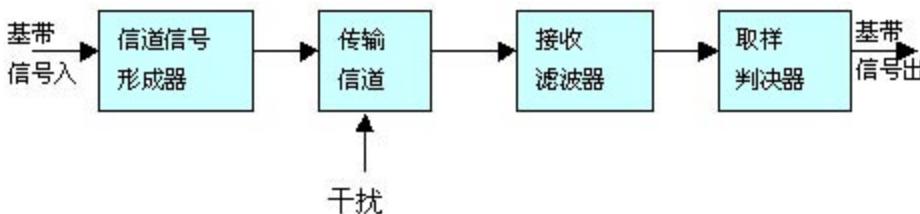


图 4-10 数字信号基带传输系统

#### (1) 数字基带传输信号码型选择的主要原则

- 尽量使传输信号码型的频谱中不应包含直流或低频成分；
- 应尽量减小码型频谱中的高频成分；
- 接收端易于从串行的基带信号中提取位定时信息。

#### (2) 数字基带信号码型分类

数字基带信号的码型种类很多，按照脉冲波形的幅度取值范围可分为二元码、三元码和多元码，如图所示。

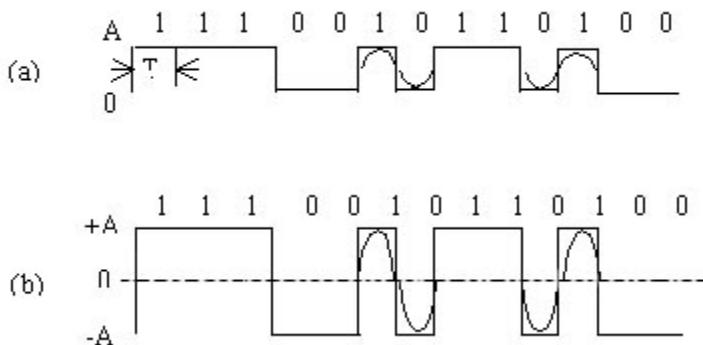


图 4-11 二元码波形示例

二元码中基带信号的脉冲波形只有两种幅度。三元码中，数字基带信号的幅度取值有+1、0、-1三种电平。多元码码型具有多种电平的幅度取值，如果以  $m$  个比特组成一个字，则对应地有  $2^m$  元码的码型。多元码中一个电平代表  $m$  个码元，因而频谱利用率高，但是误码率也相应增高。

## (3) 二元码的种类和特点

几种常用的二元码波形如图所示：

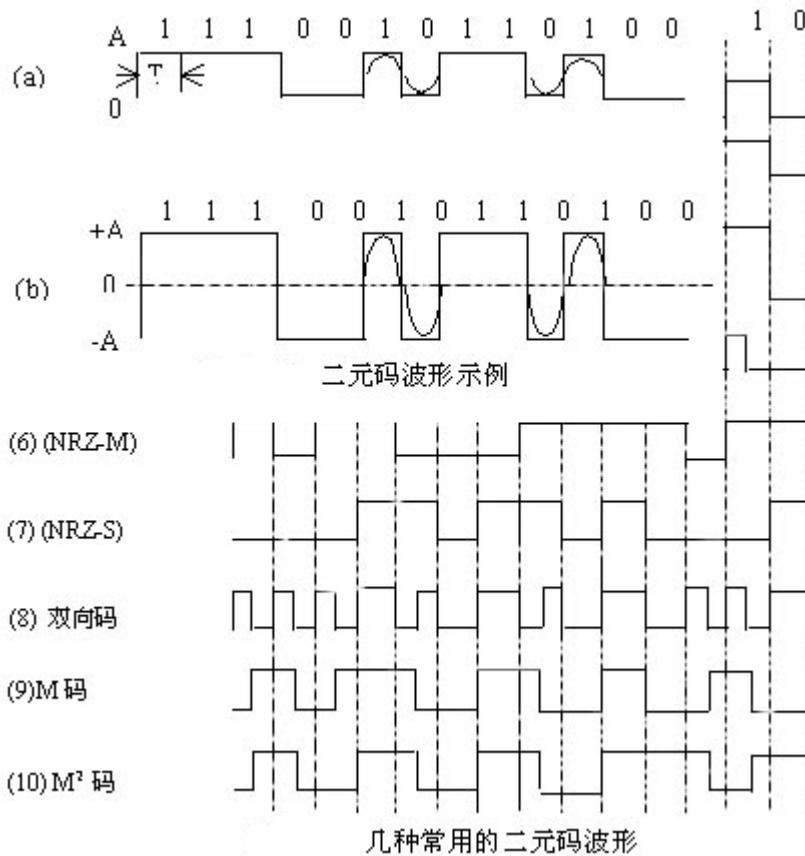


图 4-12 几种常见的二元码波形图

- 单极性归零码：以时间  $T$  内有无脉冲信号来表示“1”、“0”；
- 单极性信号差分码 (NRZ-M)：以位定时信号边沿有电平跳变表示“1”，无电平跳变表示“0”，也称相对码。
- 单极性空号差分码 (NRZ-S)：以位定时信号边沿有电平跳变表示“0”，无电平跳变表示“1”。
- 双向码：无论码元“1”或“0”，每一码元比特的边缘都有电平跳变，而当码元“1”时，在每比特中央又有一次跳变，码元“0”时在比特周期内不跳变。
- 密勒码 (Miller, M)：用码元周期中央出现跳变（而其前后沿不出现跳变）来表示“1”，对码元“0”则有两种处理情况，单个“0”时码元周期内不出现跳变，连“0”时在相邻的“0”交界处出现跳变。密勒码不但直流成分和低频成分很少，而且上限频率低，频带宽度仅为双相码的一半，这对带宽受限的信道更有利。
- 密勒平方码 ( $M^2$ )：与其密勒码的区别在于无论“1”或“0”，当连续出现的相同码元超过 2 时省去最后一个比特的电平跳变，即对于“1”省去其中央电平跳变，对于“0”省去其最后一个码元“0”的前沿跳变。可以看出，它比之密勒码电平变换速率进一步降低，其相应的

基带信号频率也减小了。

几种常用的二元码的功率谱如图所示，从图中可见，NRZ 码含有大量低频成分，频带较宽，密勒码不但直流成分和低频成分很少，而且上限频率低，频带宽度仅为双相码的一半，这对带宽受限的信道更有利。

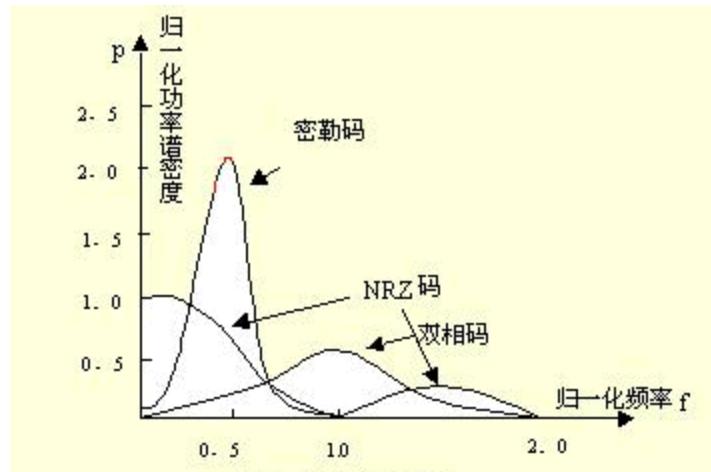


图 4-13 几种二元码的功率谱

#### 4.6.2 伪随机序列扰码

用 NRZ 码进行基带信号传输的缺点是其频谱会因数据出现连“1”、连“0”而包含大的低频成分，不适应信道的传输特性，也不利于从中提取出时钟信息。解决办法之一是采用扰码技术，使信号受到随机化处理，变为伪随机序列，又称为“数据随机化”和“能量扩散”处理。

扰码不但能改善位定时的恢复质量，还可以使信号频谱平滑，使帧同步和自适应同步和自适应时域均衡等系统的性能得到改善。扰码虽然“扰乱”了原有数据的本来规律，但因为是人为“扰乱”的，在接收端很容易去加扰，恢复成原数据流。

实现加扰和解码，需要产生伪随机二进制序列（PRBS）再与输入数据逐个比特作运算。PRBS 也称为 m 序列，这种 m 序列与 TS 流包的 NRZ 码进行 XOR 扰码运算后，数据流中的“1”和“0”的连续游程都很短，且出现的概率基本相同。

##### (1) m 序列的产生

一般用带有若干反馈线的 m 级移位寄存器产生周期为  $2^m - 1$  的 m 序列，这种移位寄存器可以用生成多项式  $G(x)$  表示：

$$G(x) = 1 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{m-1}x^{m-1} + a_mx^m.$$

式中， $a_i x^i$  表示第 i 级寄存器， $a_i=1$  表示这一级有反馈线， $a_i=0$  表示这一级无反馈线。

一个 4 级 m 序列发生器和工作状态转移表如下图所示。图中的线性反馈遵从下式的递归关系式： $a_4 = a_1 \oplus a_0$ 。

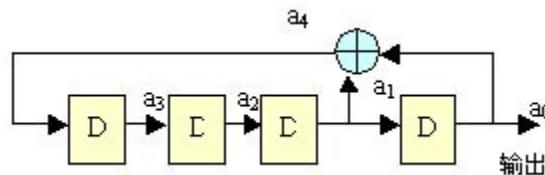


图 4-14 4 级移存器 m 序列发生器电路

时钟	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$a_0$	$a_4$	时钟	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$a_0$	$a_4$
0	0	0	0	1	1	9	1	0	1	0	1
1	1	0	0	0	0	10	1	1	0	1	1
2	0	1	0	0	0	11	1	1	1	0	1
3	0	0	1	0	1	12	0	1	1	1	0
4	1	0	0	1	1	13	0	1	1	1	0
5	1	1	0	0	0	14	0	0	1	1	0
6	0	1	1	0	1	15	0	0	0	1	1
7	1	0	1	1	0	16	1	0	0	0	0
8	0	1	0	1	1	17	0	1	0	0	0

图 4-15 m 序列发生器状态转移

分析其工作过程时要先设定一个初始状态，假若初始状态  $\{a_3, a_2, a_1, a_0\}$  为  $\{0, 0, 0, 1\}$ ，在移位时钟节拍控制下  $\{a_k\}$  的状态将逐次变动，移位 15 次后又回到初始状态， $\{a_3, a_2, a_1, a_0\} = \{0, 0, 0, 1\}$ 。

{0,0,0,1}。输出序列  $a_0$  为：

$$a_0 = \underbrace{100010011010111100 \dots}_{\text{周期}=15}$$

## (2) m 序列的性质

- 均衡性：在 m 序列的一个周期  $m=2^n-1$  中，“1”和“0”的数目基本相等。
- 游程分布：一个周期序列中接连出现相同码元的个数称为游程长度，各种游程长度中连“1”的游程和连“0”的游程大致各占一半。
- 伪噪声特性：m 序列属于伪噪声（PN）序列或伪随机二进制序列（PRBS）。
- DVB 中的加扰电路

在欧洲的数字视频广播标准中，无论 DVB-S、DVB-C 或 DVB-T，都对数字基带信号实施同样的能量扩散，即采用 15 级移存器的 PRBS 对数据序列作模 2 和。DVB 中的 PRBS 加扰电路如下图所示。

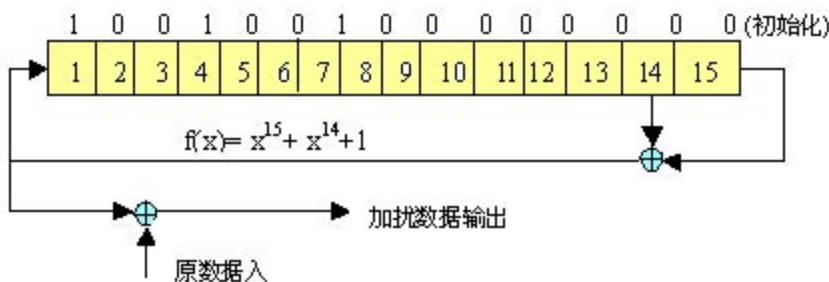


图 4-16 15 级以存器的 PRBS 加扰电路

利用伪随机序列进行扰码也是实现数字信号高保密性传输的重要手段之一。一般将信源产生的二进制数字信息和一个周期很长的伪随即序列模 2 相加，就可将原信息变成不可理解的另一序列。这种信号在信道中传输自然具有高度保密性。在接收端将接收信号再加上（模 2 和）同样的伪随机序列，就恢复为原来发送的信息。在 DVB-C 系统中的 CA 系统原理就源于此，只不过为了加强系统的保密性，其伪随机序列是不断变化的（10 秒变一次），这个伪随机序列又叫控制字（CW，CONTROL WORD）。

### 4.6.3 无码间干扰基带传输

如果传输信道中掺入了过量的干扰信号  $n(t)$ ，会导致再生的时钟发生时间偏移使取样判决时刻不准，造成电平判决差错，从而发生误码。另外，当一系列的脉冲因信道带宽受限等原因出现波形失真时，其波形会在时域内扩散，影响到邻旁的数据波形，称为码间干扰。码间干扰也会导致电平判决出现差错。

#### (1) 理想低通滤波系统可实现无码间干扰

理想低通滤波器特性和冲激响应如图所示。由图可见理想低通的冲激响应  $h(t)$  波形具有  $\sin x/x$  函数的特性，在  $t=0$  处具有最大值，在  $t=\pm nT$  点上都过零点 ( $T=\pi/\omega_c$ ,  $\omega_c$  为系统截止频率)。如果输入数据的比特率为  $1/T$ ，则不存在码间干扰问题。根据系统的截止频率为  $f_c=\omega_c/2\pi=1/2T$ ，这时的频带利用率为  $2\text{bps}/\text{Hz}$ 。若数据序列为多元码，比如  $n$  元码，则频带利用率为  $2\log_2 n \text{ bps}/\text{Hz}$ ，这是无码间干扰所能达到的最高频带利用率。

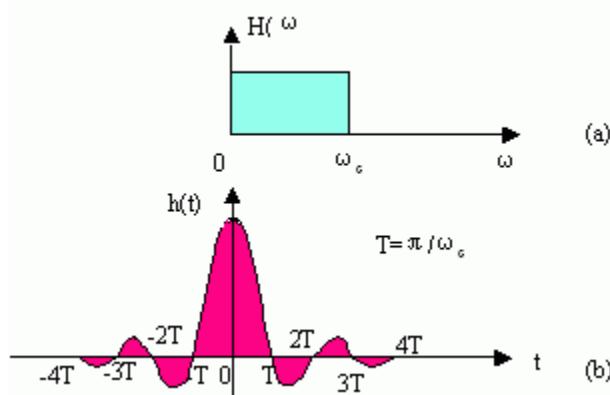
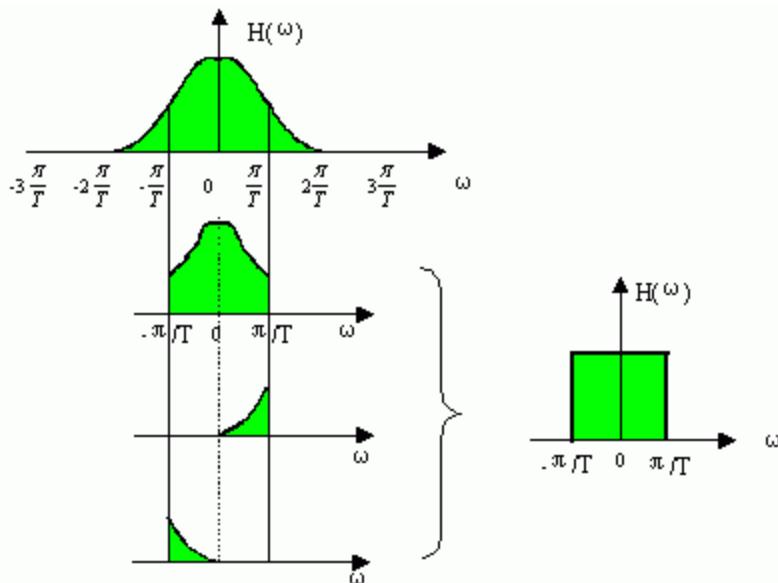


图 4-17 理想低通及其冲激响应

## (2) 无码间干扰传输的条件及实现方法

由于理想低通滤波特性无法实现, 可以证明, 只要传输函数  $H(\omega)$  沿  $\omega$  轴以  $2n/T$  为间隔 ( $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) 切开, 然后分段平移到  $(-n/T, n/T)$  区间内进行相加, 结果形成一条水平直线, 也可以实现无码间干扰的传输条件。无码间干扰的基带传输特性如图所示。

图 4-18 无码间干扰传输函数  $H(\omega)$  的特性

升余弦滚降特性的系统在实际中得到广泛应用。升余弦滚降特性的低通滤波特性如图所示:

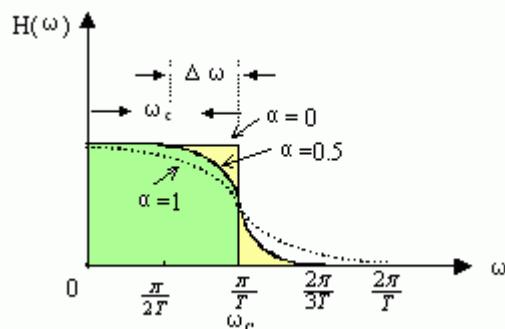


图 4-19 升余弦滚降特性的低通滤波特性

其中,  $\omega_c$  是截止频率,  $\Delta\omega$  是滚降部分的带宽,  $\alpha = \Delta\omega/\omega_c$  称为滚降系数,  $\alpha=0$  的传输函数  $H(\omega)$  就是理想低通特性的情况。当  $0 < \alpha \leq 1$  时, 余弦滚降特点  $H(\omega)$  可表示成下式:

$$H(\omega) = \begin{cases} 1 & 0 \leq |\omega| \leq \frac{(1-\alpha)\pi}{T} \\ \frac{1}{2}[1 + \sin \frac{T}{2\alpha}(\frac{\pi}{T} - \omega)] & \frac{(1-\alpha)\pi}{T} \leq |\omega| \leq \frac{(1+\alpha)\pi}{T} \\ 0 & |\omega| \geq \frac{(1+\alpha)\pi}{T} \end{cases}$$

可见，由于滚降特性使  $H(\omega)$  的带宽变为  $(1+\alpha)\omega_c$ ，降低了频带利用率。

在 DVB-S 系统中，当基带信号对高频载波进行 QPSK 调制之前，使调制信号 I、Q 先受到升余弦平方根滚降滤波，滚降系数  $\alpha=0.35$ 。在 DVB-C 系统中，当基带信号对高频载波进行 QAM 调制之前，使调制信号 I、Q 先受到  $\alpha=0.15$  的升余弦平方根滚降滤波。由于有线电视传输信道的质量一般较好，干扰轻，所以  $\alpha$  可小，频带利用率得到较高。

## 本章总结

学习完本章，学生应该掌握：

- ◆ 掌握数字电视信道编码概念
- ◆ 掌握奇偶检验码和 RS 码、卷积码、交织编码原理
- ◆ 数字信号基带传输原理

# 第 5 章 数字电视条件接收技术

## 本章目标

本章结束时，学生能够：

- ◆ 掌握电视条件接收的基本原理
- ◆ 掌握数字电视同密与多密 CA 原理
- ◆ 掌握数字电视条件接收特点
- ◆ 掌握数字电视条件接收功能
- ◆ 掌握数字电视机卡分离原理

### 5.1 概述

条件接收 CA (Conditional Access) 系统是一个综合性系统，系统涉及到多种技术，包括加解密技术、加解扰技术、编码技术、复用技术、智能卡技术、网络技术、接收技术，此外还涉及到用户管理、节目管理、收费管理等信息管理技术。

条件接收是数字电视加密控制的核心技术保证，为数字电视的运营提供了必要的技术手段，使拥有授权的用户合法的使用某一项业务，而未经授权的用户不能使用这一业务。

数字视频广播标准 DVB (Digital Video Broadcast) 是数字电视的通用国际标准，DVB 标准以 MPEG-2 编码系统为基础，用 MPEG-2 数据包结构作为数据容器，并使用严格的 DVB 服务信息格式，有效地、方便地实现了多种媒体之间的传输，并实现它们之间的数字信号转换。应用领域涉及到卫星传输、电缆传输、地面传输。

条件接收系统是基于 MPEG-2 和 DVB 标准开发设计的。DVB 有两种加扰方式，即同密 (SimulCrypt) 和多密 (MultiCrypt)。同密要求前端可以使用多个 CA 系统，每个 CA 系统可以使用不同的加密系统加密各自的相关信息，但对节目内容的加扰必须采用同一个加扰算法和加扰控制字，这样可以保证接收端使用不同的接收设备而同时又能接收相同的数字电视节目。使用同密技术后，可以方便多级运营商的管理，为多级运营商选择条件接收系统提供了灵活性。而多密技术主要是针对接收端而言的，用户可以采用多密的方式接收不同的加扰/加密系统所加密的不同的节目。由于 DVB 中的同密与多密都规定了标准接口，从而方便了多个 CA 系统的集成，也方便了用户。

目前在国际上占主流的有欧洲的 DVB 标准、北美国家的 ATSC 标准及日本的 ISDB 标准。多密 (MultiCrypt) 在这三种标准中对于 CA 部分都作了简单的规定，并提出了三种不同的加扰方式。欧洲 DVB 组织提出了一种称之为通用加扰算法 (Common Scrambling Algorithm)

的加扰方式，由 DVB 组织的四家成员公司授权，ATSC 组织使用了通用的三迭 DES 算法，而日本使用了松下公司提出的一种加扰算法。

目前国际上的有条件接收系统主要有荷兰爱迪德 (IRDETO) 公司的 M\_Crypt 系统和  $\pi$ \_sys 系统，法国电信 (France Telecom) 公司的 Viaccess 系统，英国 NDS 公司的 NDS 系统，法国 Canal+公司的 Mediaguard 系统，以及 Nagra 系统等。国内主要有清华同方、中视联 (与 Philips 合资)、算通科技等。国外的 CA 系统经历多年的发展，技术比较成熟并形成一定市场，国内的 CA 系统研究起步比较晚，起点比较高，同时借鉴了国外的经验，发展很快，已经形成了初具规模的国内市场，同时积极开展与国外 CA 系统实现同密，以上几家国内知名的 CA 运营商都已经和 IRDETO、NDS 等实现同密。这种竞争并同步发展的形势在国内数字电视界已经形成。事实上，数字电视中条件接收系统正以特有的方式推动中国广播事业的发展，将来这种条件接收系统还有可能为人类展现新形式的数字通信。

## 5.2 条件接收系统的原理

在讲述原理之前，先了解两个在 CA 设备中容易混淆的概念：一个是加解扰 (Scrambling-Decrambling)，另一个是加解密 (Encryption-Decryption)。加解扰技术被用来在发送端 CA 系统的控制下改变或控制被传送的服务（节目）的某些特征，使未被授权的用户无法获取该服务提供的利益；而加密技术被用来在发送端提供一个加密信息，使被授权的用户端解扰器能以此来对数据解扰，该信息受 CA 系统控制，并以加密形式配置在传输流信息中以防止非授权用户直接利用该信息进行解扰，不同的 CA 系统管理和传送该信息的方法有很大不同。

简单地说就是：加扰是通过控制字 (CW, Control Word) 对传输流进行按位加密的过程，而加密部分实际完成对控制字 (CW) 的保护。这两种技术是 CA 系统重要的组成部分，在技术上有相似之处，但在 CA 系统标准中是独立性很强的两个部分。

在目前各标准组织提出的条件接收标准中，加扰部分往往力求统一，而在加密部分则一般不作具体规定，是由各厂商定义的部分。

从实现过程可以基本了解集成一个条件接收系统所需的基本技术。首先是记录用户授权情况的数据库系统，即 CA 系统中的用户管理系统，其次是记录服务授权控制情况的数据库系统，这是节目管理系统；及服务加扰/解扰控制的系统；密钥的管理和传输系统技术、智能卡读写技术等。这些都是集成一个 CA 系统必不可少的技术，其中对信息加密、解密以及密码管理传输是 CA 系统的核心，对信息的加/解密的过程将上述所有涉及的技术都紧密连接起来而成为一个 CA 系统，如下图所示：

常用的 CA 系统一般有 3 重的加密体制。首先是对音视频、数据流的加扰，它是扰码序列对信息流进行加密处理的过程。扰码序列是伪随机二进制序列，它具有近似随机序列的功率谱特征，不同的是它具有周期，但周期很长，一般是数小时甚至是数天。图中 PRBS 指扰码序列生成器，扰码序列生成器的初始条件受控于控制字 (CW)，在初始条件已知的情况下，可以推测出生成的扰码序列。根据这个原理，只要在接收端有一个相同的扰码生成器，同时将 CW 发送给接收端用于控制它，运用对应的解扰算法就可以对相应的信息流解扰恢复原始

信号。在这里 CW 起到了“种子”的作用，只要获得了 CW，系统就被破解了。所以解扰密钥是系统安全的基本要素，如何将 CW 安全送到接收端，就成了 CA 系统的核心。为此对 CW 本身（以及系统数据的其他部分）要用一个加密密钥通过加密算法对它进行加密保护，这个加密密钥只是一个用来变化加密算法结果的任意数。后面的两重加密过程便是为实现 CW 的安全传送并达到授权控制的目的。

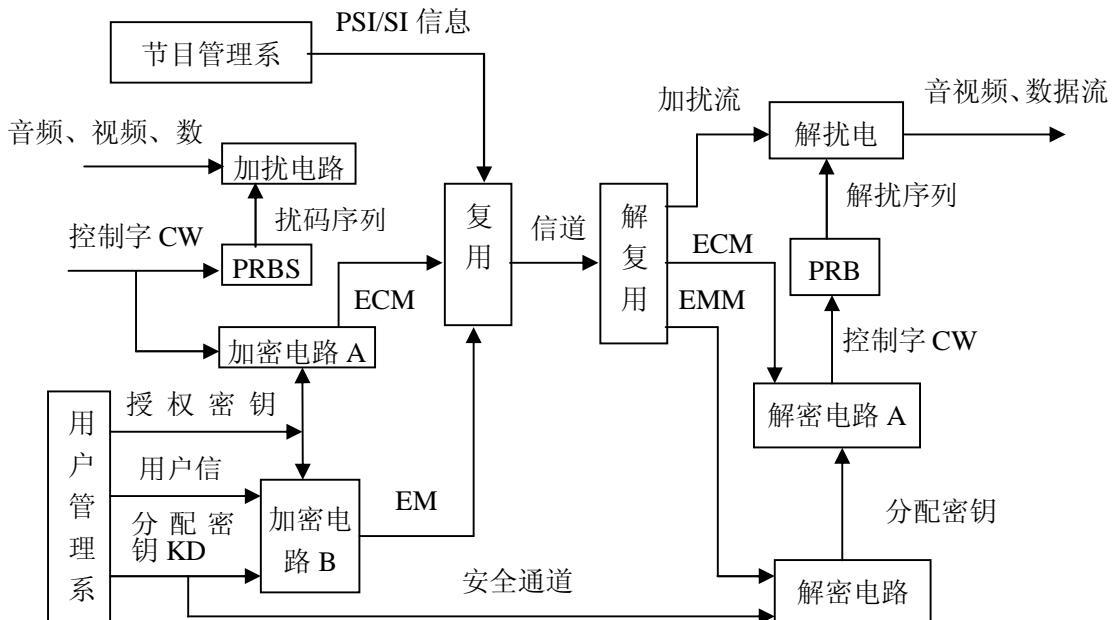


图 5-1 条件接收系统

条件接收的核心是控制字 CW 传输的控制。在采用 MPEG-2 标准的数字电视系统中，与节目流条件接收系统相关的有两个数据流：授权控制信息 ECM (Entitle Control Message) 和授权管理信息 EMM (Entitle Manage Message)。为实现保密，使用授权密钥 KS 对控制字 CW 加密形成授权控制信息 (ECM)，复用到传送流当中，ECM 中还包括节目来源、时间、内容分类和节目价格等节目信息。

CW 虽已由 KS 加密，但这个密钥如果还是可以让任何人读取，网络运营商还是难以控制到特定的用户，安全性还是存在问题，必须对 KS 再进行加密保护。由于共用网络寻址模式中数据包是按用户地址传送的，每个终端设备有一个不重复的惟一的地址码，就可以采用地址码来对 KS 加密。

使用分配密钥 KD 对授权密钥 KS 加密形成授权管理信息 (EMM)，EMM 中还包含地址、用户授权信息，也复用到传送流当中。分配密钥 KD 通常是固化在智能卡中，用户通过购买智能卡方式获得，避免广播方式的信道传送有被窃取的可能。在实际使用中，终端设备的地址一般是公开的，且基本不变，所以往往用和这个地址码相关联的一个数列来进行加密，称为个人分配密钥 (PDK)。PDK 一般由 CA 系统设备自动产生并严格控制，在终端设备处该序列数一般由网络运营商通过 CA 系统提供的专用设备烧入解扰器的 PROM 中，不能再读出。

一套 CA 系统往往为每个用户分配好几个 PDK，以满足丰富的业务需求。

如果将授权密钥 KS 通过安全通道分配给用户，一样也能起到保护控制字的效果，为什么要再加一层加密操作呢？这种体制是为实现授权控制的目的。例如用户对某一业务授权期限到了（如没有按时缴费），系统通过用户管理系统的确证，将该业务的授权密钥 KS 修改成 KS1，但对用户发送的仍然是 KS 经 KD 加密而成的授权管理信息 EMM，用户虽然可以解密获得 KS 但还是不能享受该业务。

以上的加密过程可以看出一个已获得授权的接收端使用相关业务要依次获取 EMM，ECM。对这些信息的提取要依靠节目管理系统提供的 PSI/SI 信息（特殊节目信息/节目信息）。节目管理系统将节目的加密情况（是否加密）、加密系统类型（是何种 CA 系统加密）等信息描述在 PSI/SI 信息中。其中最重要的是 2 种信息表：条件接收表(CAT)和节目映射表(PMT)。CAT 表针对具体 CA 系统中的用户的授权情况，它含有标识具体 CA 系统的 CA\_System\_Id 和用于获取 EMM 信息的索引 EMM\_Pid，通过这两项内容就可以获得用户所在 CA 系统的 EMM 信息。PMT 表是针对节目的加密情况，它也含有 CA\_System\_Id 信息用于表示节目是用何种 CA 系统加密和 EMM\_Pid 用于告知用户如何搜索 ECM。CA\_System\_Id 可唯一标识 CA 系统，分配到用户的智能卡中含有这项内容，用户端的条件接收过程就是从读取卡内的 CA\_System\_Id 开始的，获取相应的 EMM，ECM 后，解密解扰的工作就按与发送端相逆的顺序开始了。

## 5.3 同密和多密 CA

从原理可以看出，CA 系统的最重要特性是信息保密。事实上很多 CA 系统使用的加密算法都是各个系统运营商私有而且是绝对保密的。这种特性决定了各个 CA 系统的排他性和不通用性。为解决这个问题欧洲 DVB 标准组织定义了同密 (simulcrypt) 和多密 (multicrypt) 2 种形式的条件接收系统。

### 5.3.1 同密条件接收系统

DVB 同密技术的目的是将两家或两家以上的 CA 系统应用于同一网络平台中，从电视台角度实现技术的选择和竞争的环境。同密允许在传输的同一套节目流中携带由不同 CAS 生成的多个 CA 信息，以提供给不同 CAS 的接收机用户。这种方案基于通用的加解扰算法和广播运营商与各个 CA 厂商之间关于条件接收的商业协议，采用相同控制字生成器和扰码生成器，适用于 CA 软件嵌入到接收机中的情况。不同系统之间的差别是从对 CW 的加密开始的，各个系统使用自己的加密算法对 CW 和授权密钥 KS 加密。集成了其中一套 CA 系统的接收机通过 ISO-7816 标准接口访问 CA 厂商提供的智能卡，接收机 (STB) 从插入的智能卡中读出对应 CA\_System\_Id，根据这个标识获取 EMM，ECM 索引信息进而滤取出具体信息发送回智能卡。由智能卡实现解密功能，提取解扰码流所需的密钥信息 (CW) 给解扰器。用户管理系统可以公用也可以分开。节目管理系统会将各种 CA 系统的标识 CA\_System\_Id 以及 EMM，ECM 索引信息一一对应描述在 PSI/SI 信息中，原理图如下图所示。

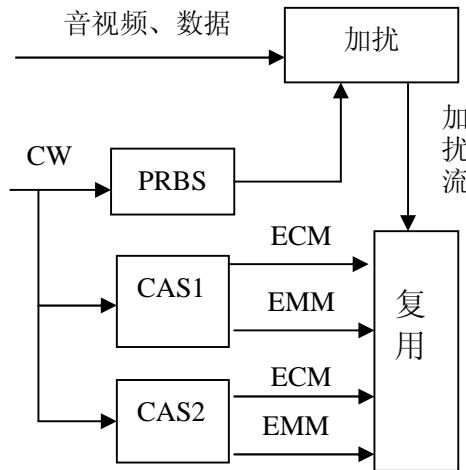


图 5-2 同密 CA 系统

智能卡中集成了多套私有的解密算法，对应于前端生成 EMM 和 ECM 的加密算法，从而获得 CW，送到接收解码器 STB 中，STB 的解码芯片中有集成了通用解扰算法的解扰器，用这个解扰器就可以恢复出原始信号。用户只要获得其中一种机密系统的授权就可以收看节目。这种方式下对信号的加解扰是使用通用算法的，所以保证这种方式的通信安全全靠智能卡，两层私有加密电路是其中的关键。这种做法要求将条件接收系统嵌入接收机中。

同密技术标准化了加解扰算法和密钥传递框架，使得不同的条件接收系统可以在相同的加/解扰器上运行，有利于共享服务和节目资源及管理方法，促进了条件接收厂商之间的合作。但是由于针对不同 CAS，机顶盒中需嵌入不同的 CA 软件，一款机顶盒一般只能捆绑接收用某特定 CAS 加密的节目，对用户和运营商存在更换 CA 就需更换机顶盒的风险。

### 5.3.2 多密条件接收系统

了解了同密的原理，多密系统的原理就容易理解了。它们的不同是对于多密系统各种 CA 系统运营商使用各自不同的 CW，不同的扰码生成器和加扰算法，相同的是，后面的两层加密算法也是私有的。这使接收端不能使用解码芯片中的公共解扰算法电路，但使用条件接收模块很好地解决这个问题。它是将接收端所需的 3 层解密电路都集成到一个使用通用接口标准的模块中。DVB 多密技术的基本思想是将解扰、CA 以及其他需要保密的专有功能集中于一个可拆卸的模块（PC 卡）中，模块中集成了微处理芯片和滤取 CAT，EMM，ECM 所需的硬件电路；接收机（机顶盒/主机）功能可以趋于通用化，其中只包含调谐器/解调器、MPEG-2 解码器、解复用等必须的设备，具有接收未加扰或已解扰的 MPEG-2 视音频、数据的功能。在主机和模块之间定义一个标准公共接口（Common Interface，CI）进行连接和通信。公共接口在逻辑上分为两部分：传送流（Transport Stream，TS）接口和命令（Command）接口，前者用于 MPEG-2 TS 流的传送，主机需要做的就是滤取出节目对应的 PMT 表，获取 CA 相关的信息按通用接口标准协议规定的格式发送到模块就可以了。经模块处理之后，这些节目

被解扰并送回主机，其他没有被选择的节目则不作处理。命令接口用于实现主机和模块中运行的各种应用之间的通信，它可以支持同一主机和多个模块之间的连接以及各种复杂事务的处理。

这种方案的好处在于，同一机顶盒可接收任意 CA 系统加扰控制的节目，当选择更换 CA 时只需换用相应的 CA 模块，机顶盒可以保持不变。一般机顶盒扩展有多个公共接口，可同时与多个 CA 模块相连，并自动或在人机交互的基础上识别哪个 CA 模块应处于工作状态。采用多密技术，用户可以有选择其他 CA 服务的可能性，同时 CA 系统的更新升级也十分方便。

同密和多密方式的原理如下图所示：

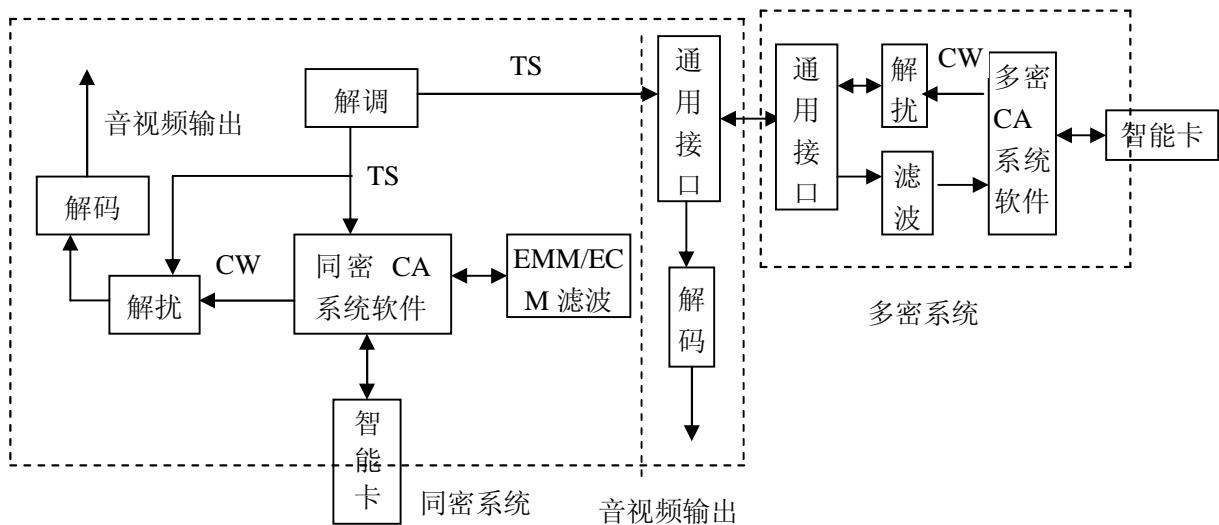


图 5-3 同密和多密 CA 系统接收图

### 5.3.3 二者的比较

在同密方式下，TS 流中载有所有应用的 CA 系统的 EMM 和 ECM，增加了发送端复用难度（每个 EMM,ECM 流都必须分配惟一的 PID，还有一些同步要求），同时也增加了通信带宽要求。一个 TS 流中通常只有一套 CA 系统的应用，所以信息量比多密方式小。

由于同密系统的机顶盒内必须集成特定 CA 系统软件，而多密方式的接收机将与 CA 相关的软硬件系统都集成在一张模块中，机顶盒可应用任何符合通用接口标准的模块，因此可应用在多种 CA 系统中。通用性方面多密优于同密。

多密方式的控制字 CW 形式和 3 层加密算法都是私有的，若要破解至少需要已知 2 套加密算法，而同密算法使用的 CW 编码空间是公开的而且使用的解扰算法是通用的，所以它比多密系统少了一层防破解防线。再次，由于支持同密系统的机顶盒与智能卡之间的通信接口比多密系统开放，盗密者很容易从主机与卡的通信接口间盗取通信数据进行分析或用于激活另外解码器，达到盗版的目的。事实上当前破解的系统大多使用这种途径。所以在接口安全上同密系统也比多密系统差。

虽然多密系统有以上优势，但是它需要花费成本的代价。多密系统的机顶盒总体上要比同密下的花费更多成本，同时发送端也要耗费更大的设备成本。当前我国正处于数字电视发展的初级阶段，由于成本的原因，同密系统还是目前国内数字电视的主流。但从发展来看，多密系统必将取代同密系统。

## 5.4 条件接收系统构成及特点

### 5.4.1 条件接收系统的安全保障措施

一个条件接收系统包括两个加密子系统，一个是节目加密系统，对播出的节目内容进行加密，习惯上称为加扰，它的作用是扰乱节目信号，使得未经授权的用户不能收看加密节目。另一个加密系统是分层密钥加密系统，其目的是使用一环紧扣一环的层次加密，保护控制字（CW）的安全。安全性是条件接收的灵魂，CA 系统在原理的设计不仅体现运行安全体系同时也体现系统破解后可使用的应对方案。这种稳健安全体制表现在三个方面：

**CW 的变换机制：**CW 是系统构架的基础，是条件接收的核心。对节目的加扰，采用 DVB Common Scrambling 算法，该加扰算法使用的是基于密钥的算法，控制密钥是 CW，为了保证加扰的安全可靠，CW 一般为 60 b，所以它的编码空间是已知的，所以 CW 必须改变。在实际中 2~10s 变化一次，并且保证充分的随机性，有效地抵抗黑客的攻击，由于前端采用了标准的通用加扰算法，从而增强了接收设备的通用性，只要接收设备配备了同样的解扰算法，并完成了 CA 系统集成，即具备了收看加扰节目的条件，如果有授权即可收看加扰节目。若是对 CW 攻击，即使获得一个 CW，它的使用期限也是十分有限的。这种变化机制使对 CW 的盗取变得没有意义。

**SK 的升级体制：**对加密电路 A 的算法攻击是当前最常使用的一种破解途径，同时它的成功率也是最高的。若是已知加密算法和 SK 就可以由 ECM 解出 CW，CW 的变化机制也失去作用。强健的加密算法是保证安全的关键。如果算法被破解，当前的 SK 就必须升级，使盗版卡失去效用，所以 SK 足够大的编码空间也是提升系统安全等级的必要条件。

**智能卡的电路设计：**智能卡是一块内置有微处理器，RAM，ROM 和 E<sup>2</sup>PROM 的芯片，存储分配密钥，解密算法和操作程序。分配密钥是整个 CA 系统的最后安全防线，它的重要性不言而喻，所以智能卡的电路特别是存储分配密钥的 ROM 设计成不可扫描方式，一旦被检测，ROM 中数据自动被擦除。同时，为防止操作程序被拷贝，将存储区分段保存应用程序，每段程序各有不同的保密代码。

没有一种加密算法是永不被破解的。现阶段许多国外著名的 CA 系统有被破解的记录，基本上都是第二和第三种方式的攻击，现在最有效的做法是更换智能卡，彻底更新两种加密算法。这种做法虽花费比较大，即是最有效增大破解周期的做法。

### 5.4.2 条件接收系统的组成

条件接收系统主要由以下几个部分组成：集成管理系统（IMS）、节目管理系统（PMS）、用户管理系统（SMS）、前端条件接收系统（CAS）、电子节目指南系统（EPG）、复用加扰处

理系统、接收端 CA 系统、智能卡发行与管理系统。

- 集成管理系统 (IMS): 设置系统参数, 连接系统中各组成部分, 管理和控制系统的执行。
- 节目管理系统 (PMS): 对节目进行定义、编辑、编排、查询, 产生节目时间表。
- 用户管理系统 (SMS): 对用户信息、用户设备信息、节目预定信息、用户授权信息、财务信息等进行处理、维护和管理, 同时可为其他子系统提供用户授权管理的基本数据。
- 前端条件接收系统 (CAS): 完成用户授权控制信息 (ECM) 及用户授权管理信息 (EMM) 的获取、生成、加密、发送等处理。
- 电子节目指南 (EPG) 系统: 自动提取节目数据库中的节目描述信息, 并转化为 DVB 的业务信息 (SI), 同时按一定的周期发送这些信息给复用器。
- 复用加扰处理系统: 定义了同密同步器 (SCS)、授权管理信息发生器 (EMMG)、业务信息发生器 (SIG) 的接口, 加扰采用了标准的 DVB 加扰算法。
- 接收端 CA 系统: 接收并处理前端 CA 系统发送来的 ECM, EMM 信息, 并通过标准的通信接口与智能卡进行数据交互, 获取解扰控制字, 传给解扰器完成解扰工作, 同时提供有关 CAS 的辅助信息给接收设备, 供接收设备显示。
- 智能卡发行系统: 发行 CA 系统中所需的各种智能卡, 包括系统母卡、系统钥匙卡、系统控制卡、用户接收卡等。针对上述各种智能卡, 分别设计了不同的卡发行系统, 这些系统包括: 母卡密钥发行系统、母卡授权发行系统、系统卡发行系统、用户接收卡发行系统、用户接收卡授权编辑系统等。

#### 5.4.3 条件接收系统的特点

- 加解扰使用 DVB Common Scrambling 通用加扰算法。
- CW 控制字随机产生, 并频繁变化 (每 2~10 秒钟改变一次)。
- 传输中的 ECM, EMM 消息使用了多级密钥加密保护。
- 可定期通过空中发送消息改变用户的多级密钥、会话密钥或用户的有关授权, 从而增加了系统的抗攻击性。
- 系统结构符合国际 DVB SimulCrypt 标准, 开放性接口与其它的 DVB 前端系统连接。
- 系统拥有独立的加扰机, 可以方便地与其它的不支持 DVB Simulcrypt 的前端系统连接。
- 前端系统基于局域网开发, 可在网络环境下灵活配置和使用。
- 完成多种收视控制和管理功能:
  - 预订收视: 可按频道、主题级别、分类等授权方式控制用户的收视;
  - 每视收费: PPV, IPPV 等授权方式控制用户的收视;
  - 免费收视: 发送免费收视授权, 供指定用户群免费收视节目;
  - 预览功能: 切换频道时短时收看;
  - 区域管制: 对某一指定范围的用户实施收视管制, 强制关闭或开启收视授权。
- 系统支持广播邮件 (B-Mail) 的生成、发送、和接收;

- 父母锁定控制：家长可以通过密码设置，控制节目的收看；
- 支持机卡配对：未配对的设备无权收视加密节目；
- 支持防录制：设置防录制标记，可控制接收设备录制节目；
- STB 程序下载或智能卡加密算法下载：下载应用程序到 STB 或智能卡上，改变设备的接收和控制功能；
- 集成了电子节目指南生成系统、节目管理系统、用户管理系统、机顶盒接收系统，以及多种独立的智能卡发行与管理系统。

## 5.5 条件接收系统的功能

### 5.5.1 提供多种授权方式

#### (1) 节目定期预订 (Subscription)

节目定期预订又可以细分为分类分级方式和节目组合方式。分类分级方式用于创建嵌套订购的产品。用户购买节目时可以自己挑选想要收看的类，并在类中指定想要的级。也就是选定想要收看的产品。节目提供商添加相应的授权，通过 EMM 发送到用户的智能卡中，智能卡存储该授权。用户收看节目时只有节目的类等于卡中授权的类，并且小于等于卡中授权的级时，才可以收看该节目。节目提供商需要定义的不同产品来对应各类各级。分类分级方式虽然可以提供给用户比较自由的选择空间，但还是不够灵活。节目组合的方式应运而生，节目提供商可以吧它的节目分成不同的节目列表。

#### (2) 节目分次预订 (PPV)

分次预订的节目是基于节目号实现的条件接收。节目提供商为每个将要播出的节目定义一个节目事件号。在节目播出前节目提供商通过 EMM 消息或其它的方式通知用户将要播出的节目及播出时间。用户通过打电话点播想要收看的节目，节目提供商添加对应的节目事件授权，通过 EMM 授权发送出去。用户接收到 EMM 后把授权存入卡中。到节目播出时，只要用户卡中存储的事件号和节目的事件号相同，用户即可收看。

#### (3) 节目即时购买 (IPPV)

不同的节目号及价格，按次记费方式。IPPV 数据可经电话或电缆回传。即时购买的节目是最灵活的收看方式，节目提供商可以为每个即时购买的节目定好收看的费用，预览时间长度（以控制字计）。节目播出时用户可以收看一段预览节目，预览结束后会在屏幕上显示该节目的价钱，并询问用户是否购买收看该节目。如果用户选择购买，并输入正确的用户密码，就完成了节目的购买，而无需提前打电话预定节目。

以上的三种基本形式实际上可以将节目源进行任意定制组合，为不同爱好的观众提供最适合其特点的个性化的服务。

### 5.5.2 实现地区的阻塞

节目提供商可以通过使用地区阻塞，禁止指定地区内的用户收看节目，尽管他们有授权，

这种方式是地区阻塞。一般情况下，地区是基于智能卡所有者所在的地理位置来划分的，智能卡中的每个密钥集都有自己的 GCA，用来指明地理位置。

### 5.5.3 发送 EMM 消息

EMM 消息可以分为惟一寻址的消息和全局消息。全局消息发给所有属于该节目提供商的用户，这个消息将通过在屏显示（OSD）显示在用户的电视上，一般用于发送第二天的节目预报，或者新节目的介绍等内容。

惟一寻址消息意思是这个消息将通过惟一的 ID 发送给指定的用户。只在这个用户的屏幕上显示节目提供商发出的消息，其他用户无法收到这个消息。这种消息适用于通知用户交费等用途。

节目提供商可以设定消息显示的时间，比如 60 秒，用户可以手动取消它。实际上这是一种广告或节目通知的手段。

### 5.5.4 发送邮件

邮件可以分为惟一寻址的邮件和全局邮件。用户收到邮件后，邮件并不马上显示在屏幕上而只是提醒用户有新邮件。只有用户手动查看邮件时，邮件的内容才会显示在屏幕上。惟一寻址邮件意思是这个邮件将通过惟一的 ID 发送给指定的用户。用户查看后，邮件并不会丢失而是存储在机顶盒中，直到用户手动删除邮件或者存储达到最大数目的限制而又收到新邮件时删除最旧的邮件。

### 5.5.5 不同层次的加扰方式

分别对 PES 层（Program Elementary Stream）和 TS 层（Transport Stream）加扰。当对 TS 加扰时，对视音频和数据都采用同一个控制字（CW）进行加扰，CW 在一个相同 PID 的 ECM 流中传输；如果对 PES 加扰，视音频和其他数据流分别在最基本层次被不同的控制字加扰，而且在不同 PID 标识的 ECM 中传输。这种不同层次的加扰方式为用户提供了更多的选择和灵活性，例如可以在同套流中加入多国语言的支持，满足不同要求。

### 5.5.6 成人级分类

智能卡严格按照成人级分类对密码进行验证，保证适当年龄的人群收视适当的节目。

### 5.5.7 指定一机一卡方式

默认情况下，一般不指定这种方式，但如果想禁止用户持自己的卡而借用他人的机顶盒收看节目，就可以以这种一机一卡方式进行匹配验证。

### 5.5.8 智能卡认证

智能卡和机顶盒之间的通信是加密的。用来保护智能卡解密出来的传输给机顶盒的控制

字。此功能将智能卡和机顶盒之间的通信又加了一把锁，严格控制着通信的安全性。

## 5.6 机卡分离技术介绍

### 5.6.1 机卡分离的目的

数字电视接收机（或机顶盒）与智能卡的配对分为机卡配对和机卡分离。机卡配对是指接收机与智能卡必须一一对应才能完成信号的授权接收和还原。机卡分离是指接收机是通用的，只需要合法的智能卡配合就可以实现信号的授权接收和还原。

在国家广电总局整体转换政策的推动下，目前我国有线数字电视的发展开始进入快车道。在有线电视整体转换的过程中，运营商普遍面临降低机顶盒成本和增加增值应用的两难问题。由于我国有线电视体制为划地区、多层次结构，各地电视台采用不同系统，各地信号的加密方式、条件接收（CA）系统是不同的，而这些系统互相并不兼容，因此对用户授权的控制功能跟当地有线电视运营单位密切相关。数字电视接收机产业面临着标准不统一和地域性差异制约着机顶盒量产和一体化数字电视机上市的难题。数字电视与模拟电视的区别主要体现在三个平台上面：信道平台、信源平台和应用平台。信道平台通过调制解调和纠错编解码技术实现数字电视信号的在不同信道环境下（地面、有线、卫星等信道）的可靠传输；信源平台使用音视频压缩技术实现音视频数据的高效传输和存储；应用平台提供 CA（条件接收）、EPG（电子节目指南）、下载器、数据广播和 VOD（视频点播）等多种数字电视增值应用。目前国内广播界针对信源平台的标准高度统一（MPEG-2），信道平台也相对的统一和稳定。而由于数字电视的应用层出不穷，没有也难以做到针对各种应用的统一标准。目前我国市场上存在着多种 CA、下载器、EPG、数据广播和中间件系统，各种增值应用更是多种多样。大大提高了机顶盒厂商的研发、生产、市场推广和技术支持的门槛，机顶盒难以量产和降低成本、提高可靠性，一体机更是难以上市。

机卡分离的最大优势是接收设备制造商能够进行大批量的规模生产，各地有线电视运营单位只需要考虑自己的“卡”而不必考虑机顶盒的问题；机卡分离加入扩展接口后，可以减少机顶盒功能，降低机顶盒的成本；扩展功能不限于 CA 分离，靠这个扩展接口增加功能，开展增值业务增加收入；在不太需要再投入的情况下，靠百姓自愿购买的扩展业务和已有的或购买的扩展产品，减少重复投资。

### 5.6.2 国外机卡分离技术介绍

针对机顶盒市场被多种 CA 分割的问题，为了使数字电视接收机可以在普通市场上销售，促进公平竞争，欧洲 DVB 首先制定并于 1995 年 3 月颁布了针对 CA 机卡分离的 DVB-CI(EN 50221) 标准。针对数字电视高速传输流的需要，作为 PCMCIA 组织的执行成员，SCMM 公司向 DVB 推荐了当时的高速接口 PCMCIA 标准组 1990 年颁布的 PC Card TypeII 接口作为 DVB-CI 的物理接口，并被采纳。DVB-CI 并未装入与保密有关的全部功能。该方案将 CA 系统几乎全部由 PCMCIA 大卡实现。国际上 DVB-CI 产品主要由 SCMM 公司生产和销售，在全球累计销售了 700 万张 CAM 卡。使用 CAM 卡的数字电视用户约占 2%。

在美国的有线电视机顶盒一直以来都是由几家有线电视运营商控制发送，没有进入商业销售。为了打破垄断，美国 FCC 早在 1992 年和 1996 年颁布的通信法案中就规定有线电视用户有权选择其有线电视服务接收设备，并在其颁布的 NPRM 法令中要求在机顶盒和其它消费设备的销售中进入竞争机制。FCC 又在 1998 年 6 月颁布命令，要求有线电视运营商在 2000 年 7 月 1 日前制造出分离式的安全（CA）模块以实现接收设备的商业销售。在执行该法令的过程中，当时美国广播运营商和有线运营商主要关心两个问题，一是针对内容提供商对节目内容保护的要求愈加强烈，二是要采用有足够的带宽的接口技术以满足音视频的传输要求。当时可以考虑的接口只有 2 个，一是 DVB-CI 采用的 PCMCIA PC Card TypeII 接口的 Byte 并行传输方式，可以提供 80Mbps 的传输速率，另一个是 IEEE 组织在 1995 年颁布的 IEEE1394 接口，该接口是专门为实时双向传输音视频流设计的串行接口，设计速率可达 400Mbps。美国 CableLab 公司和 SCTE 联合开发了针对这两种接口的内容保护技术，一是借鉴 DVB-CI 开发的基于 PCMCIA PC Card 接口的 POD 技术（现改称 Cable Card），另一个是基于 IEEE1394 接口的内容保护技术。

CableLab 公司于 2000 年 1 月发布了 POD 标准，并于当年年底正式提交给 FCC。POD 标准规定在一张 PC 卡（POD 模块）上装入与保密有关的全部功能，包括认证电路及密钥数据、解扰电路和有线传输数据业务接口规范 DOCSIS（Data Over Cable Service Interface Specification）的 MAC 层电路等。规范中还包括被称为 OOB（Out-Of-Band）的上行和下行控制用数据通道。按照 1998 年 6 月的规范议案，POD 模块首先利用 OOB 通道与前端通信并进行认证处理，经机顶盒解调得到的比特流一次性全部输入 POD 模块，如果认证结果正确，则 POD 模块对接收的比特流进行解扰处理，解扰后的比特流再返回机顶盒。

FCC 要求 2005 年 1 月 1 日以前美国的有线电视运营商要开始采用 POD 或 IEEE1394 技术实现安全模块的机卡分离。由于 FCC 法令要求的时间紧，多数接收机设备厂商只能用可以借鉴的 DVB-CI 技术实现进行 POD 接口的研发，美国 FCC 不得不将时限推迟到了 2006 年 7 月 1 日。

### 5.6.3 我国自主知识产权 UTI 机卡分离方案

目前在中国市场上不但存在多种 CA 系统，EPG、下载器、数据广播、VOD 更是林林总总。要实现数字电视接收机在普通市场上的水平销售，必须实现这些功能的彻底分离。我国在今天研发和制定数字电视接收机机卡分离的技术和标准要着眼于目前和未来我国市场的需求和应用环境。在 2002 年初清华大学联合体在提出针对我国国情的数字电视机卡分离技术方案时，认真研究了国内外数字电视应用的现状和发展趋势，研究了国际上的机卡分离技术和高速接口技术。在信息产业部电子发展基金的支持下，着重从技术的先进性（可实现的功能和性能）、自主知识产权和技术的可实现性等三个方面考虑制定技术方案和标准草案。

USB 标准组织在 2000 年 4 月底发布了 USB2.0 高速接口标准（4 根腿）。可以在其 2 根数据线上实现理论最高 480Mbps 的传输速率。与欧洲和美国采用的 PCMCIA PC Card 接口标准（68 根腿 80Mbps）和 IEEE1394 接口标准（4 腿，400Mbps）相比，具有更高传输速率和更简单实用低成本的机械结构。更重要的是 PCMCIA PC Card 标准和 IEEE1394 标准都有知识产权费用的要求。清华大学联合体利用后发优势，在其提出的 UTI（Universal transport Interface）机卡分离接口协议一方面在物理层采用当时最高性能并免知识产权费的 USB2.0 接

口，另一方面在其上面四层协议中（见下图）规定了实现 EPG、下载器、数据广播、调协器和数字内容版权保护等多种应用的信令和数据传送结构。



图 5-4 传输协议示意图

由于 USB2.0 接口在一开始并不是针对音视频的传输设计的，为了实现音视频高速双向实时传输功能，清华大学设计团队成功开发了 TS over USB 的核心技术，在 USB2.0 接口上通过硬件第一个实现了串行高速实时双向传输，突破了 USB 接口的应用领域。为了节省 CPU 对接口控制的操作，清华大学联合体企业又开发生产了国际上第一块低成本 TS over USB 的专用芯片，通过硬件实现音视频流的传输协议转换和控制，与 PCMCIA 和 1394 方案相比，极大地节省了 CPU 资源和软件开发工作量和存储空间资源。另一方面，UTI 协议采用通用 USB 接口协议，支持目前市场上现有 USB 应用，具有很强的功能扩展空间。目前国际主要数字电视芯片厂商都已经或正在将 USB 接口加入到数字电视芯片产品中，预计在未来的一、二年内，USB 接口可望成为数字电视接收机和机顶盒的必备接口，这就为推广 UTI 机卡分离技术打下了良好的市场和成本基础。

2005 年 5 月信息产业部改组机卡分离标准工作组为数字电视接收设备机卡分离标准工作组，改组成立了由 30 余家国内主要数字电视接收机和机顶盒生产企业、软件企业和运营商组成的 UTI 机卡分离标准项目组。目前已经开发完成了多种基于 UTI 机卡分离技术的机顶盒和一体机平台和产品。实现了 UTI 机卡分离接口芯片的量产和支持多种应用 UTI 卡产品的产业化。UTI 机顶盒在河北省已经正式在用户家投入使用，成为目前国内第一个投入市场并正式使用的机卡分离方案。运营商可以首先发送低成本的满足基本运营要求的机顶盒，但要在该机顶盒上预留一个 UTI 接口，不需要发送 UTI 卡。以后运营商希望增加新的增值服务时，只需增加相应的 UTI 应用卡实现应用，而不必更换机顶盒，大大降低升级换代成本。

无论是就面向未来的技术前瞻性还是产业化进程，专门为中国数字电视量身度体设计开发的基于 USB 接口的自主知识产权的 UTI 标准都大大优于基于 PCMCIA PC Card 接口的欧洲标准 DVB-CI，都能更好地满足有线网运营商进行数字化转换对机卡分离的要求。UTI 方案是中国数字电视“机卡分离”策略的最优选择。

## 5.7 数字电视的传输方式

由于数字视频码率压缩技术的迅速发展，数字压缩电视节目不断增多，电视人口覆盖率要求不断提高，一个完美的视、音传输方式，能否将电视节目分配和广播到户，已愈来愈引起人们的关注。

目前，民办一些发达国家已普遍采用卫星、微波和有线相结合的传输网络。我国也开始利用卫星传送多路数字压缩电视节目，以及微波中继系统和 CATV 系统形成的网络到户。

1995 年 11 月，我国中央电视台用中星 5 号 G 频段成功地向全国播出了体育、电影等五套数字压缩的电视节目。1996 年 8 月又采用美国 SA 公司的符合 MPEG-2/DVB 标准的设备向全世界播出了中央 3 台和中央 4 台的数字压缩电视节目。

1997 年初，我国 MPEG-2/DVB 标准，用亚洲 2 号卫星的 3B 转发器以 SCPC 方式传送了河南、内蒙古、青海、广西、湖南等五省区的数字压缩电视节目；用亚洲 2 号卫星的 6B 转发器传送了福建、广东、湖北、江西、辽宁等五省的数字压缩电视节目，（也采用 SCPC 方式）。数字压缩技术的上星广播，给我国的数字电视发展注入了新的生机。

在我国将多套数字压缩电视节目送上卫星的方式，通常有两种：一种是将每套节目各自调制一个载波后发至卫星，另一种是将几套节目的数据流合成一个数据，然后调制一个载波，将其发至卫星。前者被称为 SCPC（单路单载波）方式，后者被称为 MCPC（多路单载波）方式。我国各省台采用的 SCPC 方式，共用一个转发器，中央台因传送的是多套节目，因而采用了 MCPC 方式。

在接收端根据不同用途可有两种接收方式：一种是通过有线电视台配备的 IRD 业务，将收到的卫星数字电视信号转换成模拟信号，以常规方式送入有线电视网；另一种是直接到户，但这时家庭要配备一个家用 IRD，卫星数字电视信号就可以直接送到电视机，使用户十分方便地收看到电视节目。

目前，我国各地城镇已建起了 CATV 系统，并且也正在向更高级阶段发展，使得大型工矿企业能与城镇，或几个城市之间实现 CATV 的系统联网，从而使传输距离由几公里扩大到几十公里至几百公里的范围。由于业务内容的不断增多，对传输距离的扩大，除了要求各种设备的高性能外，还必须解决远距离传送手段。目前普遍使用的优质同轴电缆，即使设计了合理的放大器，对于甚高频最远可传 14km，而全频道系统只能传送 2.75km.

因柴解决远距离传送，除利用可以传送几十公里的光纤技术外，主要一种方法是利用微波技术，即用微波作为 CATV 系统的延伸。微波即频率为 30MHz-300GHz 范围内的电磁波，其波长为 1m-1mm。由于微波具有频带宽、稳定性好、直线传播、定向收发等特点，目前各国的电视传输网中的远距离传输几乎都采用了微波中继系统。我国也是如此，在大型 CATV 系统中已经进入使用电视微波技术的阶段。

## 本章总结

学习完本章，学生应该掌握：

- ◆ 掌握电视电视条件接收的基本原理
- ◆ 掌握数字电视同密与多密 CA 原理
- ◆ 掌握数字电视条件接收特点
- ◆ 掌握数字电视条件接收功能
- ◆ 掌握数字电视机卡分离原理

# 第 6 章 数字电视广播系统

## 本章目标

本章结束时，学生能够：

- ◆ 掌握数字电视三大制式
- ◆ 掌握三种制式的优缺点
- ◆ 掌握我国数字电视标准的发展现状

### 6.1 数字电视广播系统概论

根据信号传输媒体的不同数字电视的广播方式分为卫星、有线和地面广播。卫星数字电视广播和有线数字电视广播系统的信道编码和高频调制方式在国际上有公认的、优化的成熟技术，参数标准各国基本类同，已经普遍先行推出。目前国际上相对较成熟的数字电视信号传输标准大致分为三类：即以欧洲为典型的 DVB、以美国为代表的 ATSC 和由欧洲的 DVB 衍生出来的集中在日本的 ISDB。

地面开路广播通道的传输媒体其传输特性与卫星和有线相比较有较大的不同，在信道编码和高频调制的信号处理方式方面各国有不同的侧重考虑。现在，国际上对此有着三种制式，即美国的 ATSC 制式、欧洲的 DVB-T 制式和日本的 ISDB-T 制式，前两种制式于 20 世纪末已分别在美国和英国得到实际应用，日本的制式也于 21 世纪初开播。

本章将介绍这几种已实用和将使用的数字电视地面广播制式，主要学习它们的信道编码和高频调制方式。关于演播室参数主要分 SDTV 和 HDTV 两类，信源编码都采用 MPEG-2 的码率压缩标准。

#### 6.1.1. 美国的 ATSC

美国对新一代电视的研究工作十分重视。1987 年成立高级电视顾问委员会（ACATS），1990 年美国 FCC 提出发展 HDTV 系统的三条基本原则：放弃信源兼容，坚持信道兼容；频谱利用上与常规电视兼容，HDTV 地面广播从禁用频道开始，因此 HDTV 广播接收要有抗常规电视干扰的能力并尽量避免对常规电视的干扰。1991 年对六套 HDTV 系统（其中包括两套模拟系统）进行测试，淘汰了两套模拟系统，决定采用全数字电视制式。1993 年 5 月，提出四套全数字方案的公司联合成立数字电视大联盟 GA（Grand Alliance）。1994 年 4 月，GA 推出了数字 HDTV 大联盟制式，它不但吸取了本国各主要数字 HDTV 制式的优点，而且从

日本和欧洲的研究中得到许多启示，因此标准高，方法灵活。

美国在发展高清晰度电视时首先考虑的是如何通过地面广播网进行传播，1996年12月24日，美国正式批准了由ATSC（Advanced Television System Committee先进电视制式委员会）制定的主要用于地面广播数字电视的标准，称之为DTV。ATSC数字电视标准由四个分离的层级组成：最高层是图像层，确定图像的形式，包括像素阵列和帧频；第二层是图像压缩层，采用MPEG-2图像压缩标准；第三层是系统复用层，特定的数据被纳入不同的压缩包中；最后一层是传输层，确定数据传输的调制和信道编码方案。DTV标准包括视频编码输入、扫描格式和预处理、视频编码压缩和压缩参数、音频编码器输入格式、预处理、编码和压缩参数、服务业务复用、传输层特性及规范。其视频压缩采用ISO/IEC13818-2（MPEG-2）标准，音频压缩采用ATSC标准A/52（即AC-3），复用和传输系统采用ISO/IEC13818-1、13818-2、13818-4以及ATSC标准A/52。

DTV的RF/传输子系统采用具有导频的残留边带调制VSB，分为地面广播和高数据率两种模式。TCM-8VSB用于地面广播，它在6MHz频带内的传输的净荷数码率为19.39Mb/s，单位频带数码率为(3.23b/s)/Hz。一般可传送4套标准幅宽度电视节目或一套1920×1080I高清晰度电视节目；接收端采用复杂的自适应均衡器以解决传输信道衰落问题。系统采用以RS码作为外码，多电平格状编码作为内码的级联编码的正向纠错和数据交织措施，用RS(208, 188)编码，能够纠正10个误码，并且采用更长的52个RS块交织器，以平缓脉冲干扰和同频道的NTSC干扰。对于加性白噪声信道，抗噪声能力较强；对脉冲干扰和相位噪声也较好的抑制能力，其峰均功率比也较小。但该系统未考虑移动接收问题是其主要缺陷。16VSB用于高速率模式，它适用于信噪比很高的信道（高于28.3dB），纠错方法比较简单，去除了在地面广播中采用的格状编码和现行电视干扰抑制滤波器，在6MHz频带内的传输数码可达38.57Mbps，可用于有线电视网等环境。

目前采用8VSB标准的有美国、加拿大和南美部分国家。某些国家和地区也曾考虑采用，但因它在室内和移动接收方面的弱点可能改用其他标准。

在普及推广数字电视的政策上，美国采取政府强制过渡的方式，以保证数字电视能成功实现。1997年4月，颁布实施了数字电视地面广播的时间表及电视频道分配方案。美国通讯委员会FCC规定，在推动数字电视的过程中，广播公司只要能向公众提供用户逐渐信赖的免费节目，就以根据他们认为最好的业务来使用他们的频道。

为了保证数字电视的顺利发展，FCC要求10大市场中的4大网络（ABC、CBS、FOX、NBC）的联播电视台到1999年5月必须播出一个数字业务（这一要求已于1998年11月实现）。此外还规定：2004年7月新生产的36英寸以上的电视机必须配有数字调谐器，2005年7月25-35英寸的电视机也必须配有数字调谐器，2007年所有电视机都应该能够接收数字电视。

ATSC数字电视标准由四个分离的层级组成，层级之间有清晰的界面。最高层为图像层，确定图像的形式，包括像素阵列，幅型比和帧频。第二层是图像压缩层，采用MPEG-2图像压缩标准。第三层是系统复用层，特定的数据被纳入不同的压缩包中，如节目1图像，节目2声音，或者辅助数据，采用MPEG-2系统标准。最后一层是传输层，确定数据传输的调制和信道编码方案。对于地面广播，其标准采用Zenith公司开发的8VSB，此系统可通过6MHz的地面广播频道实现19.3Mb/s的传输速率。该标准也包含适合有线电视系统高数据率的

16VSB 模式，可在 6MHz 的有线信道中实现 38.6Mb/s 的传输速率。

下面两层共同承担普通数据的传输，上面两层确定地普通数据传输的基础上运行的特定配置，如 HDTV 或 SDTV（标准清晰度电视）。上面两层还确定 ATSC 标准支持的具体图像格式，共有 18 种格式（HDTV6 种、SDTV12 种），14 种采用逐行扫描方式。

- HDTV，1920 像素 (H) ×1080 像素 (V)，宽高比 16: 9，帧频 60Hz/隔行扫描制，帧频 30Hz/逐行扫描制，帧频 24Hz/逐行扫描制；
- HDTV，1280 像素 (H) ×720 像素 (V)，宽高比 16: 9，帧频 60Hz/逐行扫描制，帧频 30Hz/逐行扫描制，帧频 24Hz/逐行扫描制；
- SDTV，704 像素 (H) ×480 像素 (V)，宽高比 16: 9 或 4: 3，帧频 60Hz/隔行扫描制，帧频 60Hz/逐行扫描制，帧频 30Hz/逐行扫描制，帧频 24Hz/逐行扫描制；
- SDTV，640 像素 (H) ×480 像素 (V)，宽高比 4: 3，帧频 60Hz/隔行扫描制，帧频 60Hz/逐行扫描制，帧频 30Hz/逐行扫描制，帧频 24Hz/逐行扫描制。

HTDV 除 1 种之外，图像格式都采用逐行扫描。因为 1920×1080 格式不适合在 6MHz 信道内以 60 帧/秒进行逐行扫描，故以隔行扫描取代之。SDTV 的 640×480 图像格式与计算机的 VGA 格式相同，保证了与计算机的适用性。在所有 12 种 SDTV 格式中，有 9 种采用逐行扫描，保留 3 种为隔行扫描方式以适应现有的视频系统。

尽管 ATSC DTV 标准包含了高数据率的 16VSB 传输模式以适应有线电视系统，而美国的有线电视业实际上采用的是相近但不相同的标准，这是因为美国有线电视业在 ATSC DTV 标准被 FCC 通过之前已对发展不同的数字化技术投入大量的资金。作为 ATSC 的重要成员，有线电视通信工程协会已采纳了数字化有线系统的标准，此标准协调了美国有线工业现行标准化和 ATSC DTV 的标准。

另外，这些有线标准包括反映现行标准的一级图像格式，ATSC SDTV 图像格式，同时设定了一套二级图像格式，有线业可用于后兼容的电视上。二级图像格式与 ATSC DTV 格式相同，包括 HDTV 和 SDTV 两种格式。另外 ATSC 还开发通过了在帧频为 50Hz 的国家使用的另行标准。HTDV 的像素阵列相同，但帧频为 25HZ 和 50HZ。SDTV 格式的垂直分辨率为 576 行而水平分辨率则不同；也包含 352×288 格式，适应必要的窗口设置。基于 50Hz 版本的 ATSC DTV 标准使采用帧频为 50Hz 的国家更易于使用。

### 6.1.2. 欧洲的 DVB

1995 年，欧洲 150 个组织合作开发数字视频广播 DVB（Digital Video Broadcast）项目，并成立了 DVB 联盟。DVB 联盟是一个由 30 多个国家和地区的 260 多个成员组成的国际机构，该机构的首要目标是在全球范围内发展和推广共同的数字电视广播标准。DVB 联盟共同制定了数字电视的 DVB 标准。欧洲的全数字电视系统包括从地面广播、卫星传送、有线电视，包括标准清晰度数字电视 SDTV 和数字高清晰度电视广播 HDTV。这是一套有关电视广播系统大家庭诸多要素的统一标准，其中最引人瞩目的是 DVB 数字卫星和有线电视传输系统的标准。这些标准已作为世界统一的标准被大多数国家接受（包括中国），它较其他标准的优点是灵活可扩充和移动通信。

DVB 标准规定数字电视系统使用统一的 MPEG-2 压缩方法和 MPEG-2 传输流及复用方法。统一的服务信息系统提供广播节目的细节信息、统一的 R-S 纠错码、统一的加扰系统和

条件接收公共接口。允许不同的厂商选用不同的条件接收系统，对于不同的传输媒体，可采用不同的调制方法及通道编码纠错方法。

DVB 数字广播传输系统利用了包括卫星、有线、地面、SMATV（卫星共用天线电视）、MMDS（调幅微波向多点传送）在内的所有通用电视广播传输媒体。它们分别对应的 DVB 标准中：DVB-S、DVB-C、DVB-T、DVB-SMATV、DVB-MS 和 DVB-MC，形成完整的数字电视传输标准系列。DVB-S (ETS 300 421)：用于数字卫星直播电视。它采用 QPSK 调制，工作频率为 11/12GHz。使用 MPEG-2 格式，用户端达到 CCIR601 演播室质量的码率为 9Mbps，达到 PAL 质量的码率为 5Mbps。一个 54MHz 转发器传送速率可达 68Mbps，并可供多套节目复用。DVB-C (ETS 300 429)：用于数字有线电视系统。该标准以有线电视网作为传输介质，工作频率在 10GHz 以下。它具有 16QAM、32QAM、64QAM 三种调制方式，采用 64QAM 调制时，一个 PAL 通道的传送码率为 41.34Mbps，还可供多套节目复用。

欧洲地面数字电视传输标准 DVB-T (ETS 300 744) 于 1996 年制定，采用多载波编码正交频分复用 (COFDM) 技术，有 2KHz 和 8KHz 两种模式，分别有 6817 个和 1705 个副载波。在 8MHz 带宽内净荷数码率为 4.98~31.67Mb/s。也可用于带宽为 6 或 7MHz 的信道，但数码率相应减少。系统带内插入 54 个连续导频信号和 1/12 个散布导频信号，实现同步和信道估计。系统还有保护间隔，以适应多径干扰和多个发射机的单频组网问题。这种传输系统能用于高斯、Rice 和 Rayleigh 信道，抗静态长延时多径干扰能力强，抗动态多径失真能力也较好。可用于固定、便携和移动接收，其代价是有用数码率略低于 ATSC。DVB 发展组织因预见到移动通信与数字广播网络整合的可能性，因此在 2002 年 9 月即提案，发展适用于手持式装置的标准 DVB-H (DVB-Handheld)，并在 2004 年 1 月制定出该规格的基本框架，接着在 2 月进入验证与标准化的程序。由于 DVB-H 的发展脚步较快，不论是美标还是目标的相关技术也都向它靠拢。

DVB 的音频压缩方法可有多种选择：立体声 MUSICAM、多声道 MUSICAM、AC-3 及 MPEG-2。

DVB 数字广播系统除传送普通的视频、音频信号外，还需传送接收 IRD 调谐、节目指南，以及图文、字幕、图标等信息。适用于此类基带附加信息系统的 DVB 标准包括：DVB-SI (ETS 300 468) — 数字广播业务信息系统标准、DVB-TXT (ETS 300 472) — 数字图文广播系统标准和 DVB-SUB (ETS 300 743) — 数字广播字幕系统标准。

DVB 数字广播系统中的许多业务能根据需要，提供某种形式的交互服务。在通用 DVB 数字广播系统的基础上，进一步构成交互业务系统的要素包括与其他相关国际标准兼容的交互业务网络独立协议，传送交互服务过程命令与控制信号的回传信道等。与此对应的交互业务系统 DVB 标准有：DVB-NIP(ETS 300 802) — DVB 交互业务网络独立协议标准、DVB-RCC (ETS 300 800) — CATV 系统 DVB 反传信道标准和 DVB-RCT (ETS 300 801) — PSTN/ISDN 的 DVB 反传信道标准。

DVB 数字广播系统中有些业务传送的是加扰的条件接收信息。条件接收的通用接口，使 IRD (Integrated Receiver Decoder，综合解码接收机) 能够解扰采用通用加扰算法的加扰信息。DVB 数字广播系统与其他电信网络（例如 PDH、SDH、ATM 等）的连接扩展了 DVB 技术的应用范围，其与这些电信网络的接口实现了 DVB 向电信网络的过渡。此外还有用于连接专业设备及 IRD 的接口。关于这些接口的 DVB 标准包括：DVB-CI (EN 50221) — 条件接收

及其它应用的通用接口标准、DVB-PDH (ETS 300 813) —PDH (准同步数字系列) 网络 DVB 接口标准、DVB-SDH (ETS 300 814) —SDH (同步数字系列) 网络 DVB 接口标准、DVB-ATM (ETS 300 815) —ATM 网络 DVB 接口标准、DVB-PI (EN 50083—9) —CATV/SMATV 前端及类似的专业设备接口标准和 DVB-IRDI (EN 50201) —DVB-IRD 接口标准。

目前，欧洲的高清晰度电视虽尚未具体应用，但他们利用普通数字电视便于普及的优势，加速在全世界推广 DVB 标准，以此来和美国的数字电视标准抗衡。

DVB 标准公布之后，几乎所有的卫星直播数字电视均采用 DVB-S 标准，包括美国的 Echostar 等。我国各省的卫星电视台均选用了 DVB-S 标准。DVB-T 标准是 1998 年 2 月批准通过的，第一个正式的开路数字电视系统于 1998 年初开始运营，采用 COFDM 调制方式，适用于大范围多发射机的 8k 载波方式。数字地面电视 (DVB-T) 标准正在逐渐被世界各国所采用，目前已在欧洲的 15 个国家和澳大利亚、新西兰得到应用。由于相对较低的基础设施费用投入和各国相对简单标准协调问题，数字卫星电视 (DVB-S) 网、数字有线电视 (DVB-C) 网和数字开路电视 (DVB-T) 网先走一步，发展很快。

DVB 数字广播传输系统利用了包括卫星、有线、地面、SMATV、MMDS 在内的所有通用电视广播传输媒体。它们分别对应的 DVB 标准中：DVB-S、DVB-C、DVB-T、DVB-SMATV、DVB-MS 和 DVB-MC。

(1) DVB-S (ETS 300 421) 数字卫星直播系统标准该标准以卫星作为传输介质。通过卫星转发的压缩数字信号，经过卫星接收机后由卫星机顶盒处理，输出现有模拟电视机可以接收的信号。这种传输覆盖广，节目量大。数据流的调制采用四相相移键控调制 (QPSK) 方式，工作频率为 11/12GHz。在使用 MPEG-2 的 MP@ML (主类@主级) 格式时，用户端达到 CCIR601 演播室质量的码率为 9Mb/s，达到 PAL 质量的码率为 5Mb/s。一个 54MHz 转达发器传送速率可达 68Mb/s，并可供多套节目复用。在 DVB-S 标准公布之后，几乎所有的卫星直播数字电视均采用该标准，包括美国的 Echostar 等。我国也选用了 DVB-S 标准。

(2) DVB-C (ETS 300 429) 数字有线广播电系统标准该标准以有线电视网作为传输介质，应用范围广。它具有 16、32、64QAM 三种方式，工作频率在 10GHz 以下。采用 64QAM 正交调幅调制时，一个 PAL 通道的传送码率为 41.34Mb/s，还可供多套节目复用。系统前端可从卫星和地面发射获得信号，在终端需要电缆机顶盒。

(3) DVB-T (ETS 300 744) 数字地面广播系统标准这是最复杂的 DVB 传输系统。地面数字发射的传输容量，在理论上大致与有线电视系统相当，本地区覆盖好。现在采用编码正交频分复用 (COFDM) 调制方式，8MHz 带宽内能传送 4 套电视节目，而且传输质量高。但这种系统其接收费用高，频道也较少。

(4) DVB-SMATV (ETS 300 473) 数字 SMATV (卫星共用天线电视) 广播系统标准该标准是在 DVB-S 和 DVB-C 基础上制定的。

(5) DVB-MS (ETS 300 748) 高于 10GHz 的数字广播 MMDS 分配系统标准 MMDS 是采用调幅微波向多点传送，分配多频道电视节目的系统。该标准基于 DVB-S，使携带大量节目的微波信号直接入户。用 DVB-S 接收机配上一个 MMDS 频率变换器就可接收 DVB-MS 信号。

(6) DVB-MC (ETS 300 749) 低于 10GHz 的数字广播 MMDS 分配系统标准该标准基于 DVB-C，使携带大量节目的微波信号直接入户。用 DVB-C 接收机配上一个 MMDS 频率变换

器就可接收 DVB-MC 信号。

### 6.1.3. 日本的 ISDB

日本高清电视的研制工作走了一段弯路。日本早在 1964 年就开始进行高清晰度电视技术 HDTV 的研究，由于拥有世界上最强大的制造技术，日本在这个领域里一度领先。1985 年它就建立了 1125 线、每秒 60 帧的 MUSE 制式，但日本却忽视了数字技术发展的大趋势。1983 年日本开始研究 ISDB（Integrated Services Digital Broadcasting）综合业务数字广播标准。1994 年 11 月，在国际电联无线电通信部门会议上，日本通过决议将 MPEG-2 作为数字广播的技术基础予以采用，正式开始迈向数字电视。

ISDB 综合业务数字广播，是 1999 年由日本的 DIBEG（Digital Broadcasting Experts Group 数字广播专家组）制定的数字广播系统标准。它主要定义传输系统，信源部分仍是 MPEG-2，该标准采用频带分段传输—正交频分复用（BST-OFDM）调制技术。利用此方式在一个普通的传输信道上发送各种不同种类的信号，同时已经复用的信号也可以通过各种不同的传输信道发送出去。ISDB 具有柔软性、扩展性、共通性等特点，可以灵活的集成和发送多节目的电视和其他数据业务。

ISDB 增加了部分接收和分层传输的功能，部分接收是指系统将整个 6MHz 带宽分为 13 段，每段 423KHz，主要解决窄带和宽带业务的同时接收问题。分层是指对不同段的纠错和调制方式进行不同的设置，以针对不同重要程度的信息和不同接收条件以及不同的接收区域。

1999 年制定了 ISDB-T 地面综合业务数字广播标准，在调制方面 ISDB-T 与 DVB-T 一样选择了多载波调制，但又有所改进。ITU-R 于 2001 年批准了日本提出的 ISDB-T 地面综合业务数字广播标准。节目内容可包括普及型清晰度电视（PDTV）至高清晰度电视（HDTV），以及音频、数据、图形、文本等。系统采用 QPSK、16QAM、64QAM 和 DQPSK 四种调制方式，带内插入 1/12 的散布导频。射频信道划分为 13 子块，采用三种副载频调制，不同子块可以采用不同的副载频，用于移动接收时采用 DQPSK 的副载波调制，还采用 0.5 秒时间交织以提高接收质量。信道带宽为 6MHz 时，传输码率为 3.6~23.2Mb/s；带宽为 8MHz 时为 9~31Mb/s。用户可以根据需要选用不同的业务。例如，对于可靠性要求高的业务，如密码或软件下载等，可保证其误码率足够低。

日本 ISDB-T 系统于 1998 年在东京试播，2003 年开始商业广播。和欧洲一样，日本除 ISDB-T 地面数字传输标准外，也提出 ISDB-S 卫星和 ISDB-C 有线传输标准，其目的都是用制定标准的办法来保护本国利益。

在以上三种标准中，DVB 是世界人口覆盖率最大的一种，组织成员已经达到 265 个（来自世界 35 个国家和地区），主要集中在欧洲并遍及世界各地。ATSC 组织成员有 30 个，其中美国国内成员 20 个，来自阿根廷、法国、韩国等 7 个国家的成员 10 个。ISDB 筹划指导委员会有委员 17 个，其他成员 23 个，其成员都是日本国内的电子公司和广播机构。下面分别对这几种主要的系统进行介绍。

7.1.4 数字电 ISDB 是日本的 DIBEG（Digital Broadcasting Experts Group 数字广播专家组）1998 年 11 月制订的数字广播系统标准，它利用一种已经标准化的复用方案在一个普通的传输信道上发送各种不同种类的信号，同时已经复用的信号也可以通过各种不同的传输信道发送出去。ISDB 具有柔软性、扩展性、共通性等特点，可以灵活地集成和发送多节目的

电视和其它数据业务。ISDB 结构如图 6-1

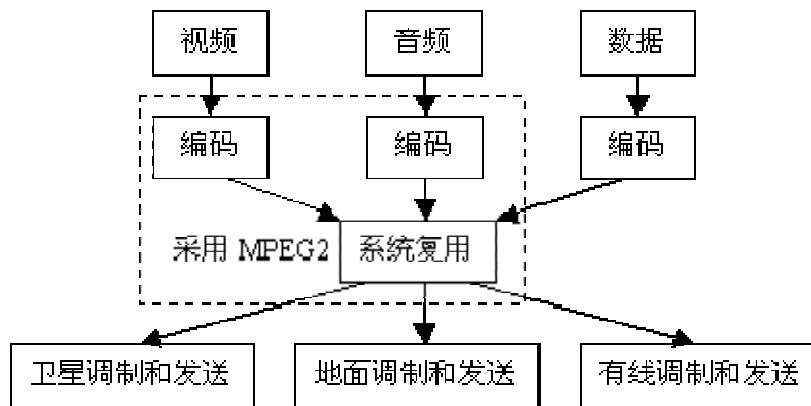


图 6-1 ISDB 基本结构

目前，采用美国 ATSC 标准的有 5 个国家或地区，共有成员 30 个。决定采用欧洲 DVB-T 标准的已有 33 个国家或地区，其成员已经达到 265 个。ISDB 筹划指导委员会的委员有 17 个，委员之外的成员有 23 个，它们都是日本国内的电子公司和广播机构。由这 3 个数字电视标准的成员数量及分布情况来看，可以看出 DVB 标准的发展最快，普及范围最大。

## 6.2 ATSC 数字电视广播系统

美国的 ATSC 制标准一种数字地面电视广播制式，在地面频道规划 6MHz 的射频带宽内能传输的符号率为 10.762Mb/s，净荷码率为 19.28Mb/s，能携载一套高清或多套标清的电视节目，也可用于数据传输。在与 NTSC 具有相同的覆盖区域下发射机功率容许降低 10dB 以上，能够使用在模拟电视广播中禁用的频道在当地进行数字电视广播，实现 NTSC 和 ATSC 的同播并且逐渐向全部 ATSC 过渡。

美国从 20 世纪末正式开始地面广播 HDTV 后，在初期发展并不快速，一是节目源欠丰富，二是接收机价格偏高，三是 ATSC 制式本身尚存在些问题因此，对 ATSC 制式尚在考虑保证兼容性下作出局部改进。

### 6.2.1 ATSC 的视频及系统复用

#### 1. ATSC 的图像源格式

ATSC 标准中规定了可以采用的 18 种数字图像源格式，包括一帧图像的象素数和扫描方式，ATSC 图像源格式如表 6-1 所示。

表 6-1 ATSC 图像源格式

ATSC 的图像源格式					
有效像素数 水平×垂直	宽高比	扫描参数	总行数	行频	取样频率
				KHz	MHz
1920×1080	16: 9	60I, 30P, 24P	1125	33.750	74.25
1280×720	16: 9	60I, 30P, 24P	750	45	74.25
704×480	16: 9	60I, 60P, 30P, 24P			
640×480	4: 3	60I, 60P, 30P, 24P			

其中：(I) 表示隔行扫描，(P) 表示逐行扫描；第一、二行为标准 HDTV 标准，第三行为 SDTV 标准，第四行对应于计算机的 VGA 格式。综合起来，共有 18 种图像源格式，数字电视广播台可以选择采用。

24P 扫描适应于电影制作，以 1080/24P 为例，按此格式进行 HDTV 节目摄录制作，存储入视频服务器后可通过磁转换，变成适合于 HDTV 电视广播的信号格式。

表中第三行内的 704×480 格式，符合 ITU-R BT.601 建议中的 720×480 规范，由于帧间码率压缩中的亮度宏块单元为 16×16 像素，因此每行像素取值 704 像素，在信源编码码率压缩中运动估值时每行内丢掉左侧右侧各 8 个像素。

## 2. 系统复用

ATSC 中的系统复用如图所示，可分为应用层、压缩层、传送层和传输层四层，传送层的输出即为传送流 TS。

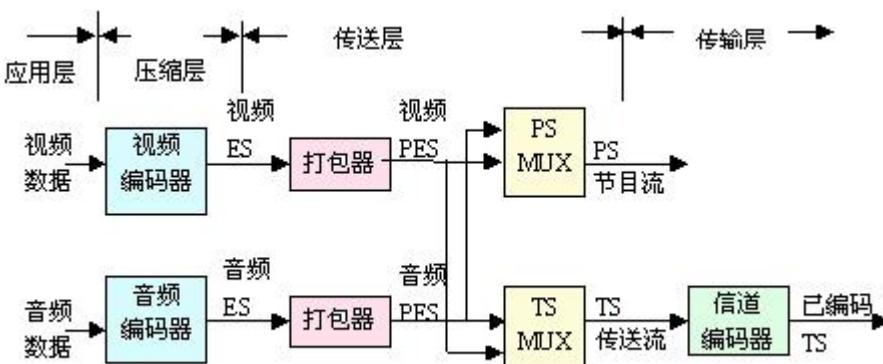


图 6-2 ATSC 中的系统

压缩层：根据规定信源编码标准将输入的数据流予以码率压缩，产生出基本流（ES）和

音频基本流，视频编码标准采用 MPEG-2，音频编码标准采用 MUSICAM 压缩技术。

传送层：将 ES 打包，形成打包基本流（PES），并实现视音频 PES 的复用，组成复用的节目流（PS）和/或传送流（TS）。PES 包的长度一般为一个存取单元，视频存取单元为一个图像帧，音频为一个音频帧。图像帧有 I、B、P 帧之分，它们的 PES 长度不相同。

在复用器（MUX）中视音频 PES 组成 PS 流和 TS 流。PS 流中按视音频的存取单元进行复用，它们的 PES 包长度不固定，而 TS 流在其复用器中被划分成固定长度 188 字节的小包。

### 3. TS 流包的构成

ATSC 中的 TS 流包的构成如图 6-2 所示。188 字节中分包头和净荷两大部分，包头内又分两层，一层是固定长度 4 字节的链接（link）层，另一层是可变长度的自适应（adaptation）层。由于自适应层长度不固定，所以 188 字节中净荷（payload）的字节数目也不是固定的，但一般地为 184 字节。第 1 个字节的包同步用于使接收端于发送端建立包同步，数据值固定为“01000111”（0×4）。13bit 的 PID 为包标识符，指出净荷中包含的数据信息类型。建立包同步后，按接收端可利用 PID 值提取出需要的 TS 包内容。一个包内的净荷只能够属于同一类类型的信息，例如某一种视频节目、音频节目或某类数据等。

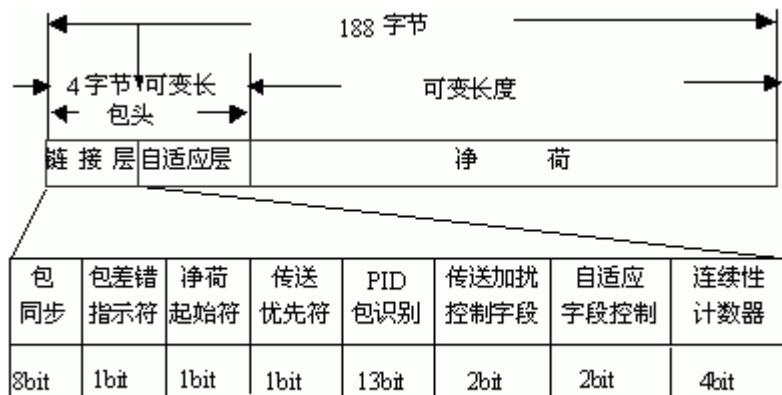


图 6-3 TS 流包的构成图

### 6.2.2 ATSC 的信道编码

ATSC 的传输系统框图如图所示。

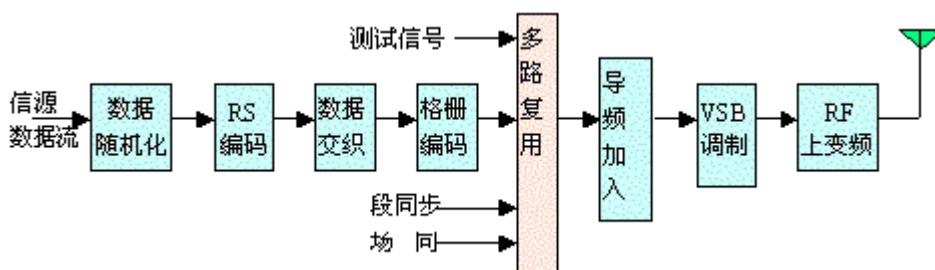


图 6-4 ATSC 的传输系统

### (1) 数据随机化

数据随机化的目的是打碎 TS 流包中可能出现的长“1”和/或长“0”，避免信号在低频段频谱上有大的能量，以适应信道的传输特性。数据随机化也称为能量扩散或数据加扰，使频谱主要能量段向上端移动。

$$\text{生成多项式的表达式为 } G(x) = x^{16} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^7 + x^6 + x^3 + x + 1$$

另外，在数据随机化后的 RS 编码中对每 187 个字节（同步字节除外）附加上 20 个误码纠错（前向误码校正，FEC）字节，形成 (207, 187, t=10) 的 RS 码。

### (2) RS 编码

ATSC 的 RS 码为 (207, 187, t=10)，对应的 k=187 符号，m=8 比特，监督段为 2t=20 字节，纠错能力为一段码长 207 字节内的 10 个字节。

RS 码长在原理上应  $n=2^8-1=255$  为字节，实施 RS 编码时，是在 187 字节前加上 48 个全 0 字节，组成 235 字节的信息段，而后根据 RS 编码电路在信息段后面生成 20 个监督字节，得到所需的 RS 码。

### (3) 数据交织

ATSC 中的数据交织为字节交织。交织电路如图所示。ATSC 中采用 I=52 的交织深度。交织深度 I 值越大，抗突发误码的能力越强。

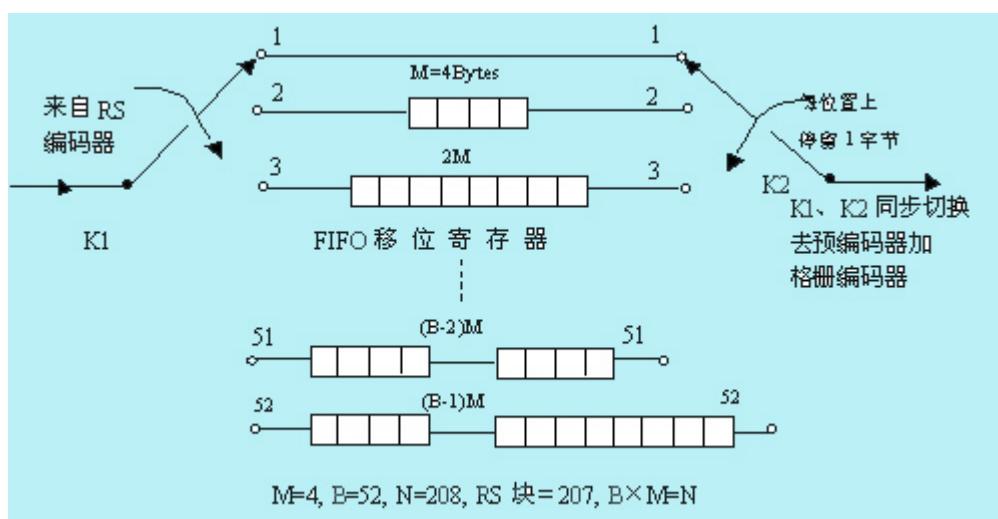


图 6-5 交织电路图

### (4) 格栅编码 (TCM)

信道编码中，为了充分提高抗误码的纠错能力，通常采用两次地附加纠错码的 FEC 编码。RS 编码属于第一个 FEC，187 字节后附加 20 字节 RS 码，构成 (207, 187) RS 码，这也可称为外编码。第二个附加纠错码的 FEC 一般采用卷积编码，又称为内编码。外编码和内编码结合一起，称之为级联编码。级联编码后得到的数据流再按规定的调制方式对载频进行调制。

TCM 编码原理：ATSC 中的内编码是将卷积编码与调制技术结合一起的格栅编码（TCM）。可在不增加信道带宽和不降低信息速率下获得 3~4dB 的编码功率增益。TCM 编码有助于提高抗随机噪声干扰的能力。ATSC 中的 TCM 编码框图如下图所示。

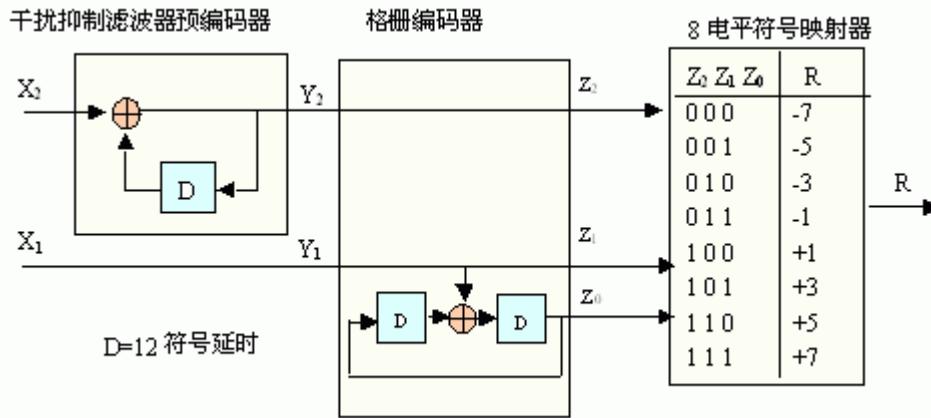


图 6-6 TCM 编码框图

输入  $X_2$ 、 $X_1$  是数据交织器串行数据流输出经串/并变换后的两路并行数据流，每对  $X_2$ 、 $X_1$  代表一个符号，有四种状态。

梳状滤波预编码器---作用是减弱与 NTSC 信号之间的同频道干扰。

格栅编码器--- $Y_2$  直接通过它后标记为  $Z_2$ ,  $Y_1$  经过 1/2 编码效率的卷积编码后输出  $Z_1Z_0$  比特对，形成 4 个电平状态的符号集合（00~11），电平的正负则由  $Z_2$  值确定。

符号映射器---表格中可看到映射关系。

于是，原来  $X_2$ 、 $X_1$  的 4 电平状态经 TCM 编码后变成了  $Z_2Z_1Z_0$  的 8 电平状态。对载频采用平衡调幅方式时，如果是  $X_2$ 、 $X_1$  原来的 4 电平，已调制载波可有  $\pm 1$ 、 $\pm 3$ 、 $\pm 5$ 、 $\pm 7$  共 8 种不同的振荡波（不同的幅度和相位）。所以，TCM 编码后只是使一定幅度的调制载波的幅度分级数目加倍，级差减半，并不影响已调波携载的信息速率和所需的信道带宽。虽然，级差缩小后已调波幅度易受杂波干扰而造成接收端解码误差的可能性加大，但是，在接收端的 TCM 解码中，依靠 TCM 编码特性又有加强的纠错能力，总效果是解码差错降低。

格栅编码交织器：格栅编码器对于脉冲干扰和突发误码其抗御性能并不好。为了改善这方面的性能，编码器中采用了 12 个同样的格栅编码器并行地工作。格栅编码交织器框图如图所示。

这里实施的是段内符号交织，每段由 828 符号组成，其中的（0, 12, 24, 36, .....）符号作为第一组，（1, 13, 25, 37, .....）符号作为第二组，（2, 14, 26, 38, .....）符号作为第三组，依次类推，共 12 组符号分别进行格栅编码。

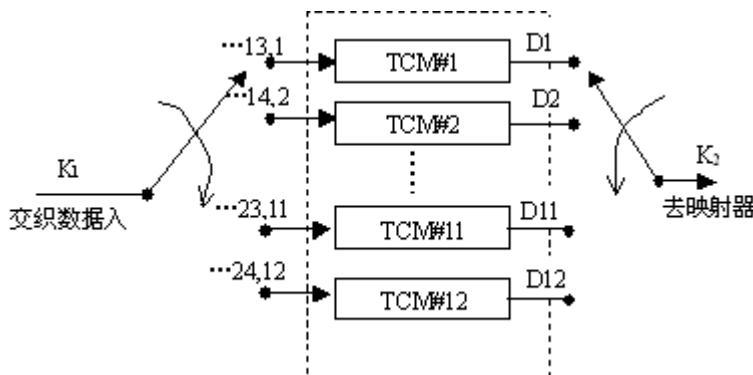


图 6-7 格栅编码交织器框图

### 6.2.3 ATSC 中的 VSB 调制系统

#### (1) VSB 调制

ATSC 中高频调制采用 8VSB 也即 8 电平残留边带调幅方式，它不同于 NTSC 中高频调制的 VSB 残留边带调幅方式，后者的 6MHz 载频已调波带宽内载波本身是不抑制的，载频位置距频道下端 1.25MHz，而 ATSC 的 8VSB 中载波本身是抑制的，载频位置距频道下端 0.31MHz，8VSB 已调波的频带如图所示。

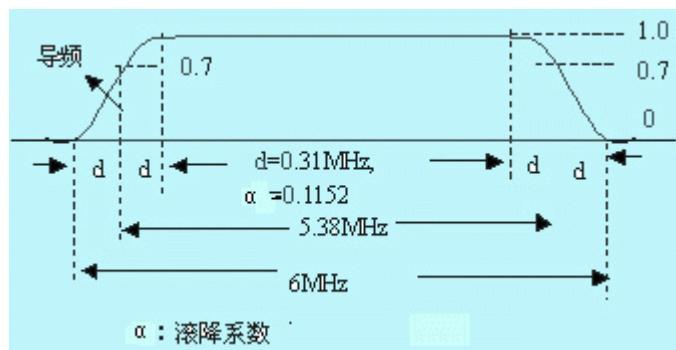


图 6-8 8VSB 已调波的频带图

由图可见，6MHz 频带的上、下端的下降边沿各占 0.31MHz，有效带宽仅 5.38MHz。接收端若收不到载波信息无法进行解调，发送端对此的做法是在多路复用器后的导频加入级内一个小幅度同相位（即正值）的导频信息，实际是在复用数据中加上 1.25 的小值直流电平。后面由数据对载波进行调制时，使得已调波内出现一个小值、高稳定和高精确的载波信号，称为导频信号。

VSB 发射机象通常那样采用两极调制方式，第一次将数据信号调制到一个固定中频上，第二次再上变频到所需的电视频道上。为避免 ATSC 与 NTSC 同频道干扰严重，又为了保证 ATSC 发射机具有与 NTSC 发射机同样的服务覆盖范围，ATSC 发射机的平均功率比同频道 NTSC 发射机的峰值功率一般低 12dB。2.6MHz 已调制载波带宽内可传送的 MPEG-2 的码率可以计算出，在 TCM 编码后的 8 电平残留边带载波调幅（8VSB）中，6MHz 已调制载波带

宽内可携载信息量的基本参数值。

表 6-2 两种 VSB 编码调制模式表

序号	参数	地面模式 8VSB	高数据率 16VSB
1	频道带宽	6MHz	6MHz
2	扩展带宽	11.5%	11.5%
3	符号率( 符号/秒 )	10.76MS/s	10.76MS/s
4	比特/每符号	3	4
5	格栅编码( FEC )	2/3	无
6	R-S 编码( FEC )	(207,187,t=10)	(207,187,t=10)
7	段长度( 符号 )	832 个符号	832 个符号
8	段同步( 符号/段 )	每段 4 个符号	每段 4 个符号
9	场同步	每 313 个段 1 个同步	每 313 个段 1 个同步
10	净荷数据率	19.28Mbps	38.57 Mbps
11	输入数据率	19.39Mbps	38.87 Mbps
12	NTSC 同频道抑制	预均衡，串扰抑制	无
13	导频功率	0.3dB	0.3dB
14	C/N 门限值	14.9dB	28.3dB

### 6.3 DVB 数字电视广播系统

欧洲的数字视频广播（Digital Video Broadcasting, DVB）计划开始于 1993 年，1994 年 12 月，ETSC（欧洲电信标准学会）通过了 DVB-S（DVB-卫星）标准，同年同月还通过了 DVB-C（DVB-有线电视）标准，1996 年 5 月又通过了 DVB-T（DVB-地面广播）标准，它们分别适用于在三种不同的传输媒体中实施数字视频广播。其中，DVB-S 首先得到普遍的应用，使卫星电视广播完全跨入全数字化时代。在有线电视广播中，实施数字化的公司则都遵循 DVB-C 标准。DVB 组织首先开发全数字化的标准清晰电视（SDTV），进一步发展就可实现数字高清晰度电视广播。因为在数字范畴内，标准清晰度电视与高清晰度电视的主要区别主要在于码率高低不同，在数据流的处理技术方面并无根本性差别。因此，从数字标准清晰度电视（STDV）过渡到数字高清晰度电视（HDTV）能够较为方便地随着需求与可能逐步推进。根据卫星、有线和地面三种不同的传输媒体特性制定了 DVB-S、DVB-C 和 DVB-T 三个

标准。

### 6.3.1 MEPG-2 系统标准在 DVB 中的实施

DVB 系统中的信源编码标准是 MEPG-2。DVB 推荐的图象格式如表所示。视频系统复用采用 MEPG-2 (ISO/IEC138-1) 标准，DVB 对于其传输的复用码流 TS 的编码和IRD中对TS流的解码规定了实施准则。DVB 系统中的音频采用 MEPG 的音频压缩编码标准。另外，DVB 在 TS 流中定义了许多辅助信息，称为业务信息 SI，使接收端可以从比特流中得到业务和事件的有关信息，IRD 能自动调谐到可供选择的业务上，SI 可给出一种很重要数据是电子节目指南 (EPG)，使用户能方便快捷地接收感兴趣的节目。

表 6-3 DVB 推荐的 SDTV 和 HDTV 图象格式

垂直有效行数	水平有效行数	宽高比	帧频	逐行隔行
1152	1440	16:9	25 25 23.976, 24, 29.97, 30 25 29.97, 30	0(隔行) 1(逐行) 1 0 0
1080	1920	16:9		
1035	1920	16:9	25 29.97, 30 25, 50 23.976, 24, 29.97, 30, 59.94, 60	0 0 1 1
720	1280	16:9	50	1
	720	4:3, 16:9	25 25	1 0
576	544	4:3, 16:9	25 25	1 0
	480	4:3, 16:9	25	1
	352	4:3, 16:9	25 25	1 0
	720	4:3, 16:9	59.94, 60 23.976, 24, 29.97, 30 29.97, 30	1 1 0
480	640	4:3	59.94, 60 23.976, 24, 29.97, 30 29.97, 30	1 1 0
	544	4:3, 16:9	23.976, 29.97 29.97	1 0
	480	4:3, 16:9	23.976, 29.97 29.97	1 0
	352	4:3, 16:9	23.976, 29.97 29.97	1 0
288	352	4:3, 16:9	25	1
240	352	4:3, 16:9	23.976, 29.97	1

### 6.3.2 DVB 中的信道编码

DVB-T、DVB-C、DVB-S 中的信道编码和调制传输系统框图如下图所示。输入端是视频、音频和数据等复用的 TS 流，每个 TS 包由 188 字节组成。在信道编码中，DVB-T、DVB-C、

DVB-S 有几种共同的处理方法如：数据加扰、外码编码（RS）、外交织（I=12）和内码编码（卷积收缩编码）。这有利于编解码器的制造和信号处理。

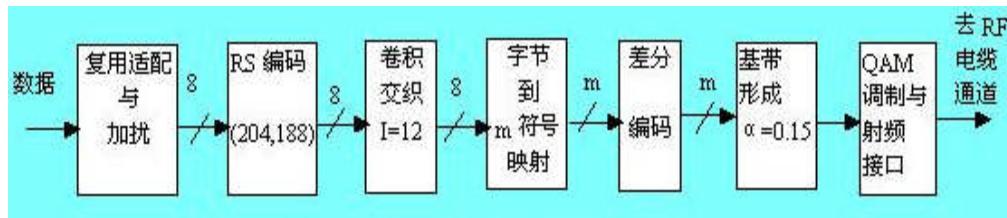


图 6-9 DVB-C 的信道编码和调制框图

### (1) 复用自适应与加扰

为了提高便于传输和接收端恢复数据，需要对输入码流进行随机化处理（或称加扰），以使能量扩散。输入 TS 流是 188 字节的 TS 包，每个 TS 包的第一个字节是同步字节（SYNC）为 47HEX（01000111）。

在 DVB-T 中，将每 8 个 TS 包形成一个 TS 大包后再对数据实施随机化，加扰器采用 15 个移位寄存器构成的发生器，大 TS 流包的处理及加扰器如图所示。

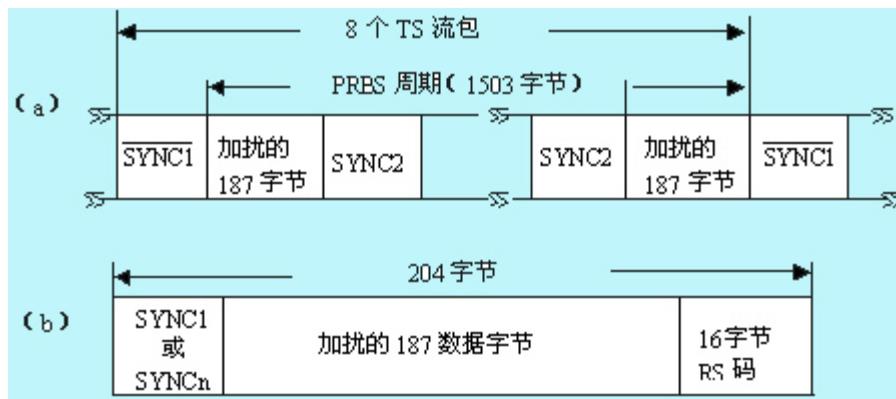


图 6-10 大 TS 流包的处理及加扰器

$$\text{PRBS 的生成多形式 } G(x) \text{ 为: } G(x) = 1 + x^{14} + x^{15},$$

每隔第一个 TS 大包初始化一次，为了区别初始化点，大包的同步内第一个 TS 包的同步字节被取反码即 B8HEX（10111000），随机序列发生器从取反码的同步字节后开始作用，经过  $8 \times 188 - 1 = 1503$  字节 = 12024 比特后，又重新初始化。其余 7 个 TS 包的同步字节 SYNC 期间，图中的使能信号切断与门，使这些同步字节不被加扰。

### (2) 外码编码

外码编码采用截短的 RS 编码（204, 188, t=8），是在每 188 字节后加入 16 字节的监督码。

监督码组的码生成多项式为:  $\prod_{i=0}^{15} (x + \alpha^i) = (x + \alpha^0)(x + \alpha^1)\dots(x + \alpha^{15})$

本原域生成多项式为:  $G(256) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$

实际中实施 (255, 239, t=8) 的 RS 编码, 即在 204 字节 (包括同步字节) 前添加 51 个全“0”字节, 产生 RS 码后丢弃前面 51 个空字节, 形成截短的 (204, 188) RS 码。

### (3) 外交织

在 RS 编码后采用字节为单元的交织, 称为外交织。外交织使数据流具有抗突发干扰的能力。交织器和去交织器如下图所示, 交织深度 I=12, 其中  $204 = 17 \times 12$  等于外编码后的包字节数, 同步字节处于包的第一个字节。输出相对于原始输入引入了一定的延时。

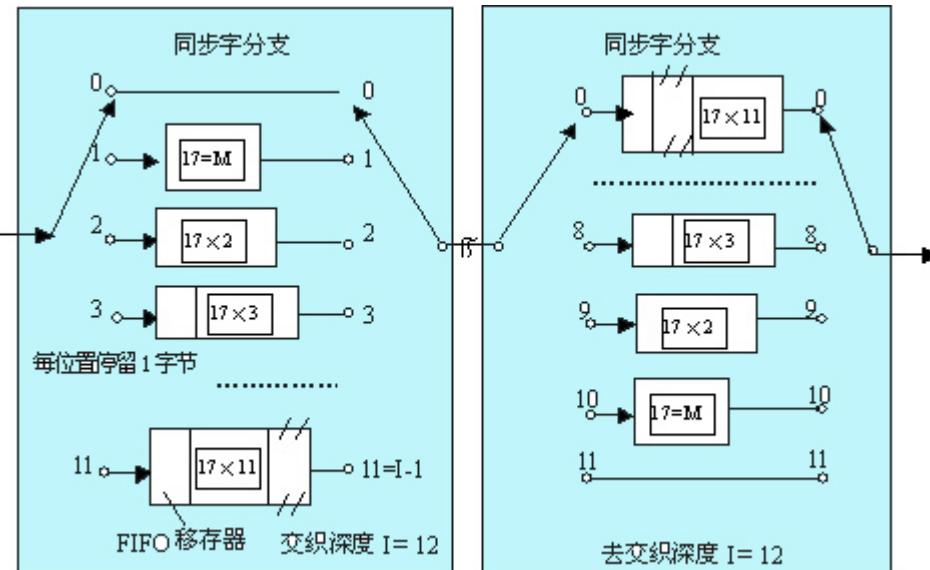


图 6-11 交织器和去交织器

### (4) 内码编码 (卷积收缩编码)

基本卷积码: 内码编码与外码编码相结合, 构成了 DVB-T 中的级联编码, 它增强了 FEC 能力, 有利于抗御地面开路信道不良的传输环境。内码编码采用了  $(n, k, N)$  为  $(2, 1, 7)$  形成的卷积码, 即 1 个信息比特生成 2 个编码比特, 约束长度  $N$  为 7 比特。

DVB-T 中采用的  $(2, 1, 7)$  基本卷积码电路构成如下图所示。图中的入数据流来自外交织器, 每输入一个比特生成 X、Y 两个比特。

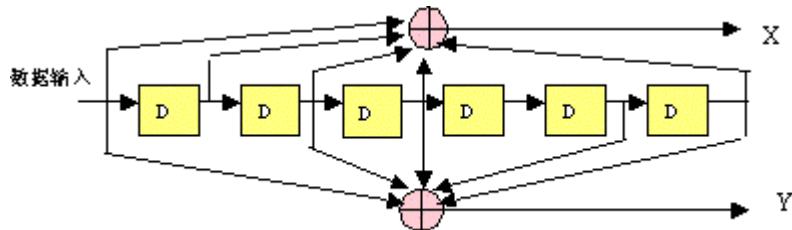


图 6-12 卷积码电路

基本卷积码编码效率为  $\eta=1/2$ ，编码效率较低，优点是纠错能力强。

收缩卷积码：如果传输信道质量较好，为提高编码效率，可以采样收缩截短卷积码。DVB 中给出了多种编码效率的收缩卷积码，收缩卷积码的几种类型和实现框图如图所示。

收缩卷积码的几种类型					
编码效率	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
收缩类型	X: 1 Y: 1	X: 10 Y: 11	X: 101 Y: 110	X: 10101 Y: 11010	X: 1000101 Y: 1111010
传输序列	$X_1 Y_1$	$X_1 Y_1 Y_2$	$X_1 Y_1 Y_2 X_3$	$X_1 Y_1 Y_2 X_3 Y_4 X_5$	$X_1 Y_1 Y_2 X_3 Y_4 X_5 Y_6 X_7$

注：1：传输比特 0：不传输比特

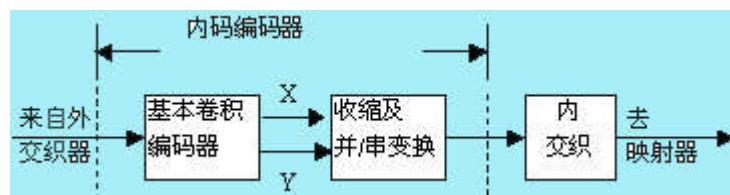


图 6-12 收缩卷积码的几种类型和实现框图

编码效率： $\eta=1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$

$\eta$  高一定带宽内可传输的有效比特率增大，但纠错能力越减弱。

编码效率为  $\eta=1/2$  的基本卷积编码器将每个输入的数据比特编码成 X、Y 两个并行比特，根据需要经过“收缩及并/串变换”框中输出相应的串行数据。由于卷积编码中 X、Y 与输入数据间存在约束长度 N=7 的约束关系，所以在收缩卷积码下接收端仍可对数据流进行解码。

以上四种处理（数据加扰、外码编码、外交织和内码编码）在 DVB-S、DVB-C 和 DVB-T 中是共同的，这有利于编解码器的制造和信号处理。

### 6.3.3 DVB-T 中的调制系统

与卫星传输信道和有线传输信道相比较，地面开路传输信道环境差，电磁波信号容易受到各种各样的外来杂散电磁波干扰，如果考虑到室外便携接收和移动接收，那么数字电视地面广播在抗御随机误码和突发误码之外，还应具有抗御多径传输干扰的能力。因此 DVB-T 中采用了内交织和 COFDM 调制方式。

#### (1) 内交织

DVB-T 在 8MHz 射频带宽内设置 1705 (2K 模式) 或 6817 (8k 模式) 个载波，将高码率的数据流相应的分解成 2K 或 8K 路低码率的数据流，分别对每个载波进行 QPSK、16QAM、64QAM 调制。为提高 COFDM 信号接收解调时维特比 (Viterbi) 解码器对突发误码的纠错能力，对卷积编码后数据流进一步进行内交织，包括比特交织和符号交织两个步骤，不同的调制方式 (QPSK、MQAM, M=16 或 64 等) 有不同的交织模式。输入比特—输出调制符号的映射如下图所示，图中示出 QPSK、16QAM 和 64QAM 三种调制模式下收缩卷积码经并/串变换后被处理成输出调制符号的映射

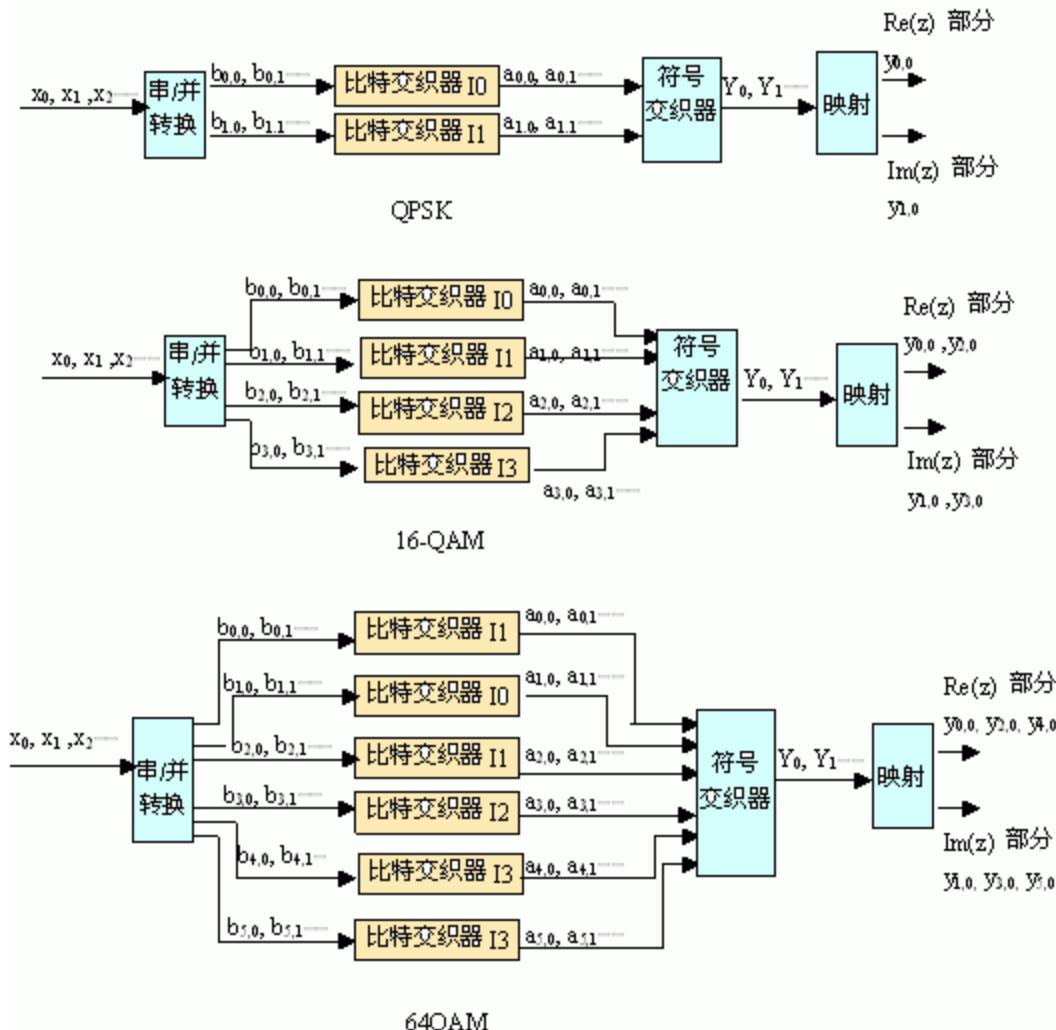


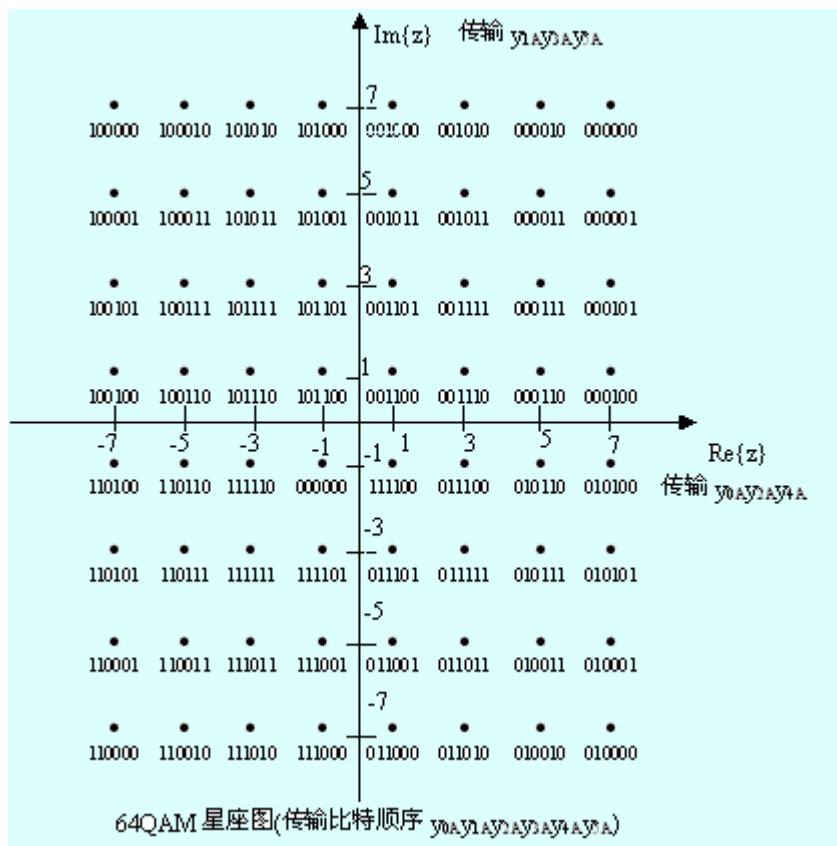
图 6-13 输入比特与输出调制符号的映射

以 16QAM 为例，输入的  $x_0, x_1, x_2, \dots$  分解成四路并行比特流，然后进入四个比特交织器。符号串在符号交织器框中进一步实现符号交织。根据 2K 模式（有效载波数  $1512 = 12 \times 126$ ）或 8K 模式（有效载波数  $6048 = 48 \times 126$  个）的 COFDM 调制，将每 12 个 126 符号组成一组进行交织。

内交织的作用相当于频率交织，而前面的外交织相当于时间交织。

## (2) 映射与星座图

在 DVB-T 的 COFDM 调制中由每个  $m$  比特的符号对每个载波进行相应的调制， $m=2$  时为 QPSK 调制， $m=4$  时为 16QAM 调制， $m=6$  时，为 64QAM 调制。为形成相应的调制信号，使  $m$  比特映射成相应的调制信号星座图，三种模式的映射和星座图如图所示。



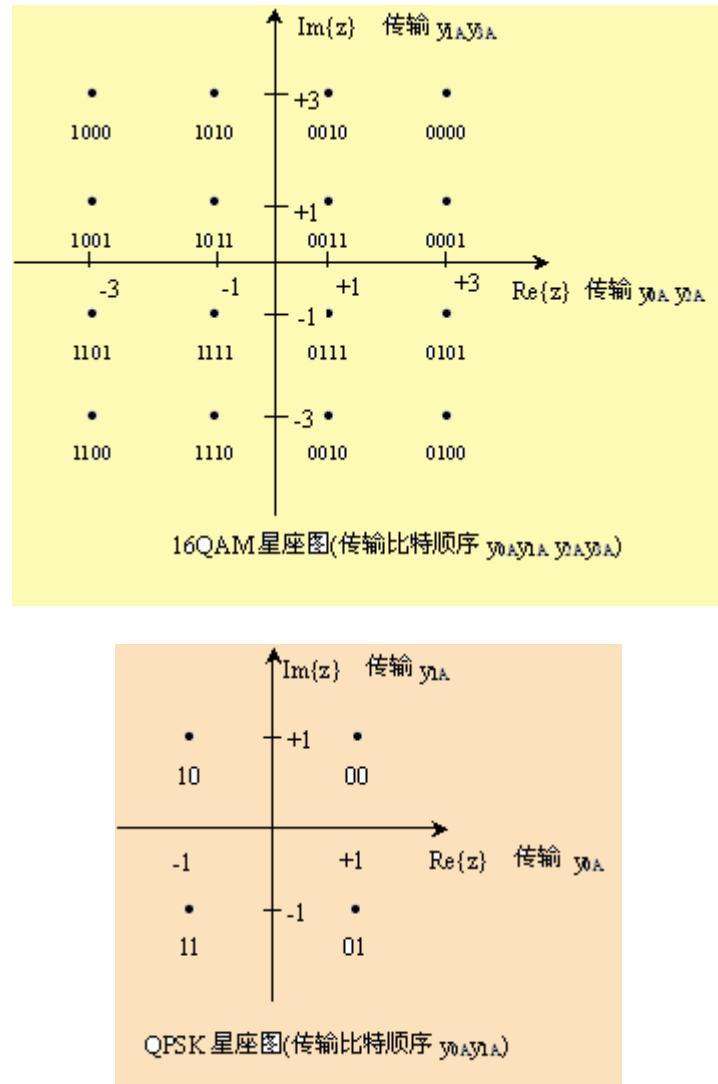


图 6-14 三种模式的映射和星座图

### (3) 导频信号

欧洲系统中放置了大量的导频信号，穿插于数据之中，并以高于数据 3dB 的功率发送。这些导频信号一举多得，完成系统同步、载波恢复、时钟调整和信道估计。由于导频信号数量多，且散布在数据中，能够较为及时地发现和估计信道特性的变化。

### (4) 保护间隔

为进一步降低多径造成的码间干扰，欧洲系统又使用了“保护间隔”的技术，DVB-T 中 8K 和 2K 载波模式下的保护间隔参数如表所示。

表 6-4 8K 和 2K 模式的参数

模式		8K 模式			2K 模式			
$T_g / T_s$	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
符号有效持续期 $T_s$		8192T( $T = 7/64 \mu s$ ) 896 $\mu s$			2048T( $T = 7/64 \mu s$ ) 224 $\mu s$			
保护间隔 $T_g$	2048T 224 $\mu s$	1024T 112 $\mu s$	512T 56 $\mu s$	256T 28 $\mu s$	512T 56 $\mu s$	256T 28 $\mu s$	128T 14 $\mu s$	64T 7 $\mu s$
符号总持续时间 $T_s + T_g = T_u$	10240T 112 $\mu s$	9216T 1008 $\mu s$	8704T 952 $\mu s$	8448T 924 $\mu s$	2560T 280 $\mu s$	2304T 252 $\mu s$	2176T 238 $\mu s$	2112T 231 $\mu s$

COFDM 中，调制每个载波的符号率下降很多，可明显减少已调波频带内的符号间干扰，但并不能完全消除符号间干扰。为避免可能的符号间干扰，采用了在符号持续期  $T_s$ （载波间隔的倒数）的起始部分加入一段保护间隔  $T_g$  的方法， $T_g$  的值可以是  $T_s$  的 1/4、1/8、1/16 或 1/32， $T_s + T_g = T_u$  是总的符号持续期。COFDM 的保护间隔示意图如图所示。

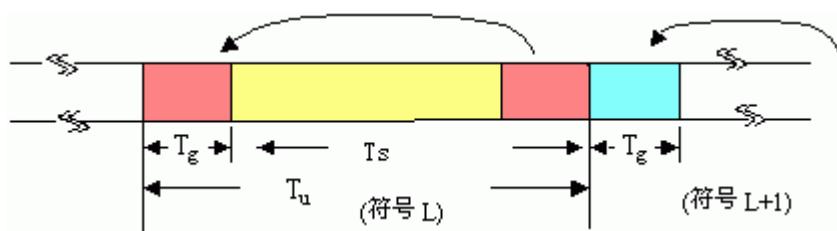


图 6-15 COFDM 的保护间隔示意图

图中表明，在保护间隔  $T_g$  时间内传输的是  $T_s$  中最后一部分的重复内容。加入保护间隔后，只要反射波与直达波之间的延时差不超过  $T_g$ ，就不会发生符号间干扰，而本符号的反射波将增强直达波的接收功率，带来增益。可见保护间隔减小了多径传输的影响，代价是降低了数据传输速度，带宽效率 (bps/Hz) 下降。

##### (5) DVB-T 不同参数的频谱效率

我们希望在一个地面电视频道带宽 8MHz 内，经信道编码和高频调制后既有优良的传输性能又有较高的传输码率，做到在 8MHz 高频带宽内能传输一路约码率为 20Mbps 高清晰电视或多路标准清晰度电视。DVB-T 在不同工作条件下的可传输码率如下表所示。由表可见，要在 8MHz 内传输一路 HDTV 信号，适合的参数是 64QAM 调制，内编码率 2/3 和保护间隔 1/8，这时的有效码率为 22.12Mb/s。

表 6-5 8MHz 带宽的有效码率

调制 方式	内编 码率	保护间隔			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4.98	5.35	5.85	6.03
	2/3	6.64	7.37	7.81	8.04
	3/4	7.46	8.29	8.78	9.05
	5/6	8.29	9.22	9.76	10.05
	7/8	8.71	9.68	10.25	10.56
16QAM	1/2	9.95	11.06	11.71	12.06
	2/3	13.29	14.75	15.61	16.09
	3/4	14.93	16.59	18.43	19.52
	5/6	16.59	18.43	19.52	20.11
	7/8	17.42	19.35	20.49	21.11
64QAM	1/2	14.93	16.59	17.56	18.10
	2/3	19.91	22.12	23.42	24.13
	3/4	22.39	24.88	26.35	27.14
	5/6	24.88	27.65	29.27	30.16
	7/8	26.13	29.03	30.74	31.67

## (6) 单频网

COFDM 适应于多径接收，因为每路载波的调制符号数据率大为降低后其符号周期显著增大，多径信号的延时时间（在几十微秒之内）相对于符号周期只占很小比例，接收端接收时反而可能是多经信号能量与主信号能量被相加起来应用，使有害的多经变为有利的所需信号。由于多经信号可辅助直达信号加以应用，因此，COFDM 适合于在地面上组成单频网（同频网）SFN，在第一发射机天线覆盖区域的邻近边缘地带，由第二、第三、...等发射机用同一载波进行接力广播以扩大覆盖区，如此推广开去，可做到用同一频率在很大区域甚至全国内广播同一数字电视节目。COFDM 组成单频网示意图如图所示。

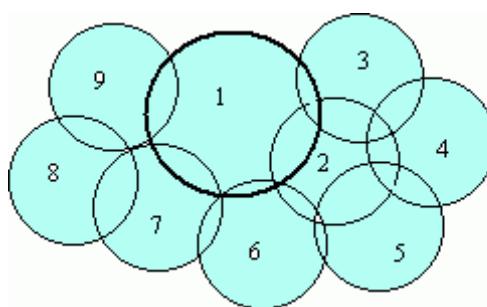


图 6-16 COFDM 组成单频网示意图

## 6.4 ISDB-T 数字电视广播系统

日本确定的数字地面广播制式为 ISDB-T（综合业务数字广播—地面传输）。该制式不限于传输数字电视，也包括了独立的声音和数据广播，这几者可以在 6MHz 带宽内单独存在或任意地组合。ISDB-T 的发送和接收系统框图如图所示。

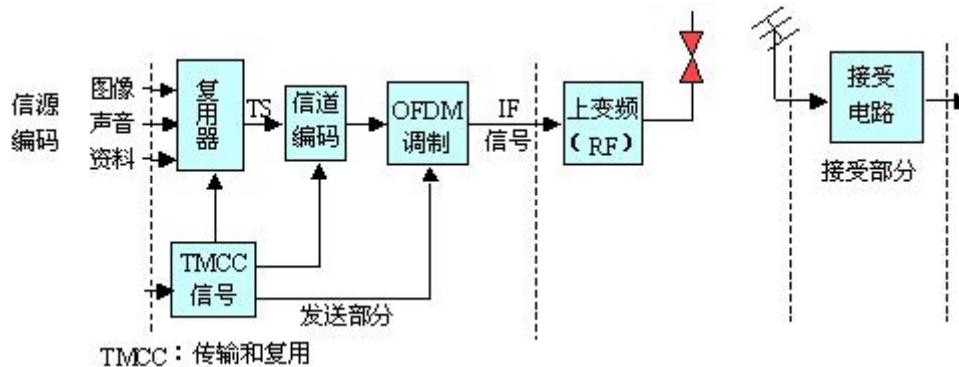


图 6-17 ISDB-T 的发送和接收框图

### 6.4.1 ISDB-T 的信源编码

图像信号按 MPEG-2 压缩标准。声音信号的信源编码既未采用 MPEG-2 的压缩标准，也未采用 ATSC 中的 DolbyAC-3 标准，而是采用基于 MPEG-4 的 AAC（高级 AC）压缩方式。

### 6.4.2 ISDB-T 中的信号传送形式及传送带宽

ISDB-T 中，根据 MPEG-2 系统标准实施传送信号的复用。每一个频道 6MHz 为一个基本 TS 流（传送流），实际的传送带宽为  $432\text{KHz} \times 13 + 4\text{KHz} = 5.62\text{MHz}$  或  $432\text{KHz} \times 13 + 1\text{KHz} = 5.617\text{MHz}$ 。这里是以每 432KHz 作为一段独立的 OFDM，频带 6MHz 内可包含 13 段 OFDM。而每个 OFDM 段由数据段和导频信号组成。每个数据段可以独立地指定其载波调制方式（16QAM、64QAM、QPSK 或 DQPSK）、内码编码率（ $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 $5/6$ 、或  $7/8$ ）、保护间隔比和时间交织深度等。

### 6.4.3 传送参数

ISDB-T 的每 432KHz 内载波间隔有 4KHz 与 1KHz 两种。为了接收端能抗多径干扰，在每个有效符号持续期  $T_u$  ( $=1/\text{载波间隔}$ ) 上增加一个保护间隔持续期  $\Delta$ ，按规定  $\Delta/T_u$  的取值有 4 种 ( $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/16$ 、或  $1/32$ )。因此，ISDB-T 一个 OFDM 段的传送参数如下表所示。一个物理通道 6MHz 带宽内的传输模式及有关参数如图所示。

表 6-6 ISDB-T 中一个物理通道传输参数

ISDB-T 模式	模式 1	模式 2	模式 3
BST 段数目	13		
传输带宽	5.575MHz	5.573 MHz	5.572 MHz
载波间隔	3.968 KHz	1.984 KHz	0.992 KHz
载波总数目	1405 个	2809 个	4992 个
调制方式	DQPSK,QPSK,16QAM,64QAM		
帧符号数目	204 个		
有用符号周期 $T_u$	252ms	504 ms	1008 ms
保护间隔比	$\Delta/T_u=1/4,1/8,1/16,1/32$		
内码编码率	卷积编码 ( 1/2,2/3,3/4,5/6,7/8 )		
外码 RS 编码	RS=( 204,188,t=8 )		
有效数据率	3.651Mbps~23.234Mbps		

表 6-7 一个 OFDM 段的传输参数值

模式		模式 1		模式 2	
带宽		432 kHz			432 kHz
载波间隔		4 kHz			1 kHz
载 波 数 目	总数	108	108	432	432
	数据数	96	96	384	384
	SP	9	0	36	0
	CP	2	7	8	28
	TMCC	1	5	4	20
	载波调制方式	16QAM 64QAM QPSK	DQPSK	16QAM 64QAM QPSK	DQPSK
符号数/帧		204			
有效符号持续期 $T_u$		250μs		1ms	
保护间隔持续期 $\Delta$		62.5μs(1/4), 15.625μs(1/16)	31.25 μs(1/8), 7.8125μs(1/32)	250 μs(1/4), 62.5μs(1/16)	125 μs(1/8), 31.25μs(1/32)
帧持续期 $T_f$		63.75ms(1/4), 54.1875ms(1/16),	57.375ms(1/8), 52.59375ms(1/32)	255 ms(1/4), 216.75ms(1/16)	229.5ms(1/8), 210.375ms(1/32)
内编码(卷积编码)		编码效率(1/2、2/3、3/4、5/6、或7/8)			
外编码( RS 编码)		RS(204, 188, t=8)			
码率		28.1kbps~1801.5kbps			
注:(1) SP(散布导频)和 CP(连续导频)为供接收机同步、解调和信道均衡等用而加入的导频信号; (2) TMCC(传输和复用配置控制)为传输控制信息而加入的导频信号; (3) 码率随载波调制方式、内码编码率和保护间隔比而不同。					

#### (4) 信道编码与调制方式

ISDB-T 信道编码部分方框图如下图所示。由卷积编码缩短码形成的 X、Y 并行输出经并/串变换后成为传送信号串行序列，对高频载波实施 OFDM 调制。调制部分方框图如下图所示。

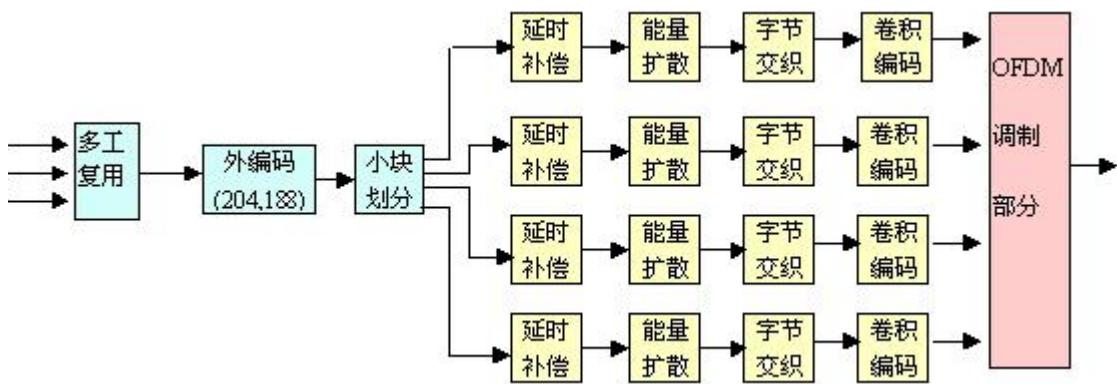


图 6-18 ISDB-T 信道编码部分框图

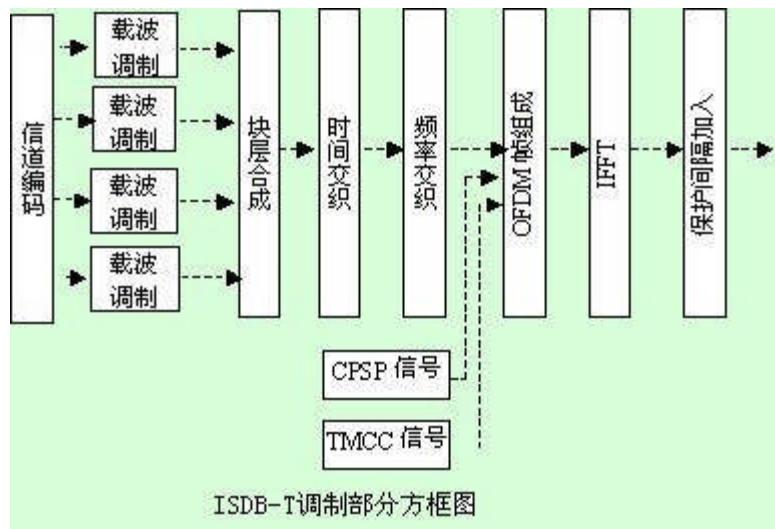


图 6-19 ISDB-T 调制部分框图

ISDB-T 在信号处理方面与 DVB-T 基本上相同，但是更灵活，可按电视、声音、数据的不同需求优化地选用。

## 6.5 三种地面传输系统的比较

三种国外数字电视地面传输系统的比较如下：

表 6-7 三种国外数字电视地面传输系统的比较

	美国的 ATSC 标准	欧洲的 DVB-T 标准	日本的 ISDB-T 标准
频道宽度	6MHz	6MHz、7MHz、8MHz	6MHz、7MHz、8MHz
视频压缩	MPEG-2 视频编码	MPEG-2 视频编码	MPEG-2 视频编码
图像格式	HDTV1920×1080 16：9 SDTV704×480 4：3	HDTV1920×1080 16：9 SDTV704×576 4：3	HDTV1920×1080 16：9 SDTV720×576 4：3
音频压缩	Dolby AC-3 音频编码	MPEG-2 层 II , MUSICAM 音频编码	MPEG-2 层III, AAC 音频 编码
复用方式	MPEG-2 系统 TS 码流	MPEG-2 系统 TS 码流	MPEG-2 系统 TS 码流
数据扰码	16 位 PRBS	15 位 PRBS	15 位 PRBS
信道外码	RS 码 (207, 187, T = 10)	RS 码 (204, 188, T=8)	RS 码 (204, 188, T=8)
外码交织	52 RS 块交织	12 RS 块交织	12 RS 块交织
信道内码	网格编码 (TCM)	卷积编码	卷积编码
调制技术	8-VSB 调制	16QAM/32QAM/64QAM	OFDM 调制
总码率	19~28Mb/s (6MHz)	4.98 ~ 31.67Mb/s (8MHz)	3.68 ~ 23.42Mb/s (5.6MHz)
载波数	单载波	2K、8K	2K、4K、8K
接收门限	15dB	19dB	19dB
传输方案	8VSB 传输方案	OFDM 传输方案	分频段 OFDM 传输方案
特征	抵御电气干扰能力 强、有效的覆盖区域、 不考虑移动接收	克服多径干扰能力强、 可做单频网、可用于移 动接收	克服多径干扰能力强、可 做单频网、可用于移动接 收

欧洲“DVB 标准”和美国“ATSC 数字电视标准”的主要区别如下：

(1) 方形像素：在 ATSC 标准中采纳了“方形像素”(Square Picture Elements), 因为它们更加适合于计算机；而 DVB 标准最初没有采纳，最近也采纳了。此外，范围广泛的视频

图像格式也被 DVB 采纳，而 ATSC 对此则不作强制性规定。

(2) 系统层和视频编码：DVB 和 ATSC 标准都采纳 MPEG-2 标准的系统层和视频编码，但是，由于 MPEG-2 标准并未对视频算法作详细规定，因而实施方案可以不同，与两个标准都无关。

(3) 音频编码：DVB 标准采纳了 MPEG-2 的音频压缩算法；而 ATSC 标准则采纳了 AC-3 的音频压缩算法。

(4) 信道编码：两者的扰码器（Radomizers）采用不同的多项式；两者的里德—所罗门前向纠错（FEC）编码采用不同的冗余度，DVB 标准用 16B，而 ATSC 标准用功 20B；两者的交织过程（Interleaving）不同；在 DVB 标准中网格编码（Trellix coding）有可选的不同速率，而在 ATSC 标准中地面广播采用固定的  $2/3$  速率的网格编码，有线电视则不需采用网格编码。

(5) 调制技术：卫星广播系统中 DVB 标准采用 QPSK，而 ATSC 标准不涉及卫星广播。有线电视系统中 DVB 标准采用任选的 16/32/64QAM，而 ATSC 标准采用 16VSB，两者完全不同。地面广播系统中 DVB 标准采用具有 QPSK、16QAM 或 64QAM 的 COFDM（2K 个或 8K 个载波）；而 ATSC 标准采用 8VSB。

## 6.6 我国数字电视标准及发展现状

### 6.6.1 数字电视标准发展背景

传输方案将构成一个国家的数字电视地面广播传输标准的基本技术内容。作为一个电视生产和消费大国，作为一个正在融入全球经济一体化并面临全球性技术竞争的发展中国家，我国已认识到掌握和拥有关键技术、自主研制重要的数字电视系统标准能够为我国经济所带来的巨大发展空间和机遇。世界先进工业国家本着扩大世界市场和获取高额技术利润的目的，依仗他们的技术领先优势及产业基础，近几年来不遗余力地向我国推荐采用他们的标准。特别是以数字电视地面广播传输标准为推荐重点，意欲借此系统标准来推动全面采用其整个标准系列。对此，我们应对自主研究制定传输方案的必要性和可行性有充分和客观的认识。

从 90 年代初，国家广电总局在国家质量技术监督局的支持下，开始着手进行数字广播电视标准的研究、制定工作。完成了《数字（高清晰度）电视标准体系（概况）》、《GB/T 14857 演播室数字电视编码参数技术规范》、《GY/T 157 演播室高清晰度电视数字视频信号接口》、《由 4:2:2 标准定义的数字电视信号馈送和一次分配网络传输技术要求》、《GB/T 17975.2 信息技术—运动图像及其伴音信号的通用编码》、《数字电视图像质量主观评价方法》、《GB/T 17700-1999 卫星数字电视广播信道编码和调制标准》、《GY/T170-2001 有线数字电视广播系统信道编码及调制规范》、《GY/T148 卫星数字电视接收机技术要求》、《GY/T198—2003 有线数字电视广播 QAM 调制器技术要求和测量方法》等二十多项与数字电视相关的标准的研究、制定工作，初步建立了数字广播电视标准体系，基本满足了我国广播电视数字化进程的需要。

我国从 1996 年就开始通过卫星传输数字电视信号，目前我国上卫星的电视节目已经实现了数字化传送，包括数字上行、数字差转和数字下行，已经完成卫星传输由模拟向数字的平

稳过渡。我国有线数字电视广播也已经成熟，正在某些城市试播。我国的卫星数字电视广播和有线数字电视广播系统标准已经颁布实施，基本上参照了欧洲的 DVB-S 和 DVB-C 制式。2001 年国家广电总局已颁布行业标准：《GY/T170-2001 有线数字电视广播信道编码和调制规范》，该标准等同于 DVB-C 标准。行标的制订有利于我国有线数字电视的推进。地面数字电视广播标准正在制定之中。

地面开路广播通道的传输媒体其传输特性与卫星和有线相比较有较大的不同，因此，在传输状况、应用需求等方面，地面传输方式更加复杂，全球各地在地面数字电视传输系统方案的选择上争议也最大。目前地面数字电视广播标准国际上尚没有统一，目前主要有欧、美、日三种制式。地面系统由一个一个电视发射台和电视台组成，单台覆盖面积小，要一个一个更新。而且我国相应的标准尚在研究之中，尚需一定时间才能确定。

我国地面传输已不象黑白、彩色电视刚发展时那样是唯一的途径。目前卫星和有线的传输方式已经非常成熟，城市主要以有线电视传输为主，边远地区和农村地区主要以卫星为主。大多数城市居民已不再使用室外天线接收电视节目，而是通过有线电视。用室内天线对高楼住户有一定困难，许多楼房或是屏蔽或是朝向不对。

我国拥有巨大的数字电视潜在市场，不同于那些本国市场狭小的出口型国家，中国的市场规模足以支撑形成一个新的数字电视标准。若简单选用国外某一标准，不仅会扼杀代表未来高技术竞争力的相关关键技术研究的源动力，而且会迫使我国过早启动市场，帮助西方国家的市场培育，使得企业的主要利润都用于支付国外的专利费和授权费。当然，自主制订标准不等于从头全面制订，制订标准不等于保护落后，不等于不选用先进技术。制订标准的根本目的恰恰在于认真比较分析各项先进技术能否为我所用，能否得到进一步改进。由于数字技术具备加密、隐密等特点，直接选用标准所可能造成的盲目引进甚至会危及国家信息安全。

## 6.6.2 我国数字电视地面传输标准的制定问题

我国先后研制成功两代数字高清晰度电视地面广播样机系统，并进行过实况信号转播实验。经过科研、广播和产业各界技术人员的共同努力，特别在数字电视地面传输技术方面逐步形成了具备自主专利技术的多种实现方案。国家同时也在安排计划，拟对现有国内外的传输方案进行性能测试与比较。依据现有研究基础和推进速度，我国完全有可能经过测试、分析和改进，集众家所长，制订出具有自己特色和自主知识产权的中国数字电视地面广播传输标准。广电总局于 2000 年以全国标准化技术委员会的名义召开新闻发布会，向全社会广泛征集具有我国自主知识产权的地面数字电视标准方案，到 2001 年 4 月 30 日截止日期，共有成都电子科技大学、广电总局广播科学研究院、清华大学、HDTV 功能样机系统研究开发项目总体组 4 家单位提交了实现方式各不相同的五套地面数字电视传输系统技术方案。这五套数字电视地面广播标准是：

- HDTV 功能样机系统研究开发项目总体组一号提案：高级数字电视广播系统（ADTB-T）。
- HDTV 功能样机系统研究开发项目总体组二号提案：数字电视地面广播系统（BDB-T/OFDM）。
- 广电总局广播科学研究院的射频子带分割双载波混合调变系统（CDTB-T）。
- 清华大学的地面数字多媒体电视广播传输协议（TDS-OFDM based DMB-T）。

- 成都电子科技大学的同步多载波扩频地面数字电视传输系统 (SMCC/COFDM)。

以上五套标准采用了不同的调制、解调制以及编译码方式，因此，在讯号接收的各种特性上的表现亦各有擅长。经过测试结果后发现，就整体系统的表现上，以北京清华大学微波与数字通信国家重点实验室所提出的 DMB-T 系统，以及由上海交通大学所进行开发的国家 HDTV 功能样机系统研究开发项目总体组一号提案 ADTB-T，性能最优。

DMB-T 系统的发射端结构如图所示

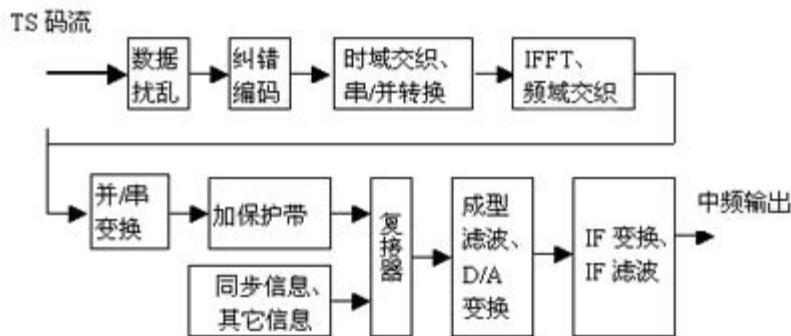


图 6-20 DMB-T 系统的发射端结构图

下面是清华大学的 DMB-T 采用的技术：时域同步的正交多载波技术 (TDS-OFDM)，采用了最先进的 Turbo 卷积码和 Turbo 网格码等误码纠错技术。其帧结构是分级的，分为信号帧、帧群、超帧和超帧群。超帧群携带发送的日历日期，超帧群以一个自然日为周期进行周期性重复。在某个选定的参考时间，物理信道帧结构被复位并开始一个新的超帧群。一个信号帧由两部分组成：帧同步和帧体。帧同步信号采用沃尔什编码的随机序列，以实现多基站识别。帧同步包含前同步、PN 序列和后同步。对于一个信号帧群中的不同信号帧，有不同的帧同步信号。所以，帧同步能作一个特殊信号帧的帧同步特征而用于识别。组合各种子载波调制方式如 QPSK、16QAM、64QAM。快速信道估计技术，提高了系统移动接收性能。抗多径和多普勒效应，通过时域和频域混合处理，解决地面宽带无线传输多径引起的频率选择性衰落。支持单频网前向纠错编码与相位映射相结合的纠错技术，使采用多载波技术的系统信噪比门限比 COFDM 技术有所提高。在 OFDM 的保护间隔 (Guard Interval) 中，去掉了导频部分，复用同步头，保护间隔中插入 PN 序列作为帧头。解决了在多径时延扩散信道中的码间串扰。DMB-T 传输协议在 8MHz 电视频道中，最大净荷码率高达 33Mb/s，能够满足 HDTV 广播要求。DMB-T 传输协议设计了与绝对时间同步的复帧结构，方便自动唤醒功能设置，达到省电目的，支持便携接收。DMB-T 系统的同步时间约为 5ms。与欧洲方式相比，灵敏度提高了 10% 左右，信噪比的要求也可以降低到 -20dB。同时信号的传输效率也提高了 10%。清华 DMB-T 系统参数如下：

表 6-8 清华 DMB-T 系统参数

帧结构	1440 个超帧/日帧，480 个帧群/超帧群，225 或 200 个信号帧/帧群，信号帧=帧头（保护间隔）+OFDM 符号，每个帧群传整数个 MPEG 传输包
调制	TDS-OFDM
载波数/有效间隔	3780/3744/2KHz
导频和 TPS	无导频，TPS 载波数 36 个
保护间隔	1/9 (55.56μS)、1/4 (125μS)
子载波调制	QPSK、16QAM、64QAM
前向纠错编码	级联纠错码
外码	RS (208, 188)
外交织	支路数 B=52, M=24
内码	R=2/3 系统卷积码 (64QAM), R=4/9 串行级联系统卷积码 (QPSK)
内交织	时域卷积交织: (0, 0)、(52, 48) (52, 120)、(52, 240)、频域交织: OFDM 符号内交织
带宽/有效带宽/滚降	8MHz/7.56MHz/0.05
同步	在 OFDM 保护间隔内。时域 PN 序列 BPSK 调制

上海交大的 ADTB-T 采用的技术：ADTB-T 是一种“单载波”方案，采用 4、16、或 64QAM 调制技术，使用 8MHz 带宽，拥有低码率 5.5Mbit/s、中码率 11Mbit/s、高码率 23Mbit/s、高码率 29Mbit/s 几种传输模式。双导频辅助同步技术，级联的交织内外码 FEC，强大的对抗信道衰落的均衡技术，移动条件下最高速率可达 12Mbps。先进的 TPC 信道编码技术，编码效率高，纠错能力强。在同一 8MHz 带宽内可以以时分的方式混合传输用于不同应用的各种调制模式，有利于开展多种新型数字广播业务。ADTB-T 具有高的频谱利用率及传输效率。ADTB-T 具有最低的峰均比，信号失真小，发射功率可调范围大，对发射机线性度要求低，可以直接使用现有模拟上变频器和现有模拟放大器，有利于频谱规划、增加覆盖范围、减小发射功率、降低电磁污染、降低发射机成本。

在两大规格技术层次的发展进度上，北京清华大学所提出的 DMB-T 方案已向中国专利局申请多项发明专利，并撰写为《中国的地面数字多媒体电视广播的发展》专文送交 ITU，已获得 ITU 联盟广大回响，积极展现其成为国际级标准的决心；另一方面，上海交通大学所提出的 ADTB-T 方案，则是突破以往单载波调变技术无法在移动接收上的限制，并且在移动设备接收稳定度、传输内容及接收灵敏度等指针上表现优异。

而在两套方案除了在技术层次上的竞争之外，也各自获得了企业界的 support。其中，除了清华大学及清华同方投入 DMB-T 系统的研发之外，国内各大电视机厂商也组成“数模彩电项目清华-企业研发联合体”，支持 DMB-T 标准的发展。

另一方面，ADTB-T 系统的研发工作，主要是由上海交通大学、奇普科技以及从事数字

电视相关产品开发的 LINX Electronics Inc. 进行合作。而包括上广电、上海有线网络、上海高清数字视频系统等七家上海企业也共同组成上海联合体，支持 ADTB-T 标准的发展。上海联合体的成员则是涵盖数字电视产业链的上游节目制作、广播系统及接收设备业者，藉由产业链各环节的结合，共同制定出产业认定的共同标准，并且已经获得上海信息家电协会认可成为《上海数字电视终端接收设备通用技术标准》。

目前我国标准化工作还存在一些问题，就标准工作本身来说，标准制订周期长，跟不上市场变化和企业需要；标准水平偏低，修订不及时，标龄太长，满足不了产品更新和产品升级的需要；标准的研究工作薄弱，高新技术标准严重缺乏。就外部环境而言，标准化工作经费投入不足，标准化工作队伍不够健全；标准实施的监督、检查力度不够等。因此应该加快我国标准化改革步伐，等同等地采用适合我国国情的国际标准，以提高我国产品和产业的国际竞争能力。

## 本章总结

学习完本章，学生应该掌握：

- ◆ 掌握数字电视三大制式
- ◆ 掌握三种制式的优缺点
- ◆ 掌握我国数字电视标准的发展现状

# 第7章 数字信号的载波调制技术

## 本章目标

本章结束时，学生能够：

- ◆ 掌握电视信号载波调制的目的
- ◆ 掌握数字电视调制技术的方法和分类
- ◆ 掌握数字电视常用的几种载波调制原理

### 7.1 数字信号载波调制的目的

一般传输通道的频率特性总是有限的，即有上、下限频率，超过此界限就不能进行有效的传输。如果数字信号流的频率特性与传输通道的频率特性很不相同，那么信号中的很多能量就会失去，信噪比就会降低，使误码增加，而且还会给邻近信道带来很强的干扰。因此，在传输前要对数字信号进行某种处理，减少数字信号中的低频分量和高频分量，使能量向中频集中，或者通过某种调制过程进行频谱的搬移。这两种处理都可以被看作是使信号的频谱特性与信道的频谱特性相匹配。

数字信号共有两种传输方式：

(1) 基带传输：所谓基带传输就是把信源生成的数字信号直接送入线路进行传输，如计算机间的数据传输等。

(2) 频带传输：用数字基带信号调制载波后的传送方式。

数字载波传输系统定义：用数字基带信号调制载波的一种传输系统，这个系统也称为数字频带传输系统。载波传输是用原信号去改变载波的某一参数实现频谱的搬移，如果载波是正弦波，则称为正弦波或连续波调制。把二进制信号调制在正弦波上进行传输，其目的除了进行频率匹配外，也可以通过频分、时分、波分复用的方法使信源和信道的容量进行匹配。

通信的最终目的是远距离传递信息。数字基带传输系统，是将信源发出的信息码经码型变换及波形形成后直接传送至接收端。虽然码型变换及波形形成可使其频谱结构发生某些变化，但分布的范围仍然在基带范围内。由于传输失真、传输损耗以及保证带内特性的原因，数字基带信号不可能在诸如无线信道、光纤信道等传输媒质中直接进行长距离传输的。与模拟信号一样，必须经调制后才能在无线信道、光纤信道等媒质中传输。为了进行长途传输，必须对数字信号进行载波调制，将信号频谱搬到高频处才能在信道中传输。所以调制就是将基带信号搬到信道损耗较小的指定的高频处进行传输(即载波传输)，调制后的基带信号称为通带信号，其频率比较高。数字信号的载波传输与基带传输的主要区别就是增加了调制

与解调的环节。

有线电视宽带综合网是基于模拟环境下的数字信号的传输，图象数字信号不是基带传输方式而是在射频通带中传输。

在数字通信系统中，定性而论，传输效率越高，传输可靠性越差；效率越低，可靠性越高，即提高有效性与提高可靠性是一对矛盾，实际通信系统设计的任务就是在这两者之间作综合考虑。例如在卫星通信中，由于信号衰减很严重，传输信号常淹没在噪声中，可靠性问题变得十分尖锐，因此采用了 QPSK 调制技术。QPSK 具有很强的抵抗幅度干扰的能力，但传输效率比较低，仅为  $2\text{bit/s/Hz}$ 。而在数字微波通信中，由于干扰较小，信道环境较好，因此采用了 256QAM 这种高效调制技术，传输效率高达  $8\text{bit/s/Hz}$ ，但 256QAM 抗干扰的能力较差。总之，我们所采用的调制技术的最终目的就是使得调制以后的信号对干扰有较强的抵抗作用，同时对相邻的信道信号干扰较小，解调方便且易于集成。

## 7.2 数字调制技术方法和分类

其实数字信号的载波调制是信道编码的一部分，我们之所以在信源编码和传输通道之间插入信道编码是因为通道及相应的设备对所要传输的数字信号有一定的限制，未经处理的数字信号源不能适应这些限制。由于传输信道的频带资源总是有限的，因此提高传输效率是通信系统所追求的最重要的指标之一。模拟通信很难控制传输效率，我们最常见到的单边带调幅（SSB）或残留边带调幅（VSB）可以节省近一半的传输频带。

### 7.2.1 单载波调制和多载波调制

按照调制每个通道需要的载波数量，调制分为单载波调制和多载波调制。

单载波（SFN）调制是指用一个信号去调制一个载波，并且在一个信道中只有一个载波信号，即一个已调信号占据了信道的所有带宽。在单载波调制技术中，调制信号改变载波的三个特征：振幅、频率和相位。相应地表现为振幅键控（ASK）、频移键控（FSK）、移相键控（PSK）三种基本调制形式。数字调制的三种键控方式示例如下图所示：

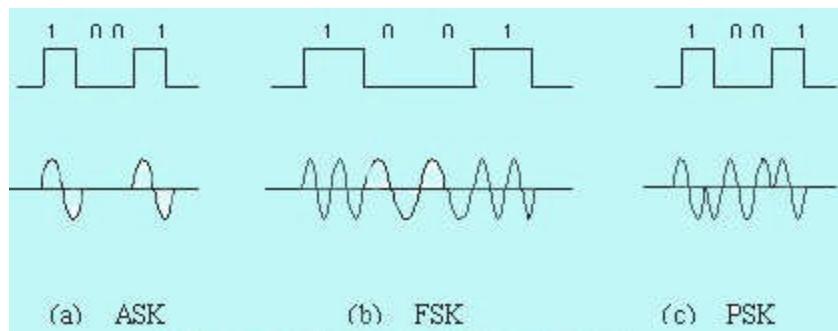


图 7-1 数字调制的三种键控方式示例

多载波调制（Multi-Carrier Modulation, MCM）就是将要传输的高速数据流分解成若干个低速比特流，并且用这些比特流去并行调制若干个子载波，即在频域将给定的一个信道分成许多子信道，在每个子信道上使用一个子载波进行调制。MCM 本质上可以看作是一种频分复用（FDM）调制。

## 7.2.2 数字载波调制的方法

为了使数字信号在带通信道中传输，必须用数字信号对载波进行调制。调制的方法主要是通过改变载波的幅度、相位和频率来传送信息。其基本原理是把数据信号寄生在载波的某个参数上：幅度、频率和相位，即用数据信号来进行幅度调制、频率调制和相位调制，它们分别对应于用载波的幅度、频率和相位来传递数字基带信号。载波的波形是任意的，但大多数的数字调制系统都选择单频信号（正弦波或余弦波）作为载波，因为便于产生与接收。

数字信号只有几个离散值，这就象用数字信号去控制开关选择具有不同参量的振荡一样，为此把数字信号的调制方式称为键控。最简单的方法是开关键控，“1”出现时接通振幅为 A 的载波，“0”出现时关断载波，这相当于将原基带信号（脉冲列）频谱搬到了载波的两侧。如果用改变载波频率的方法来传送二进制符号，就是频移键控（FSK）的方法，当“1”出现时是低频，“0”出现时是高频。这时其频谱可以看成码列对低频载波的开关键控加上码列的反码对高频载波的开关键控。如果“0”和“1”来改变载波的相位，则称为相移键控（PSK），这时在比特周期的边缘出现相位的跳变。但在间隔中部保留了相位信息。收端解调通常在其中心点附近进行。一般来说，PSK 系统的性能要比开关键控、FSK 系统好，但必须使用同步检波。

在对传输信道的各个元素进行最充分的利用时可以组合成各种不同的调制方式，并且可以清晰的描述与表达其数学模型。除上面所述的二相位、二频率、二幅度系统外，还可以采用各种多相位、多振幅和多频率的方案。

常用的数字调制技术有 2ASK、4ASK、8ASK、BPSK、QPSK、8PSK、2FSK、4FSK 等，频带利用率从  $1\text{bit/s/Hz} \sim 3\text{bit/s/Hz}$ 。更有将幅度与相位联合调制的 QAM 技术，目前数字微波中广泛使用的 256QAM 的频带利用率可达  $8\text{bit/s/Hz}$ ，八倍于 2ASK 或 BPSK。此外，还有可减小相位跳变的 MSK 等特殊的调制技术，为某些专门应用环境提供了强大的工具。近年来，四维调制等高维调制技术的研究也得到了迅速发展，并已应用于高速 MODEM 中，为进一步提高传输效率奠定了基础。总之，数字通信所能够达到的传输效率远远高于模拟通信，调制技术的种类也远远多于模拟通信，大大提高了用户根据实际应用需要选择系统配置的灵活性。

信息与表示和承载它的信号之间存在着对应关系，这种关系称为“映射”，接收端正是根据事先约定的映射关系从接收信号中提取发射端发送的信息的。信息与信号间的映射方式可以有很多种，不同的通信技术就在于它们所采用的映射方式不同。不同的数字调制技术正是由其映射方式区分的，其性能也是由映射方式决定的。

一个数字调制过程实际上是由两个独立的步骤实现的：映射和调制，这一点与模拟调制不同。数字调制中，调制信号是二进制的数字值。在二进制的系统中，最高的信道频带利用率为  $2\text{bps/Hz}$ 。为了提高频带利用率，常采用多进制信号进行载波调制。映射将多个二元比特转换为一个多元符号，这种多元符号可以是实数信号（在 ASK 调制中），也可以是二维的复信号（在 PSK 和 QAM 调制中）。所谓频带利用率（在此又称为调制效率）是指每  $\text{Hz}$  已调波带宽内可传输的信息速率，通常用  $\text{bps/Hz}$  表示。

在多进制调制中，每  $k$  个比特构成一个符号，因而得到一个个  $2^k=M$  进制的符号，而后逐个符号地对高频载波作多进制的 ASK、FSK 或 PSK 调制。可以证明多电平调制的信号带宽与二电平调制的信号带宽相同，因此在单位频带内，多进制调制系统可以传输更高的信息速率。即在这种多到一的转换过程中，实现了频带压缩。

例如，MPSK 表示多进制数字相位调制，有  $M=2^k$  种相位。 $K=2$  时为 4PSK（又称为 QPSK），每两个比特被转换为一个四进制的符号，对应着调制信号的四种载波。多元符号的元数就等于调制星座的容量。应该注意的是，经过映射后生成的多元符号仍是基带数字信号。经过基带成形滤波后生成的是模拟基带信号，但已经是最终所需的调制信号的等效基带形式，直接将其乘以中频载波即可生成中频调制信号。

## 7.3 M-PSK 相移键控

数字调相：如果两个频率、振幅相同的载波同时开始振荡，这两个频率同时达到正最大值，同时达到零值，同时达到负最大值，它们应处于“同相”状态；如果其中一个开始得迟了一点，就可能不相同了。如果一个达到正最大值时，另一个达到负最大值，则称为“反相”。一般把信号振荡一次（一周）作为 360 度。如果一个波比另一个波相差半个周期，我们说两个波的相位差 180 度，也就是反相。当传输数字信号时，“1”码控制发 0 度相位，“0”码控制发 180 度相位。载波的初始相位就有了移动，也就带上了信息。

### 7.3.1 MPSK

相移就是把振幅、频率作为常量，而把相位作为变量。MPSK 信号可以用这样的一组信号来代表：

$$Un(t) = A \cos(w_c t + \theta n) = A \cos(2\pi f_c t + \theta n) \\ 0 \leq t \leq T \quad (1-1)$$

式中的  $M$  个符号是通过均匀间隔的一组相位角来表示的：

$$\theta n = \frac{2(n-1)\pi}{M} \quad (n=1, 2, 3, \dots, M) \quad (1-2)$$

已调信号中相邻的相位间隔是  $2\pi/M$ 。例如，2 个符号（BPSK）、4 个符号（4PSK）和 8 个符号（8PSK）的相位间隔分别是  $\pi$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi/4$ 。用相位矢量图方法可将 MPSK 信号中的关系直观的表示出来，下图是  $M=2$ 、 $4$  和  $8$  三种 PSK 信号的矢量图。

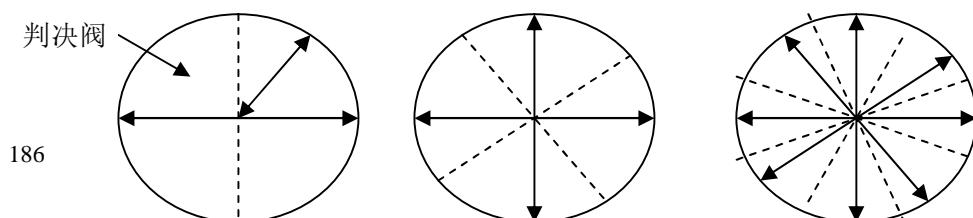


图 7-2 三种 PSK 信号的矢量图

各个矢量的端点在矢量图中的空间分布称为星座。在图中，由于各矢量的幅度都等于  $A$ ，矢量的端点分布在以  $A$  为半径的圆上。图中用虚线表示出接收机解调器的判决范围。只要相位为  $\theta_n$  的矢量的相位偏离不超过以  $\theta_n$  中心的  $+\pi/M$  的范围，就能作出正确的判决。

利用简单的三角函数式可将 (1-1) 式改写成如下的正交信号表示式：

$$U_n(t) = A(a_i \cos w_c t + b_i \sin w_c t) \\ 0 \leq t \leq T, \text{ 其中 } a_i = \cos \theta_n, b_i = \sin \theta_n \quad (1-3)$$

对于图所示的 BPSK 信号，其信号相位角  $\theta$  和  $\pi$  以正交方式表示的系数分别是  $(a_i, b_i) = (1, 0), (-1, 0)$ 。

2PSK 信号的典型波形图如下：

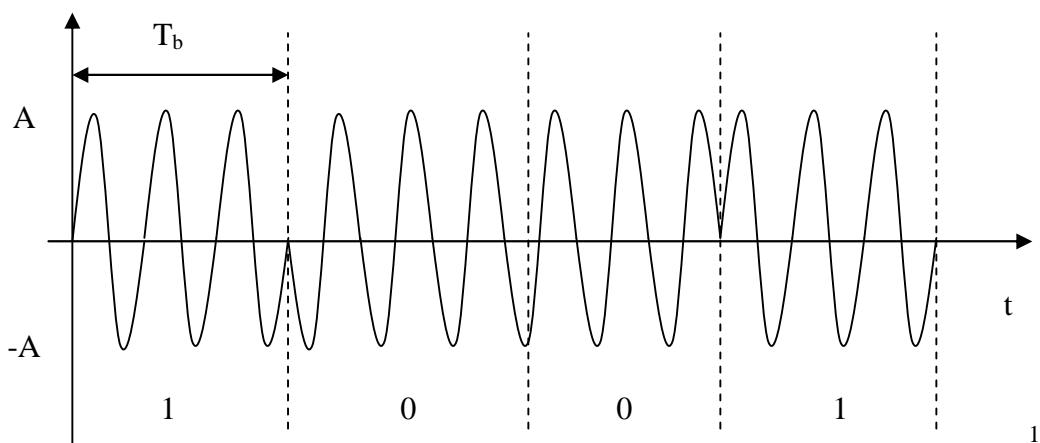


图 7-3 2PSK 信号的典型波形图

在相位图上，余弦系数  $a_i$  和正弦系数  $b_i$  是分别由水平轴和垂直轴代表的， $a_i$  称为同相信号，用 I (In-Phase) 表示； $b_i$  称为正交信号，用 Q (Quadrature) 表示。

多相调制与二相调制相比，既可以压缩信号的频带，又可以减小由于信道特性引起的码间串扰的影响，从而提高了数字通信的有效性。但在多相调制时，相位取值数增大，信号之间的相位差也就减小，传输的可靠性将随之降低，因而，实际中用得较多的多相调制是四相制和八相制。8PSK 调制电路框图和星座图如下所示：

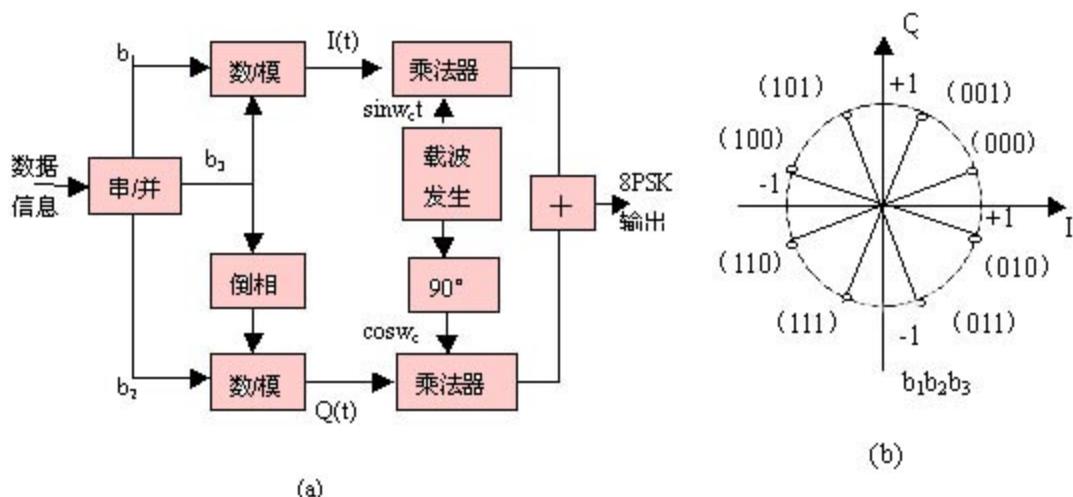


图 7-4 8PSK 调制电路框图和星座图

数据信息比特序列经串/并变换后分成  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  三路并行数据，其中：

$b_1$  决定  $I(t)$  的正负值 ( $b_1=0$  时  $I(t)>0$ ,  $b_1=1$  时  $I(t)<0$ )；

$b_2$  决定  $Q(t)$  的正负值 ( $b_2=0$  时  $Q(t)>0$ ,  $b_2=1$  时  $Q(t)<0$ )；

$b_3$  决定  $I(t)$  和  $Q(t)$  的幅度 ( $b_3=0$  时,  $I(t)=\cos(\pi/8)=0.927$ ,  $Q(t)=\sin(\pi/8)=0.383$ ;  $b_3=1$  时  $I(t)=0.383$ ,  $Q(t)=0.924$ )。

8PSK 调相波载波相位表如下所示：

表 7-1 8PSK 调相波载波相位表

$b_1 b_2 b_3$	000	001	010	011	100	101	110	111
I(t)值	+0.924	0.383	0.924	0.383	-0.924	-0.383	-0.924	-0.383
Q(t)值	+0.383	0.924	-0.383	-0.924	0.383	0.924	-0.383	-0.924
载波相位	$22.5^\circ$	$67.5^\circ$	$337.5^\circ$	$292.5^\circ$	$157.5^\circ$	$112.5^\circ$	$202.5^\circ$	$247.5^\circ$

### 7.3.2 QPSK 四相相移键控

QPSK 调制效率高，要求传送途径的信噪比低，适合卫星广播。欧洲与日本的数字电视首先考虑的是卫星信道，采用 QPSK 调制，此项调制技术应用较为广泛。

四相相移调制是利用载波的四种不同相位差来表征输入的数字信息，是四进制相移键控。QPSK 是在  $M=4$  时的调相技术，它规定了四种载波相位，分别为  $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 275^\circ$ ，其星座图如下：

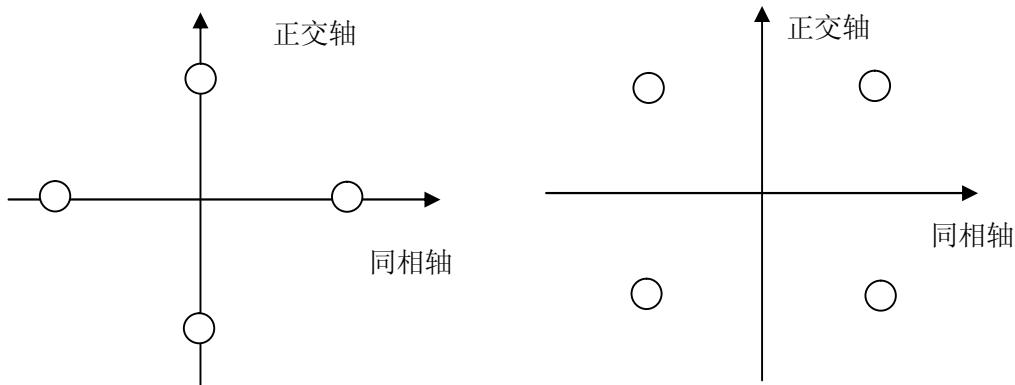


图 7-5 QPSK 星座图

调制器输入的数据是二进制数字序列，为了能和四进制的载波相位配合起来，则需要把二进制数据变换为四进制数据，这就是说需要把二进制数字序列中每两个比特分成一组，共有四种组合，即 00, 01, 10, 11，其中每一组称为双比特码元。每一个双比特码元是由两位二进制信息比特组成，它们分别代表四进制四个符号中的一个符号。QPSK 中每次调制可传输 2 个信息比特，这些信息比特是通过载波的四种相位来传递的。解调器根据星座图及接收到的载波信号的相位来判断发送端发送的信息比特。码元形成的四种绝对相位的 QPSK 信号和已调相波的 QPSK 星座图如图所示：

表 7-2 双码元与载波相位

双比特码元		载波相位 $\Phi$	
a(I)	b(Q)	A 方式	B 方式
0, +1	0, +1	$45^\circ$	$0^\circ$
0, +1	1, -1	$315^\circ$	$270^\circ$
1, -1	1, -1	$225^\circ$	$180^\circ$
1, -1	0, +1	$135^\circ$	$90^\circ$

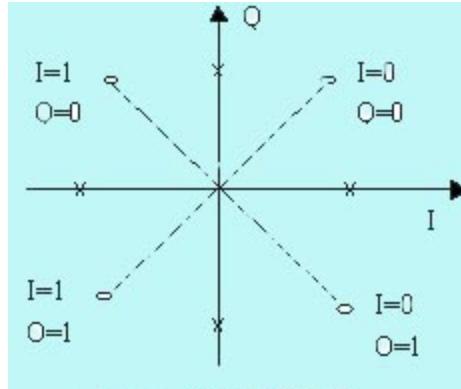


图 7-6 QPSK 星座图

数字调制用“星座图”来描述，星座图中定义了一种调制技术的两个基本参数：1) 信号分布；2) 与调制数字比特之间的映射关系。星座图中规定了星座点与传输比特间的对应关系，这种关系称为“映射”，一种调制技术的特性可由信号分布和映射完全定义，即可由星座图来完全定义。

QPSK 把相继两个码元的四种组合 (00, 01, 10, 11) 对应于正弦波的四个相位：

$$S_i(t) = \cos(w_c t + \theta_n), \text{ 其中 } i = 1, 2, 3, 4; -T/2 \leq t \leq T/2$$

此处  $\theta_n$  可以是  $0, \pm\pi/2, \pi$  或  $\pm\pi/4, \pm3\pi/4$ ，这就是四相 PSK（即 QPSK）。上式也可以写成：

$$S_i(t) = a_i \cos w_c t + b_i \sin w_c t \quad -T/2 \leq t \leq T/2;$$

相应的  $\theta_n$  是  $0, \pm\pi/2, \pi$  的情况，这时  $(a_i, b_i) = (1,0), (0,1), (-1,0), (0,-1)$ 。而当  $\theta_n$  是  $\pm\pi/4, \pm3\pi/4$  时， $(\sqrt{2}a_i, \sqrt{2}b_i) = (1,1), (-1,1), (-1,-1), (1,-1)$ 。

用  $a_i$ 、 $b_i$  二维平面上的点来表示。QPSK 是一种二维调制技术，其中水平轴  $a_i$  称为同相轴，垂直轴  $b_i$  称为正交轴，分别对应于星座图上的 I 和 Q 坐标。同相载波指载波本身，正交载波指相位旋转 90 度的载波。QPSK 调制在实现时是采用正交调幅的方式，某星座点在 I 坐标上的投影去调制同相载波的幅度，在 Q 坐标上的投影去调制正交载波的幅度，然后将两个调幅信号相加就是所需的调相信号。实际上色度信号的调制就是正交振幅调制，只不过是用连续信号去调制两个正交载波而已。“I”是波形的“同相”成分，“Q”是正交成分。IQ 调制既能有效传输信息，也能适应数字制式。它的工作为：当您用一个波形调制载波时，您可把调制信号作为矢量来处理。它有实部和虚部，或同相 (I) 和正交 (Q) 部分。

QPSK 是一种恒包络调制，它的信号的平均功率是恒定的，因此不受幅度衰减的影响，也就是说幅度上的失真不会使 QPSK 产生误码。

QPSK 正交调制器方框图如下所示。它可以看成由两个 BPSK 调制器构成，首先将输入的串行二进制信息序列经串一并变换，变成  $m=\log_2 M$  个并行数据流，每一路的数据率是  $R/m$ ， $R$  是串行输入码的数据率。I/Q 信号发生器将每一个  $m$  比特的字节转换成一对  $(p_n, q_n)$  数

字，分成两路速率减半的序列，电平发生器分别产生双极性二电平信号  $I(t)$  和  $Q(t)$ ，然后对  $\cos\omega ct$  和  $\sin\omega ct$  进行调制，相加后即得到 QPSK 信号。QPSK 调制方法常用于上、下通道交互式信息的传送。

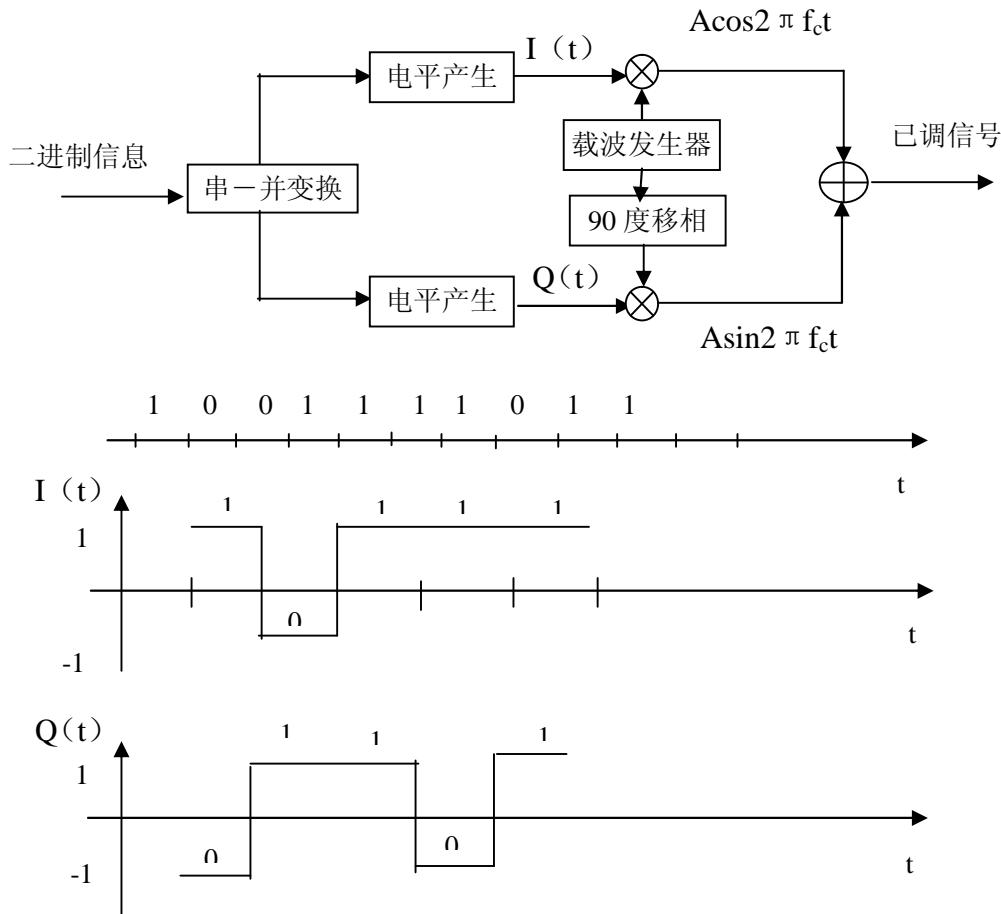


图 7-7 QPSK 正交调制方框图

QPSK 解调电路框图如下所示：

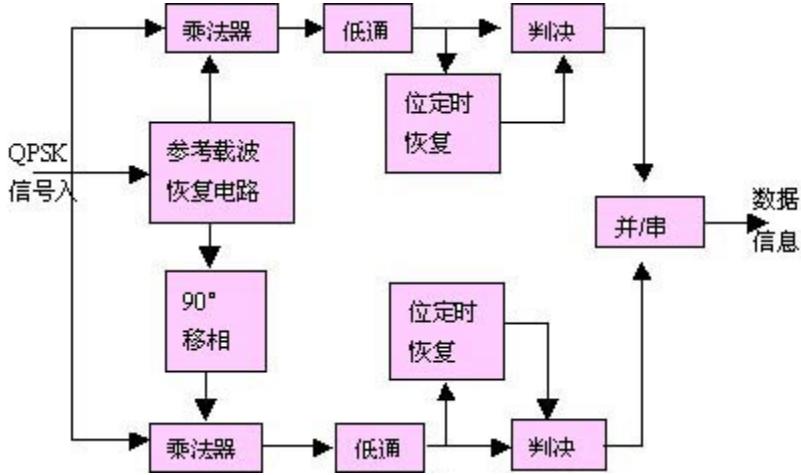


图 7-8 QPSK 解调电路框图

## 7.4 M-QAM 正交振幅调制

QAM 调制效率高，要求传送途径的信噪比高，适合有线电视电缆传输。在美国，正交调幅通常用在地面微波链路，不用于国内卫星，欧洲的电缆数字电视采用 QAM 调制，而加拿大的卫星是采用正交调幅。

PSK 只利用了载波的相位，它所有的星座点只能分布在半径相同的圆周上。当星座点较多时，星座点之间的最小距离就会很密，非常容易受到噪声干扰的影响。调制技术的可靠性可由相邻星座点之间的最小距离来衡量，最小距离越大，抵抗噪声等干扰的能力越强，当然前提是信号的平均功率相同。当噪声等干扰的幅度小于最小距离的 1/2 时，解调器不会错判，即不会发生传输误码；当噪声等干扰的幅度大于最小距离的 1/2 时，将发生传输误码。因此 PSK 一般只用在 8PSK 以下，常用的是 BPSK 和 QPSK。当星座点进一步增加时，也即需要更高的频带利用率时，就要采用 QAM 调制了。在 PSK 中 I 信号和 Q 信号互相不独立，为了得到恒定的包络信号，它们的数值是受到限制的，这是 PSK 信号的基本特性。如果去掉这一限制，让  $a_i$  和  $b_i$  本身取不同的值，就得到正交幅度调制 QAM。作为一个特例，当每个正交信号只有两个数值时，QAM 与 4-PSK 完全相同。当  $M \gg 4$  时 QAM 的信号星座呈正方形分布，而不再像 PSK 那样沿着一个固定的圆周分布。

QAM 是幅度、相位联合调制的技术，它同时利用了载波的幅度和相位来传递信息比特，因此在最小距离相同的条件下，QAM 星座图中可以容纳更多的星座点，即可实现更高的频带利用率，目前 QAM 星座点最高已可达 256QAM。我们以 16QAM 为例来说明 QAM 的特性。

在上面 QPSK 的描述中， $S_i(t) = a_i \cos w_c t + b_i \sin w_c t \quad -T/2 \leq t \leq T/2$ ，

如果让  $a_i, b_i$  本身取不同的值，所作的处理就是正交振幅调制（QMA：Quadrature Ampli

tude Modulation), 下图是 16QAM 和 32QAM 的星座图。

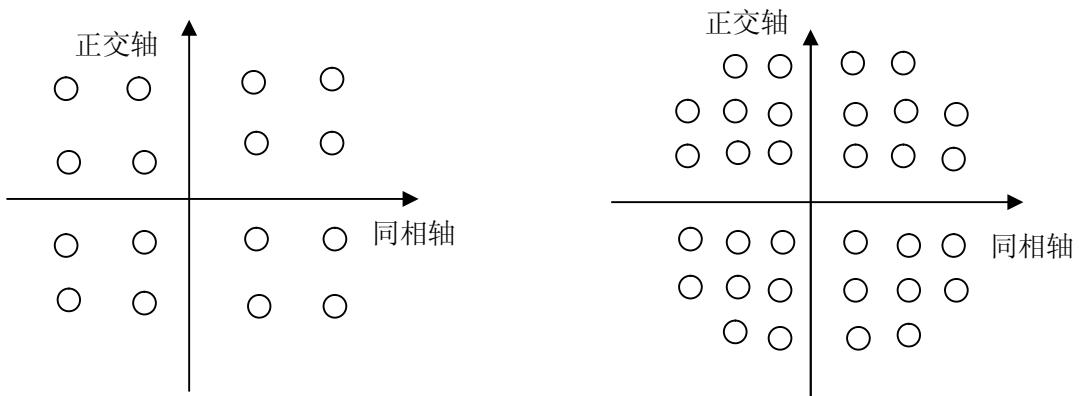


图 7-9 16QAM 和 32QAM 的星座图

星座图里的样点数目，例如 16，确定 QAM 的类型。16 个样点表示这是 16QAM 信号。星座图里每个样点表示一种状态。16QAM 有 16 态，每 4 位规定 16 态中的 1 态。16QAM 中规定了 16 种载波幅度和相位的组合。16QAM 的每个符号或周期传送 4 位比特。解调器根据星座图及接收到的载波信号的幅度和相位来判断发送端发送的信息比特。QAM 也是二维调制技术，在实现时也采用正交调幅的方式，某星座点在 I 坐标上的投影去调制同相载波的幅度，在 Q 坐标上的投影去调制正交载波的幅度，然后将两个调幅信号相加就是所需的调相信号。在 16QAM 和 32QAM 星座图中，在同相轴和正交轴上的幅度电平不再是 2 个而是 4 个（16QAM）和 6 个（32QAM），所能传输的数码率也将是原来的 4 倍到 5 倍（不考虑滚降因子）。

下图是 64QAM 的星座图，64QAM 和 256QAM 用于下行数字电信号的传送。64QAM 的频带利用率可达 5bit/Hz。但是我们并不能无限制地通过增加电平级数来增加传输数码率。因为随着电平数的增加，电平间的间隔减小，噪声容限减小，同样噪声条件下误码增加。在时间轴上也会如此，各相位间隔减小，码间干扰增加，抖动和定时问题都会使接收效果变差。16QAM 要保持和 QPSK 同样的平均发射功率，星座图的点必须更密集。随着星座图中点间距的缩小，误码概率会上升，QAM 虽可传送更多的信息，频带利用率高，但是 QAM 会受到载波幅度失真的影响，其可靠性不如 PSK。16QAM 要获得和 QPSK 同样的纠错码性能，则需要更高的 S/N 比。不论采用哪一种方法都意味着你必须用数据率来换取误码率。

## 64-QAM

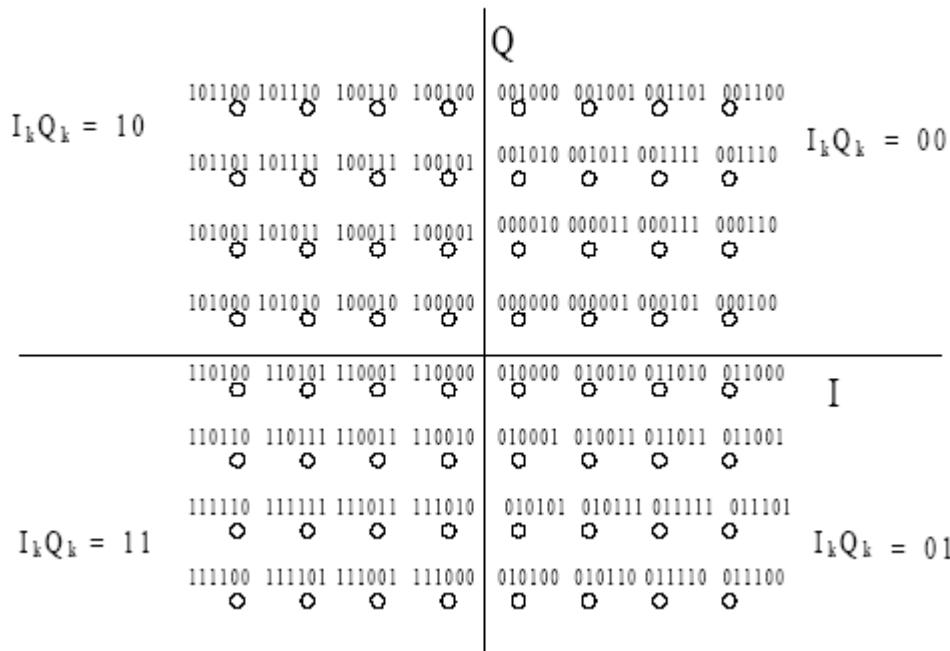


图 7-10 64QAM 的星座图

MQAM 调制器与解调器的一般方框图如下：

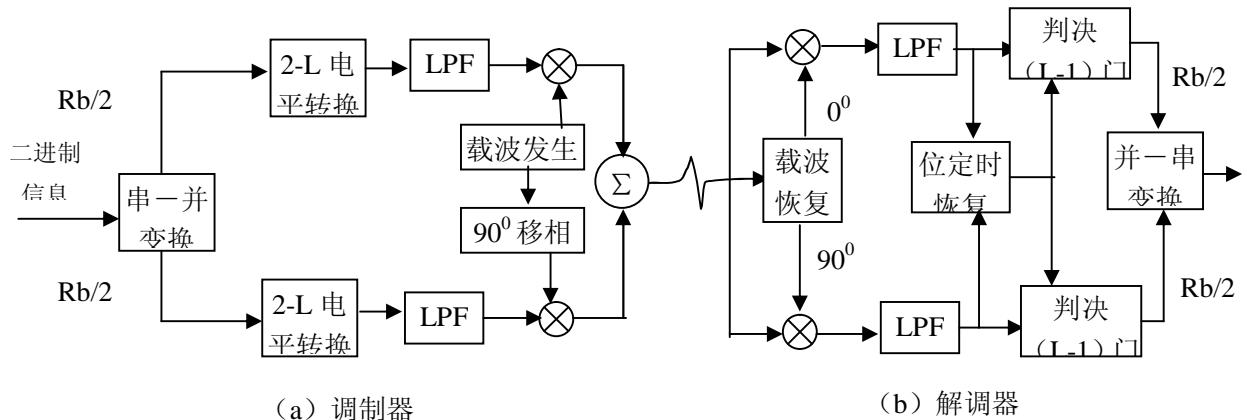


图 7-11 MQAM 调制器与解调器

串一并变换器将速率为  $R_b$  bps 的输入二进序列分成两个速率为  $R_b/2$  的两电平序列， $2-L$  电平变换器将每个速率为  $R_b/2$  的两电平序列变成速率为  $R_b/2\log_2 L = R_b/\log_2 M$  的  $L$  电平信号，然后分别与两个正交的载波相乘，相加后即产生 MQAM 信号。在理想的低通滤波情况下其基带带宽  $B = (1/2) R_b/\log_2 M$  Hz，由于是双边带调制，已调波的带宽  $\Delta F = 2B = R_b/\log_2 M$

Hz。所以 $\Delta F$ 带宽内的调制效率为 $\eta = \frac{Rb}{\Delta F} = 2 \log_2 L = \log_2 M (bps / Hz)$ 。在实际基带低通滤波器情况下滤波器的截止边沿是按照升余弦滚降特性下降的，滚降系数为 $\alpha=0\sim 1$  ( $\alpha=0$  即为理想低通特性)，已调波的带宽为 $\Delta F(1+\alpha)$  此时的调制效率应修正

为: $\eta = \frac{\log_2 M}{1+\alpha} (bps / Hz)$ 。在 64QAM 调制时  $M=64$ 。

MQAM 信号的解调同样可以采用正交的相干解调方法，同相路和正交路的  $L$  电平基带信号用有  $(L-1)$  个门限电平的判决器判决后，分别恢复出速率等于  $Rb/2$  的二进制序列，最后经并一串变换器将两路二进制序列合成一个速率为  $Rb$  的二进制序列。

因此，MQAM 信号与 MPSK 信号的功率谱都取决于 I 和 Q 两路基带信号的功率谱。当 MQAM 和 MPSK 两路都具有相同数目的星座点时，它们功率谱相同，已调波带宽均为基带信号带宽的两倍。MQAM 信号与 MPSK 信号有相同的频带利用率或者说有相同的调制效率。MQAM 信号的已调载波矢量可充分利用整个调制平面，在相同的平均载波功率下，对于相同的  $M$  值可使 MQAM 的抗干扰能力强于 MPSK。

## 7.5 M-FSK 频移键控

频移就是把振幅、相位作为常量，而把频率作为变量，通过频率的变化来实现信号的识别。

在 FSK 中传送的信号只有 0 和 1 两个，而在 M-FSK 中则通过  $M$  个频率代表  $M$  个符号，即

$$U1(t) = A \cos 2\pi f_n t \quad 0 \leq t \leq T$$

式中  $n=1, 2, \dots, M$ ，其中  $T$  是符号周期。

对于 1 电平， $U1(t) = A \cos 2\pi f_1 t$  或  $U1(t) = A \cos 2\pi(f_c - \Delta f)t$

对于 0 电平， $U1(t) = A \cos 2\pi f_1 t$  或  $U1(t) = A \cos 2\pi(f_c + \Delta f)t$

其中  $\Delta f$  称为频偏。

2FSK 的典型波形如下图所示：

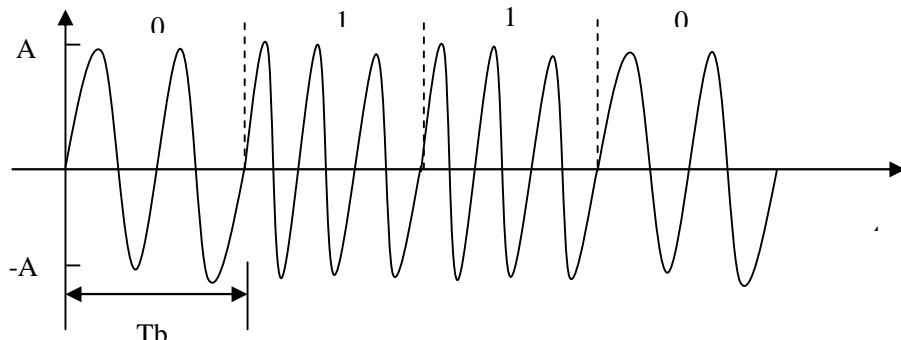


图 7-12 2FSK 的波形

## 7.6 M-ASK 帧移键控

### 7.6.1 2ASK 调制

2ASK 帧移键控相当于模拟信号中的调幅，只不过与载频信号相乘的是二进数码而已。幅移就是把频率、相位作为常量，而把振幅作为变量，信息比特是通过载波的幅度来传递的。由于调制信号只有 0 或 1 两个电平，相乘的结果相当于将载频或者关断，或者接通，它的实际意义是当调制的数字信号“1”时，传输载波；当调制的数字信号为“0”时，不传输载波。典型波形如下图所示：

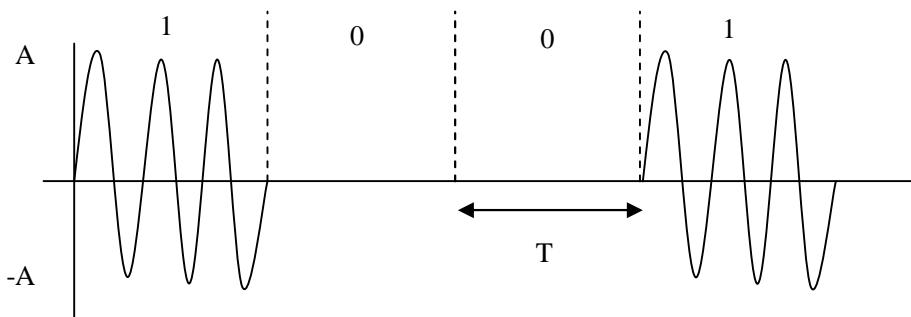


图 7-13 幅移键控的典型波形

幅移键控的调制器可以用一个相乘器来实现，如下图所示。对于通断键控信号来说，相乘器则可以用一个开关电路来代替，调制信号为“1”时开关电路导通，为“0”时开关电路切断。二进制振幅键控信号由于一个信号状态始终为零，故又常称为通断键控信号（OOK信号）。

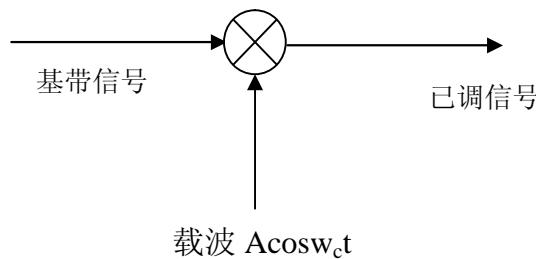


图 7-14 ASK 调制器模型

### 7.6.2 MASK 调制

MASK 调制方式是采用多电平基带信号对一个高频载波进行平衡调制，得到多种幅度的高频已调波。它在频谱上是载波抑制的双边带信号，单侧边带的带宽等于基带信号本身的带宽，所以整个已调波带宽是基带信号带宽的二倍。MASK 中的  $M=2^k$ 。一般 MASK 调制框图如下所示：

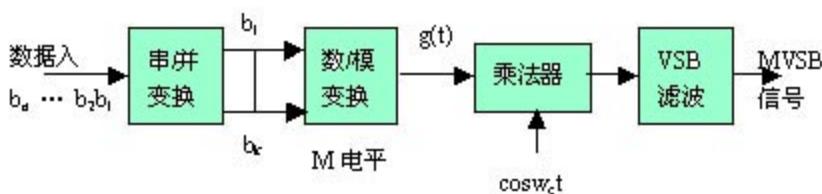


图 7-15 MASK 调制器一般框图

如果输入数据的码率为  $R_b$  bps，经串/并转换成  $k$  路数据后，每路数据的码率为  $R_b/k$  bps，再由数/模转换器转换成  $2^k=M$  电平的数据，与载波  $\cos \omega_c t$  相乘，形成 MASK 已调波。

## 7.7 MVSB 调制

所谓残留边带调制（VSB）是在双边带调制的基础上设计适当的输出滤波器，使信号的一个边带频谱成分原则上全部保留，另一个边带频谱成分保留一小部分。它是双边带调制（DSB）和单边带调制（SSB）的一种拆衷。

实际上，基带信号携带的信息在 MASK 已调波任一个边带中都已全部包含，所以，传输时可以抑制一个边带而只发送另一个边带宽。如果只传送抑制载波的一个单边带，接收端不

能从中获得参考载波而将无法解调。因此，在传送信号中尚需再传送一个低电平的、被抑制的基准载波信息，称为导频信号。

具体作法是将传送的上边带向下侧展宽一些，已包含进载波分量，就像目前的模拟电视信号广播中应用的残留边带调幅方式一样，因此这种 MASK 调制传输方式在数字电视的应用中称之为 MVSB 调制。

### 7.7.1 调制效率

MVSB 已调波的传输带宽就等于基带信号的带宽，由于码率为  $Rb/k$  bps，在理想低通情况下基带带宽  $B = (1/2)(Rb/k)$  Hz，由于已调波只传送一个边带，因而已调波的带宽也为  $\Delta F = B$ 。于是，调制效率  $\eta$  为： $\eta = \frac{Rb}{\Delta F} = 2k = 2 \log_2 M (\text{bps} / \text{Hz})$ 。

考虑到低通滤波具有滚降系数  $\alpha$  ( $=0 \sim 1$ ) 时，实际的高频带宽应为  $\Delta F(1+\alpha)$ ，所以实际的高频调制效率  $\eta$  为： $\eta = 2 \frac{\log_2 M}{1+\alpha} (\text{bps} / \text{Hz})$ 。

显然， $M$  越大时，高频调制效率  $\eta$  越高。但是， $M$  增大后星座图上星座点之间的距离相应地减小，抗干扰能力随之降低。

### 7.7.2 MVSB 和 MQAM 的比较

MVSB 调制中， $M=2, 4, 8, 16, \eta=2, 4, 6, 8 \text{ bps/Hz}$ ，而在 MQAM 中要得到这样的  $\eta$  值，应  $L=2, 4, 8, 16$ ，而由于其  $M=L^2$ ，对应  $M=4, 16, 64, 256$ 。因此 X-VSB 与  $X^2$ -QAM (实际上 X 取 2, 4, 8, 16) 具有相同的高频调制效率。在高斯白噪声下，它们也具有相同的误码率特性，VSB 和的 QAM 误码性能如下图所示。

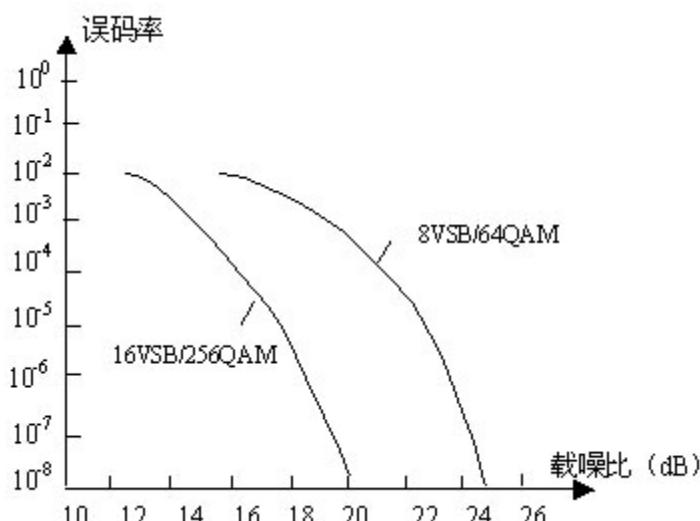


图 7-16 VSB 和 QAM 的误码性能

从频谱利用率上和抗干扰能力上看，X-VSB 与 X<sup>2</sup>-QAM 是特性相当的。另外，VSB 中依靠导频信号使接收端恢复出参考载波，虽然保证了载波的恢复，消耗了一部分数据信号功率，导频信号能量太小时则容易受噪声的干扰。在 QAM 调制信号传送中，没有导频信号，可最大限度地利用高频功率，在数字电视的有线信道传输时中，普遍地采用 MQAM 调制方式。

## 7.8 正交频分复用（OFDM）调制技术

上面的各种数字调制方式都可以归纳为单个高频载波式的数字调制。由于通常数字视频信号的码率很高，高频已调波信号在地面开路传送中，高速数据受到多径干扰等影响而会发生严重的码间干扰，造成接收中的误码率较高，电视中出现重影问题。对于移动接收，情况会更严重。因此，必须使用均衡及抽头延迟线调整等方法减轻这种干扰。

### 7.8.1 传统频分复用（FDM）

频分复用（FDM，Frequency Division Multiplexing）是一种多载波通信技术，就是将用于传输信道的总带宽划分成若干个子频带（或称子信道），每一个子信道传输 1 路信号。频分复用要求总频率宽度大于各个子信道频率之和，同时为了保证各子信道中所传输的信号互不干扰，应在各子信道之间设立隔离带，这样就保证了各路信号互不干扰。频分复用技术的特点是所有子信道传输的信号以并行的方式工作，每一路信号传输时可不考虑传输时延。

传统的频分复用（FDM）的优点是简单、直接。但是由于子信道之间要留有保护频带，频谱的利用率低，而且在频分路数 N 较大时多个滤波器的实现使系统复杂化。

### 7.8.2 正交频分复用（OFDM）

频分复用技术除传统意义上的频分复用（FDM）外，还有一种是正交频分复用（OFDM：Orthogonal Frequency Division Multiplexing）。正交频分复用（OFDM）是频带混叠的多载波通信方案技术，它的基本思想就是在频域内将所给信道分成许多正交子信道，在每一个子信道上使用一个子载波进行调制，并且各子载波并行传输，这样，尽管总的信道并非平坦的，也就是说，具有频率选择性，但是每个子信道是相对平坦的，并且在每个信道上进行的是窄带传输，信号带宽小于信道的相关带宽，因此可以大大消除符号间干扰。

OFDM 全部载波频率有相等的频率间隔，它们是一个基本振荡频率的整数倍，由于在 OFDM 系统中各个子信道的载波相互正交，它们的频谱是相互重叠的，这样不但减小了子载波间的相互干扰，同时又提高了频谱利用率。COFDM 则是表示基带信号已施加了纠错编码。

OFDM 每个载波所使用的调制方法可以不同。各个载波能够根据信道状况的不同选择不同的调制方式，比如 BPSK、QPSK、8PSK、16QAM、64QAM 等等，以频谱利用率和误码率之间的最佳平衡为原则。我们通过选择满足一定误码率的最佳调制方式就可以获得最大频谱效率。OFDM 技术使用了自适应调制，根据信道条件的好坏来选择不同的调制方式。比如在终端靠近基站时，信道条件一般会比较好，调制方式就可以由 BPSK（频谱效率 1bit/s/Hz）

转化成 16QAM—64QAM（频谱效率 4~6bit/s/Hz），整个系统的频谱利用率就会得到大幅度的提高。自适应调制能够扩大系统容量，但它要求信号必须包含一定的开销比特，以告知接收端发射信号所应采用的调制方式。终端还要定期更新调制信息，这也会增加更多的开销比特。OFDM 还采用了功率控制和自适应调制相协调工作方式。信道好的时候，发射功率不变，可以增强调制方式（如 64QAM），或者在低调制方式（如 QPSK）时降低发射功率。功率控制与自适应调制要取得平衡。也就是说对于一个发射台，如果它有良好的信道，在发送功率保持不变的情况下，可使用较高的调制方案如 64QAM；如果功率减小，调制方案也就可以相应降低，使用 QPSK 方式等。自适应调制要求系统必须对信道的性能有及时和精确的了解，如果在差的信道上使用较强的调制方式，那么就会产生很高的误码率，影响系统的可用性。OFDM 系统可以用导频信号或参考码字来测试信道的好坏。发送一个已知数据的码字，测出每条信道的信噪比，根据这个信噪比来确定最适合的调制方式。

### 7.8.3 正交频分复用（OFDM）技术的发展

OFDM 的概念于 20 世纪 50~60 年代提出，1970 年 OFDM 的专利被发表，其基本思想通过采用允许子信道频谱重叠，但相互间又不影响的频分复用（FDM）方法来并行传送数据。OFDM 早期的应用有 AN/GSC\_10（KATHRYN）高频可变速率数传调制解调器等。

在早期的 OFDM 系统中，发信机和相关接收机所需的副载波阵列是由正弦信号发生器产生的，系统复杂且昂贵。1971 年 Weinstein 和 Ebert 提出了使用离散傅立叶变换实现 OFDM 系统中的全部调制和解调功能的建议，简化了振荡器阵列以及相关接收机中本地载波之间严格同步的问题，为实现 OFDM 的全数字化方案作了理论上的准备。

80 年代以后，OFDM 的调制技术再一次成为研究热点。例如在有线信道的研究中，Hirosaki 于 1981 年用 DFT 完成的 OFDM 调制技术，试验成功了 16QAM 多路并行传送 19.2kbit/s 的电话线 MODEM。在实际应用中，DFT 的实现一般可运用快速傅里叶变换算法（FFT），利用 FFT 算法用单载波调制实现 OFDM。

1984 年，Cimini 提出了一种适于无线信道传送数据的 OFDM 方案。其特点是调制波的码型是方波，并在码元间插入了保护间隙，该方案可以避免多径传播引起的码间串扰。

进入 90 年代以后，OFDM 的应用又涉及到了利用移动调频（FM）和单边带（SSB）信道进行高速数据通信、陆地移动通信、高速数字用户环路（HDSL）、非对称数字用户环路（ADSL）、超高速数字用户环路（VHDSL）、数字声广播（DAB）及高清晰度数字电视（HDTV）和陆地广播等各种通信系统。

### 7.8.4 OFDM 调制的基本原理

例如  $B=8\text{MHz}$  高频带宽的电视频道，如果  $N=2^{11}=2048$ ，则是在 8MHz 高频带宽内设置 2048 个载波，载波之间的频率间隔为： $\Delta f=8\text{MHz}/2048=3096\text{Hz}$ 。各个载波频率可表示为： $f_0, f_1, f_2, \dots, f_k, \dots, f_{N-1}$ ，其中， $f_k=f_0+j\Delta f$ ，通常用  $\omega$  来表示  $f$ ，当采用 QAM 调制方式时，对于每个载波频率  $\omega_k$  给出  $\sin\omega_k t$  和  $\cos\omega_k t$  两个正交载波，供一对  $I_k$  和  $Q_k$  信号进行调制。

OFDM 调制和解调原理框图如下图所示。输入数据流经串/并和 D/A 变换（数/模）变换后，映射为 N 路  $I_k$  和  $Q_k$  符号去调制各路载波，各路已调波相加合成为 OFDM 信号输出。

可以证明只要保证载频间隔  $\Delta f$  等于调制符号周期  $T_s$  倒数的整数倍（即  $\Delta f=1/T_s$  或  $\Delta f=m/T_s$ ）就能保证各载频已调波之间的正交性。

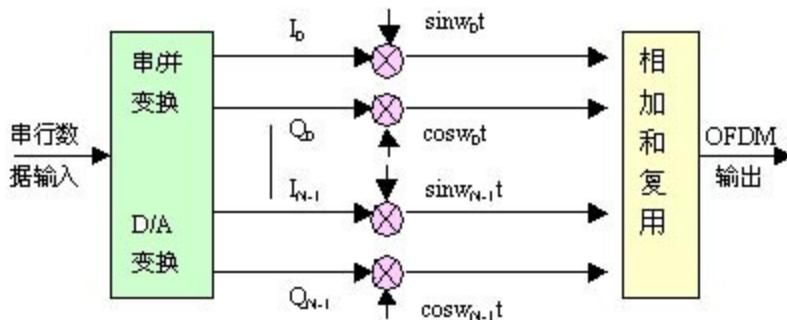


图 7-17 OFDM 调制器原理框图

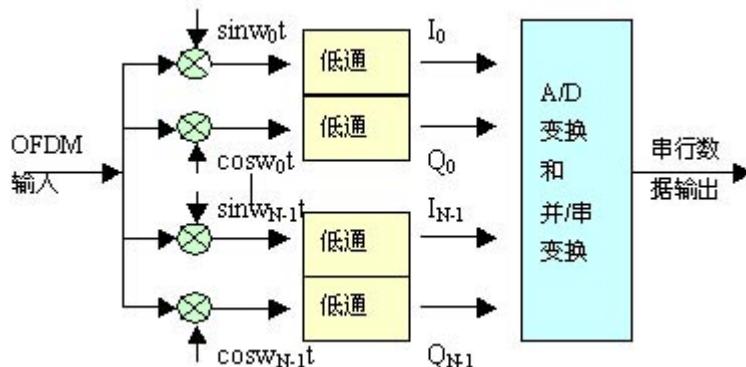


图 7-18 OFDM 信号解调器原理框图

使用正交频分复用（OFDM）方法可以有效地克服反射或重影造成的影响，OFDM调制方法是在规定的高频带宽  $B$  内均匀安排以  $N=2^f$  个子载波，同时将高码率的串行数据流转换成  $N$  个低码率的并行流，对  $N$  个子载波进行调制（QPSK或QAM），然后再将各路已调波混合，便得到总带宽为  $B$ 、频分复用的FDM信号。由于数码率大大降低，比特周期大大加长，因此反射波的影响就大为减小。由于OFDM各子载波信号之间是互相正交的，因此即使各载波间有重叠部分，解调时也能利用正交性解调每个载波上的调制符号  $I_k$  和  $Q_k$ 。这样就可充分利用带宽，安排尽量多的载波。下图示出了OFDM的频谱，各载波间的间隔为符号周期的倒数，任一载波在其它载波位置上的值均为  $(\sin x/x)$ 。数百个甚至数千个载波产生的方法不能采用通常的锁相频率合成器，而要采用反离散付立叶变换（IDFT）来同时产生所需要数量的载波。欧洲的DVB、HDTV以及DAB系统都采用OFDM调制方式。

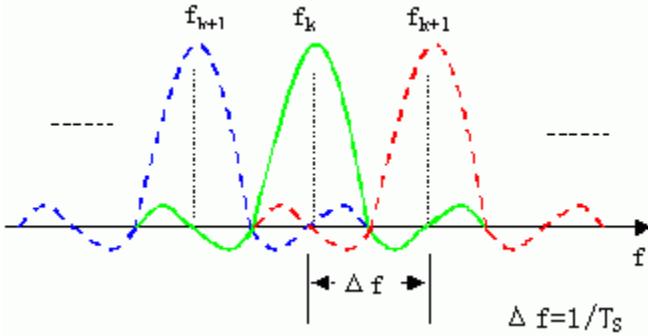


图 7-19 OFDM 已调波频谱

### 7.8.5 OFDM 已调载波的数学分析

一个 OFDM 符号定义为各个载波被各符号在时间  $T_s$  内调制后各已调波的综合，可表示

$$\text{成 } s(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} A_k(t) e^{j[\omega_k(t) + \varphi_k(t)]}$$

式中， $\omega_k = \omega_0 + k\Delta\omega$  表示第  $k$  个载波， $A_k(t)$  和  $\varphi_k(t)$  为已调波载波  $\omega_k$  的幅度和相位。实际传输的信号是  $S(t)$  的实数部分。考虑到一个符号周期  $T_s$  上信号是一个定值，有  $A_k(t) \rightarrow A_k$ ， $\varphi_k(t) \rightarrow \varphi_k$ 。串行数据流并行分散到  $N$  个子载波上后，每个符号的传输时间  $T_s$  是串行数据流中符号传输时间  $\Delta T$  的  $N$  倍，也即  $T_s = N\Delta T$ 。为了简化令  $\omega_0 = 0$ ，对时间上连续的  $S(t)$  进行间隔为  $\Delta T$  取样，在一个符号周期  $T_s$  内取  $N$  个样值，可以证明  $S(t)$  的离散时间表示式为：

$$s(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S(k) e^{j \frac{2\pi n k}{N}} \quad 0 \leq n \leq N-1$$

$n$  表示一个 OFDM 符号中的第  $n$  个样值。 $A_k e^{j\varphi_k} = S(k)$ ，上式正是离散傅立叶反变换的一般表示式，已知等式右边的频域函数可以计算出左边的时域函数，可以使用快速的离散傅立叶反变换（IFFT）来实现。

### 7.8.6 OFDM 具体实施方法

由于多载波调制需要  $N$  个频率的振荡器实际很难实现，因此 OFDM 调制和解调是利用

离散傅立叶变换的正反变换来实现。OFDM 调制实际实现框图如图所示。

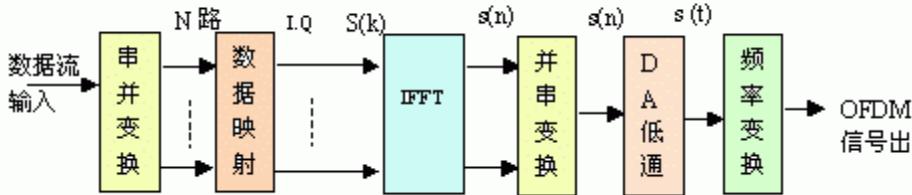


图 7-20 利用 IFFT 运算实现 OFDM 调制框图

串/并变换器将高码率的串行数据流均匀分散成  $N$  路低码率的并行的符号 ( $I+jQ$ )，因为  $N$  和  $\Delta T$  值都已明确，各路的  $I$ 、 $Q$  值是已知的，所以  $S(k)$  也就是已知的，根据 IFFT 的运算便可以直接得出 OFDM 信号  $s(n)$ 。经过 D/A 变换后得到  $s(t)$ ，再由载频变换器将  $s(t)$  变换到一个预定的高频上，最终形成可经由传输通道发送出的 OFDM 调频波。

接收端对接收到的 OFDM 信号的解调是发送端的逆过程，其中关键部分是 FFT 的运算。

数学表示式为：

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) e^{-j2\pi nk / N}$$

从各  $S(k)$  得到相应的  $A_k$ 、 $\varphi_k$  数据，由此恢复出有关的  $I_k$ 、 $Q_k$  数据，最后经串/并变换后成为原来的基带信号数据流。

### 7.8.7 OFDM 技术的优点

- OFDM 技术实现了多载波调制 (MCM)，克服了多径接收，支持移动接收，提高了系统的传输码率；
- OFDM 技术将给定信道分成许多正交子信道，在每个子信道上使用一个子载波进行调制，单个载波间无需保护频带，并且各子载波并行传输，大大消除信号波形间的干扰，使得可用频谱的使用效率更高；
- OFDM 技术可适应不同设计需求，灵活分配数据容量和功率，便于提供灵活的高速和变速综合数据传输；
- OFDM 技术能提供较大的系统容量，且具有较强的抗多径干扰、抗频率选择性衰落和频率扩散能力，适应多径和移动信道传播条件；
- OFDM 技术可以实现较高的安全传输性能，它允许数据在高速的射频上编码；
- OFDM 技术能够持续不断地监控传输介质上通信特性的突然变化。能动态地接通或切断相应的载波，要使某个位置有或没有载波很简单，只要令相应的数据为“1”或“0”，可动态分配在子信道中的数据，以保证持续地进行成功的通信。为获得最大的

数据吞吐量，多载波调制器可以智能地分配更多的数据到噪声小的子信道上。

### 7.8.8 OFDM 技术的缺点

尽管 OFDM 有很大的优点，在技术上也还存在几个缺点：

#### (1) 对频率偏移和相位噪声敏感

OFDM 的基础是子载波必须满足正交，如果正交性恶化，则整个系统的性能会严重下降，产生 OFDM 特有的子载波间串扰。在实际工作中由于无线衰落信道的时变性，往往会造成频率弥散，引起多普勒频移效应，从而影响载波频率正交性。如何实现子载波的精确同步是 OFDM 技术中的一个难点。

#### (2) 高的峰均功率比 (PAPR)

峰均功率比 (PAPR) 是指发射机输出信号为非恒包络信号时，其峰值功率和平均值功率的比值。决定 OFDM 信号峰均功率比的因素有两个：一是调制星座的大小，另一是并行载波数 N。调制星座越大，峰均功率比就可能越大，这与串行传输方式时是相同的。

OFDM 信号呈现很大的峰值平均功率比 (PAPR)，比单载波系统需要更宽的线性范围。由于采用 DFT 实现调制和解调，故对载波频率偏移、相位噪声和非线性放大更为敏感。若要避免信号失真和频谱扩展，则需要动态范围很大的线性放大器。如何降低信号的峰值平均功率比是 OFDM 技术中的另一个难点。

#### (3) 插入保护间隔使传输有效码率降低

OFDM 子载波上的符号周期比单载波调制扩大了，但是仍然不能完全消除多径衰落的影响。在多载波系统中，多径回波不仅使同一载波的前后相邻符号叠加，造成符号间干扰 (ISI)；而且会破坏子载波间的正交性，造成载波间串扰 (ICI)。这是因为多径回波使子载波的幅度和/或相位在一个积分周期内发生了变化，以至于接收信号中来自其它载波的分量在积分以后不再为 0 了。解决这一问题的方法是在每个符号周期上增加一段保护间隔 (Guard Interval) 时间。

插入保护间隔使传输有效码率降低了约 10%。人们正在积极寻找方法克服此问题，例如清华大学提出的 DMB-T 系统方案中，就在保护间隔中插入了 PN 序列，代替 OFDM 常用的循环前缀方式，用于系统定时、同步和信道估计均衡等。

### 7.8.9 OFDM 在数字电视中的应用

目前全球共有 3 套国际数字电视地面传输系统标准，美国 1996 年高级电视系统委员会 (ATSC) 研发的 ATSC8-VSB；欧洲 1997 年提出的数字视频地面广播 DVB-T COFDM；日本 1999 年提出的地面综合业务数字广播 ISDB-T OFDM。

目前在地面数字电视广播系统中，子载波数量一般为 2k、4k 或 8k。欧洲 DVB-T COFDM 系统是欧洲数字电视广播 (DVB) 开发的系列标准中的数字地面电视广播系统标准，在系列标准中 DVB-T 是最复杂的 DVB 系统。使用 MPEG-2 传送比特流复用，里德-索罗门 (RS) 前向纠错系统，采用 COFDM 调制方式，把传输比特分割到数千计的低比特率副载波上，用 1705 个载波 (“2K”) 或 6817 个载波 (“8K”) 模式。“2K”与“8K”系统是兼容的。在移动性能方面，在 2k 模式下可以提供非常好的移动性能，并且明显好于 8k 模式。在网络规划方面，

很大的地理区域只被单一频率覆盖从而构成单频率网络 (SFN)，但 2k 模式下符号持续时间和相应的保护间隔很短，这就使得网络设计者难于进行频率规划，阻碍了其在这类环境中的使用。所以，2k 模式只适合于小型单频网，而 8k 模式更适合于构成一个大范围的单频网。4k 模式在移动性能和网络规划灵活性方面取得了很好的折衷。日本 ISDB-T 系统方案和欧洲后来的 DVB-H 系统方案在原来 2k 和 8k 的基础上增加了 4k 模式。

日本提出的“综合业务数字广播”ISDB-T OFDM 系统采用 MPEG-2 传送比特复用，OFDM 调制方式，使用的编码方式、调制、传输与 DVB-T COFDM 基本相同，可以说是经修改的欧洲方式，不同之处在于接收方面增加了部分接收和分层传输，将整个 6MHz 频带划分为 13 个子带，每个子带 432KHz，将中间一个用于传输音频信号，并大大加长了交织深度（最长达 0.5 秒），增加交织深度将引入长达几百毫秒的延迟影响频道转换和双向业务。ISDB-T 概念覆盖了各种服务，因此系统不得不面对各种需求，而且一个业务可能和另一个业务是不同的。

我国清华大学微波与数字通信国家重点实验室提出的地面数字多媒体与电视广播系统 (DMB-T)，它采用时域同步正交频分复用技术 (TDS-OFDM)。清华大学提出的 DMB-T 系统方案采用了 4k 模式，更好地兼顾了移动性能和网络规划。DMB-T 传输系统既适用于地面数字多媒体电视广播系统，也适用于其它宽带传输系统。

## 本章总结

学习完本章，学生应该掌握：

- ◆ 掌握电视信号载波调制的目的
- ◆ 掌握数字电视调制技术的方法和分类
- ◆ 掌握数字电视常用的几种载波调制原理

# 第8章 数据通信与分组交换

## 本章目标

本章结束时，学生能够：

- ◆ 掌握数据通信的基本理论
- ◆ 掌握数据链路传输控制规程
- ◆ 掌握数据传输基本原理
- ◆ 掌握数据通信的交换方式
- ◆ 掌握分组交换数据网原理

### 8.1 数据通信概述

#### 8.1.1 数据通信的定义和特点

在电信领域中，信息一般可分为语音、数据和图像三大类型。数据是具有某种含义的数字信号的组合，如字母、数字和符号等。这些字母、数字和符号在传输时，可以用离散的数字信号逐一准确地表达出来，例如可以用不同极性的电压、电流或脉冲来代表。将这样的数据信号加到数据传输信道上进行传输，到达接收地点后再正确地恢复出原始发送的数据信息。

我们知道计算机的输入输出都是数据信号，而数据通信就是以传输数据为业务的一种通信方式，因此是计算机和通信相结合的产物；是计算机与计算机，计算机与终端以及终端与终端之间的通信；是按照某种协议连接信息处理装置和数据传输装置，进行数据的传输及处理。计算机与通信相结合，克服了时间和空间上的限制，使人们可以利用终端在远距离共同使用计算机，提高了计算机的利用率，使计算机的应用范围扩大到各个社会生活领域，从而使信息化社会进一步向前推进。

数据通信和电报、电话通信相比，数据通信有如下特点：

- 数据通信是人—机或机—机通信，计算机直接参与通信是数据通信的重要特征；

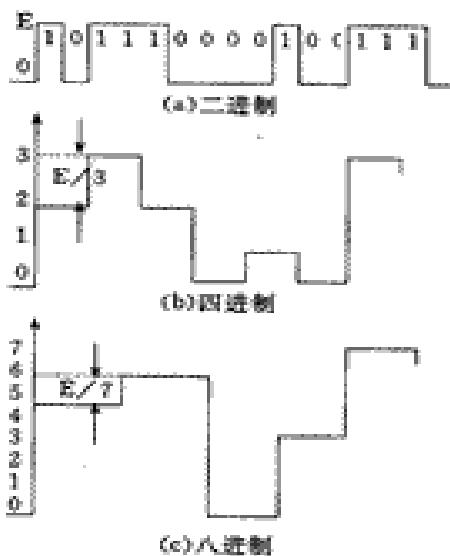


图 8-1 二进制与多进制波形示意图

- 数据传输的准确性和可靠性要求高；
- 传输速率高，要求接续和传输响应时间快；
- 通信持续时间差异大。

数据通信的发展与原有通信网资源有着密切的关系。在发展初期，主要利用专线构成多种专用系统。这一阶段发展速度很快，致使租用线路紧张，不能满足使用要求，因此就开始考虑利用电报、电话网进行数据通信。60年代初，美国首先对电话网进行调查、测试和研究，在电话网上开放了数据业务，到60年代中期，西欧、日本等技术先进的国家也先后在电话网上开放了数据业务。以后，随着数据业务的增长和通信技术的发展，到70年代，一些国家才逐步建立公用数据网。

### 8.1.2 数据通信系统的构成

研究数据通信系统包括两方面内容，一方面研究信道的组成、连接、控制及其使用，另一方面研究信号如何在信道上传输和控制。任何一个数据通信系统都是由终端、数据电路和计算机系统三种类型的设备组成的。图8-2是数据通信系统的基本构成。由图可看出，远端的数据终端设备（DTE）通过数据电路与计算机系统相连。数据电路由传输信道和数据电路终接设备（DCE）组成。如果传输信道是模拟信道，DCE的作用就是把DTE送来的数据信号变换为模拟信号再送往信道，或者反过来，把信道送来的模拟信号转换成数据信号再送到DTE。如果信道是数字的DCE的作用就是实现信号码型与电平的转换、信道特性的均衡，收发时钟的形成与供给以及线路接续控制等等。传输信道从不同角度有不同的分类方法，如有模拟信道与数字信道之分，有专用线路和交换网线路之分，有有线信道和无线信道之分，有频分信道和时分信道之分等等。

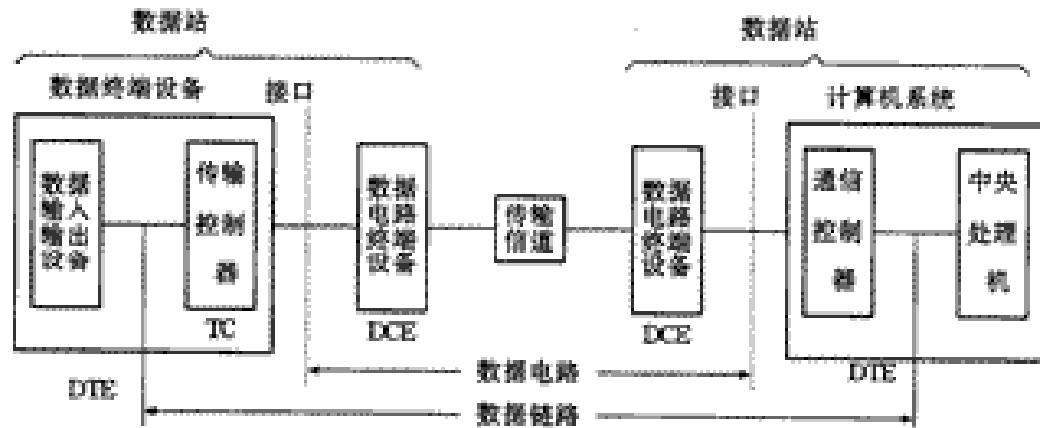


图 8-2 数据通信系统的基本构成

数据通信和传统的电话通信的重要区别之一是，电话通信必须有人直接参加，摘机拨号，接通线路，双方都确认后才开始通话。在通话过程中有听不清楚的地方还可要求对方再讲一遍，等等。在数据通信中也必须解决类似的问题，才能进行有效的通信。但由于数据通信没有人直接参加，就必须对传输过程按一定的规程进行控制，以便使双方能协调可靠地工作，包括通信线路的连接，收发双方的同步，工作方式的选择，传输差错的检测与校正，数据流的控制，数据交换过程中可能出现的异常情况的检测和恢复，这些都是按双方事先约定的传输控制规程来完成的，具体由图 8-2 中的传输控制器和通信控制器来完成。从图 8-2 中还可看到，数据电路加上传输控制规程就是数据链路。实际上，通信双方要真正有效地进行数据传输，必须在建立数据链路之后。正是由于数据链路要遵循严格的传输控制规程，使得它所提供的数据传输质量要比数据电路所提供的数据传输质量好得多。例如，后者的平均误码率为，而前者为。

### 8.1.3 数据通信的工作方式

根据数据电路的传输能力，数据通信可以有单工、半双工和全双工三种通信方式。

(1) 单工：两地间只能在一个指定的方向上进行传输，一个数据站固定作为数据源，而另一个固定作为数据宿。在二线连接时可能出现这种工作方式。

(2) 半双工：两地间可以在两个方向上进行传输，但两个方向的传输不能同时进行，利用二线电路在两个方向上交替传输数据信息。由 A 到 B 方向一旦传输结束，为使信息从 B 传送到 A，线路必须倒换方向。这种换向动作是由调制解调器完成的。

(3) 全双工：两地间可以在两个方向上同时进行传输。在四线连接中均采用这种工作方式。在二线连接中，采用某些技术（如回波消除，频带分割）也可以进行双工传输。

### 8.1.4 数据传输方式

#### (1) 并行传输与串行传输

并行传输指的是数据以成组的方式，在多条并行信道上同时进行传输。常用的就是将构成一个字符代码的几位二进制码，分别在几个并行信道上进行传输。例如，采用 8 位代码的字符，可以用 8 个信道并行传输。一次传送一个字符，因此收、发双方不存在字符的同步

问题，不需要另加“起”、“止”信号或其他同步信号来实现收、发双方的字符同步，这是并行传输的一个主要优点。但是，并行传输必须有并行信道，这往往带来了设备上或实施条件上的限制，因此，实际应用受限。

串行传输指的是数据流以串行方式，在一条信道上传输。一个字符的 8 个二进制代码，由高位到低位顺序排列，再接下一个字符的 8 位二进制码，这样串接起来形成串行数据流传输。串行传输只需要一条传输信道，易于实现，是目前主要采用的一种传输方式。但是串行传输存在一个收、发双方如何保持码组或字符同步的问题，这个问题不解决，接收方就不能从接收到的数据流中正确地区分出一个个字符来，因而传输将失去意义。如何解决码组或字符的同步问题，目前有两种不同的解决办法，即异步传输方式和同步传输方式。

### (2) 异步传输与同步传输

异步传输一般以字符为单位，不论所采用的字符代码长度为多少位，在发送每一字符代码时，前面均加上一个“起”信号，其长度规定为 1 个码元，极性为“0”，即空号的极性；字符代码后面均加上一个“止”信号，其长度为 1 或 2 个码元，极性皆为“1”，即与信号极性相同，加上起、止信号的作用就是为了能区分串行传输的“字符”，也就是实现串行传输收、发双方码组或字符的同步。这种传输方式的特点是同步实现简单，收发双方的时钟信号不需要严格同步。缺点是对每一字符都需加入“起、止”码元，使传输效率降低，故适用于 1200bit/s 以下的低速数据传输。

同步传输是以同步的时钟节拍来发送数据信号的，因此在一个串行的数据流中，各信号码元之间的相对位置都是固定的（即同步的）。接收端为了从收到的数据流中正确地区分出一个信号码元，首先必须建立准确的时钟信号。数据的发送一般以组（或称帧）为单位，一组数据包含多个字符收发之间的码组或帧同步，是通过传输特定的传输控制字符或同步序列来完成的，传输效率较高。

## 8.1.5 数据信号的基本形式

前面已介绍过数据信号是在时间上和幅度上都取有限离散数值的电信号即数字信号。最简单的数字信号是二元码或称二进制码，这种码的幅度只取两种不同的瞬时值。这种二进制码也分为单极性、双极性和归零、不归零四种不同的基本形式。从信号幅度取值的极性来区分有单极性和双极性码之分。如果信号的幅度取为 +1 和 0 就称为单极性二元码，这种码包含一定的直流分量。如果二元码幅度可以对称地取为 +1 和 -1（这里的 1 应理解为一个单位电压或电流），就称为双极性二元码，+1 和 -1 的取值均匀分布的双极性信号不包含直流分量。从信号电压是否占满整个符号持续期，还可以把二元码分为归零的和不归零的两类。归零的二元码是指信号电压只存在于局部的符号持续时间，其余时间内没有信号电压（即归零了），类似的，不归零的二元码则指信号电压填满了整个符号持续时间。单极、双极以及归零、不归零四种特征的不同组合，就形成四种二元码基本形式，

在二进制数字通信系统中，每个码元或每个符号只能是“1”和“0”两个状态之一。若将每个码元可能取的状态增加到 4、8、16... 等等，就需用 4、8、16... 进制等信号。例如四状态用 3、2、1 和 0 四种电平表示的四电平四进制信号。这里一个四进制符号代表两位二进制码组，八状态用八电平表示。

## 8.2 数据链路传输控制规程

### 8.2.1 数据链路

数据链路是数据电路加上传输控制规程，它由通信线路，调制解调器，终端及通信控制器之间的接口构成。国际标准化组织（ISO）定义数据链路为：按照信息特定方式进行操作的两个或两个以上终端装置与互连线的一种组合体。所谓特定方式是指信息速率与编码均相同。一个数据通信系统包括一个或多个数据链路。数据链路的结构分为点对点与点对多点两种，如图7-4所示。数据链路传输数据信息有三种不同的操作方式：

- 单向型。信息只能按一个方向传送；
- 双向交替型。信息先从一个方向，后从相反方向传送；
- 双方同时型。信息可在两个方向上同时传送。

数据链路中的DTE可能是不同类型的终端或计算机，从链路逻辑功能的角度，把这些不同类型不同功能的DTE统称为站。在点对点链路中发送信息或命令的站称为主站，接收信息或命令而发出认可信息或响应的站称为从站。同时能发送信息、命令、认可和响应的站称为组合站。在点对多点链路中，负责组织链路上数据流，并处理链路上所出现的不可恢复的差错的站称为控制站，而其余各站称为辅助站，控制站执行轮询、选择等管理功能，轮询是控制站有次序地询问各个辅助站接收信息的过程。

### 8.2.2 数据链路控制规程

数据通信的双方为有效地交换数据信息，必须建立一些规约，以控制和监督信息在通信线路上的传输和系统间信息交换，这些规则称为通信协议。数据链路的通信操作规则称为数据链路控制规程，它的目的是在已经形成的物理电路上，建立起相对无差错的逻辑链路以便在DTE与网路之间，DTE与DTE之间有效可靠地传送数据信息。为此，数据链路控制规程，应具备下面功能：

- 帧同步。将信息报文分为码组，采用特殊的码型作为码组的开头与结尾标志，并在码组中加入地址及必要的控制信息，这样构成的码组称为帧。帧同步的目的是确定帧的起始与结尾，以保持收发两端帧同步；
- 差错控制。由于物理电路上存在着各种干扰和噪声，数据信息在传输过程中会产生差错。采用水平和垂直冗余校验，或循环冗余校验进行差错检测，对正确接收的帧进行认可，对接收有差错的帧要求对方重发；
- 顺序控制。为了防止帧的重收和漏收，必须给每个帧编号，接收时按编号可以识别差错控制系统要求重发的帧；
- 透明性。在所传输的信息中，若出现了每个帧的开头、结尾标志字符和控制字符的序列，要插入指定的比特或字符，以区别以上各种标志和控制字符，这样来保障信息的透明传输，即信息不受限制；
- 线路控制。在半双工或多点线路场合，确定哪个站是发送站，哪个站是接收站，建立和释放链路的逻辑连接，显示站的工作状态；
- 流量控制。为了避免链路的阻塞，应能调节数据链路上的信息流量，决定暂停、停

止或继续接收信息；

- 超时处理。如果信息流量突然停止，超过规定时间，决定应该继续作些什么；
- 特殊情况。当没有任何数据信号发送时，确定发送器发送什么信息；
- 启动控制。在一个处于空闲状态的通信系统中，解决如何启动传输的问题；
- 异常状态的恢复。当链路发生异常情况时（如收到含义不清的序列，数据码组不完整或 超时收不到响应等），自动地重新启动恢复到正常工作状态。

你链路控制规程执行的数据传输控制功能可分为五个阶段。阶段1为建立物理连接（数据电路）。数据电路可分为专用线路与交换线路两种。在点对多点结构中，主要采用专线，物理连接是固定的。在点对点结构中，如采用交换电路时，必须按照交换网络的要求进行呼叫接续，如电话网的V.25和数据网的X.21呼叫接续过程。

阶段2为建立数据链路。建立数据链路，在点对点系统中，主要是确定两个站的关系，谁先发，谁先收，作好数据传输的准备工作。在点对多点系统中，主要是进行轮询和选择过程。这个过程也就是确定由哪个站发送信号，由哪个（些）站接收信息。

阶段3为数据传送。下面进入有效可靠地传送数据信息，如何将报文分成合适的码组，以便进行透明的相对无差错的数据传输。阶段4为数据传送结束，当数据信息传送结束时，主站向各站发出结束序列，各站便回到空闲状态或进入一个新的控制状态。

阶段5为拆线。当数据电路是交换线路时，数据信息传送结束后，就需要发出控制序列，拆除通信线路。

### 8.2.3 数据链路控制规程的种类

数据链路控制规程的种类根据所采用的帧同步技术，规程一般可分为两种。

#### (1) 面向字符规程

采用某些专用的字符来控制链路的操作，监视链路的工作状态。BSC与我国的基本型传输控制规程都属于这一类规程。

#### (2) 面向比特规程

采用特定的二进制标志序列作为帧的开始和结束，以一定的比特组合所表示的命令和响应实现链路的监控功能。命令和响应可以与信息一起传送。SDLC、ADCCP、HDLC、X.25都属于这类规程。

## 8.3 数据传输

### 8.3.1 数据传输的基本形式

#### 1. 基带传输

所谓基带，就是指电信号所固有的基本频带，简称基带。数字信号的基本频带是从0至若干兆赫，由传输速率决定。当利用数据传输系统直接传送基带信号，不经频谱搬移时，则称之为基带传输，这这种数据传输系统就称之为基带传输系统。

## 2. 频带传输

所谓频带传输，就是把二进制信号（数字信号）进行调制交换，成为能在公用电话网中传输的音频信号（模拟信号），将音频信号在传输介质中传送到接收端后，再由调制解调器将该音频信号解调变换为原来的二进制电信号。这种把数据信号经过调制后再传送，到接收端后又经过解调还原成原来信号的传输，称为频带传输。这种频带传输不仅克服了目前许多长途电话线路不能直接传输基带信号的缺点，而且能够实现多路复用，从而提高了通信线路的利用率。但是频带传输在发送端和接收端都要设置调制解调器，将基带信号变换为通带信号再传输。

## 3. 宽带传输

宽带是指比音频带宽更宽的频带。使用这种宽频带传输的系统，称为宽带传输系统。它可以容纳全部广播，并可进行高速数据传输。宽带传输系统多是模拟信号传输系统。

一般说，宽带传输与基带传输相比有以下优点：

- 能在一个信道中传输声音、图像和数据信息，使系统具有多种用途；
- 一条宽带信道能划分为多条逻辑基带信道，实现多路复用，因此信道的容量大大增加；
- 宽带传输的距离比基带远，因基带直接传送数字，传输的速率愈高，传输的距离愈短。

## 4. 数字数据传输

数字数据传输方式就是利用数字信道传输数据的方法，采用数字信道，每一数字话路的数据传输速率为64kbit/s，所以，每一话路可复用5路9600bit/s或10路1800bit/s的数据，并不需要采用调制解调器（MODEM），误码率又较低，从而提高了传输的速率和质量。当传输距离较长时，由于数字信道每隔一定距离就要插入再生中继器，使信道中引入的噪声和信号失真不会积累，从而大大提高传输质量。当然，采用数字传输要求全网的时钟系统保持同步，因此这种数字数据传输方式的灵活性不如模拟传输方式。

### 8.3.2 数字数据传输的基本原理

如上面所述，利用PCM数字信道传输数据信号，首先要解决的问题是数据信号如何进入PCM话路的问题，下面按同步和异步两种情况分别说明。

#### （1）同步方式

利用PCM数字信道传输数据，如果数据信号与数字端局的时钟是同步的，这时，数据终端输出的数据信号是受PCM信道时钟控制的，因此只需对数据信号进行多路化处理即可。这里数据终端设备处于受控制的从属地位，因此灵活性差。

#### （2）异步方式

如果数据信号与数据端局时钟是异步的，这时数据信号可采用填充方式复用到64kbit/s的集合信号。

填充方式可分为比特填充、字符填充和包封三种方式。

比特填充方式：当同步数据信号与数据端局的时钟是异步关系时，可以用缓冲存储器使输入输出信号同步。其原理是首先将多路数据信号复用成一次群，然后以其脉冲速率将一次群

输入数据信号寄入缓存器。当输入速率比缓冲存储器的读出速率稍慢时，会出现信号尚未到达就要读出的情况，这时就要插入填充脉冲，并把填充脉冲的信息传到接收端。接收端收到填充指示信息就抹去该填电路交换，充脉冲，然后把脉冲展成一定间隔，从而恢复原始数据信号。这种方法只限于传输同步数据信号。

**字符填充方式：**当异步起止式数据信号与数据端局时钟是异步关系时，为了实现同步多路化传输，把输入的数据信号的起止码元去掉，并插入控制比特S。如果是5单位码，原信号一个字符为7.5个码元，改变后变为6个码元，为了速率匹配，可在每4个数据字符之后，插入一个填充字符Si（该字符由1位控制比特和5位信息比特组成），每个字符的控制比特标明该字符是数据还是填充字符。利用这种方法，可以把60个50波特信号和一个200波特信号组合成3.2kbit/s的复用信号，这种方法对字符转接的数据交换系统很适用。

**包封方式：**按照CCITT X.50或X.51建议，将同步的用户数据流复用成64kbit/s的集合信号。X.50建议规定采用(6+2)的包封格式，X.51建议规定采用(8+2)的包封格式。这种方法是把等时数据信号分成一系列6比特组（或8比特组），对每个6比特组（或8比特组）再填加上帧同步比特F和状态比特S构成(6+2)或填加上包封同步比特A和状态比特S构成(8+2)的包封结构。每个包封称为一个字包，如图7-6所示。多路复用信号就是以8比特包封为单位相互交织构成串行数据流。

## 8.4 数据通信网的交换方式

对于计算机和终端之间的通信，交换是一个重要的问题。如果我们想使用任何遥远的计算机，若没有交换机，只能采用点对点的通信。为避免建立多条点对点的信道，就必须使计算机和某种形式的交换设备相连。交换又称转接，这种交换通过某些交换中心将数据进行集中和转送，可以大大节省通信线路。在当前的数据通信网中，有三种交换方式，那就是电路交换、报文交换和分组交换。一个通信网的有效性、可靠性和经济性直接受网中所采用的交换方式的影响。

### 8.4.1 电路交换

在数据通信网发展初期，人们根据电话交换原理，发展了电路交换方式。当用户要发信息时，由源交换机根据信息要到达的目的地址，把线路接到那个目的交换机。这个过程称为线路接续，是由所谓的联络信号经存储转发方式完成的，即根据用户号码或地址（被叫），经局间中继线传送给被叫交换局并转被叫用户。线路接通后，就形成了一条端对端（用户终端和被叫用终端之间）的信息通路，在这条通路上双方即可进行通信。通信完毕，由通信双方的某一方，向自己所属的交换机发出拆除线路的要求，交换机收到此信号后就将此线路拆除，以供别的用户呼叫使用。

由于电路交换的接续路径是采用物理连接的，在传输电路接续后，控制电路就与信息传输无关，所以电路交换方式的主要优点是：数字电视原理与实现①信息传输延迟小，就给定的接续路由来说，传输延迟是固定不变的；②信息编码方法、信息格式以及传输控制程序等都不受限制，即可向用户提供透明的通路。

电路交换的主要缺点是电路接续时间长、线路利用率低，目前电路交换方式的数据通信网是利用现有电话网实现的，所以数据终端的接续控制等信号要作到与电话网兼容。

### 8.4.2 报文交换

60年代和70年代，在数据通信中普遍采用报文交换方式，目前这种技术仍普遍应用在某些领域（如电子信箱等）。为了获得较好的信道利用率，出现了存储—转发的想法，这种交换方式就是报文交换。它的基本原理是用户之间进行数据传输，主叫用户不需要先建立呼叫，而先进入本地交换机存储器，等到连接该交换机的中继线空闲时，再根据确定的路由转发到目的交换机。由于每份报文的头部都含有被寻址用户的完整地址，所以每条路由不是固定分配给某一个用户，而是由多个用户进行统计复用。

报文交换中，若报文较长，需要较大容量的存储器，若将报文放到外存储器中去时，会造成响应时间过长，增加了网路延迟时间。另一方面报文交换通信线路的使用效率仍不高。

### 8.4.3 分组交换

分组交换与报文交换都是采用存储分组交换与报文交换都是采用存储转发交换方式，即首先把来自用户的信息暂存于存储装置中，并划分为多个一定长度的分组，每个分组前边都加上固定格式的分组标题，用于指明该分组的发端地址、收端地址及分组序号等。

以报文分组作为存储转发的单位，分组在各交换节点之间传送比较灵活，交换节点不必等待整个报文的其他分组到齐，一个分组、一个分组地转发。这样可以大大压缩节点所需的存储容量，也缩短了网路时延。另外，较短的报文分组比长的报文可大大减少差错的产生，提高了传输的可靠性。

## 8.5 分组交换数据网

### 8.5.1 分组交换的基本原理

由数据终端设备A发出的数据信息，通过用户线送到交换机（节点机）a暂时存储，在交换机a内分成具有一定长度的分组并在每一分组前边加上指明该分组发端地址、收端地址及分组序号的分组标题。

交换机a为了把这分组转发给接收局交换机γ，就需要选择空闲路由。可以根据交换网的状态给每个分组选择不同路由，一般不会出现仅仅因为某一路由过忙而不能转发的情况。

分组数据到达终点局的交换机γ后，再按照接收地址来分发。由于各分组数据是经过各自的路由转送来的，所以它们未必能按照A B C的先后顺序到达。因此，交换机γ应按分组的序号重新排列，最后，通过用户线将数据送至数据终端设备C。

以上所讲是分组交换网中数据报方式，因为每一个数据分组都包含终点地址信息，分组交换机为每一个数据分组独立地寻找路径。因一份报文包含的不同分组，可能沿着不同的路径到达终点，在网路终点需要重新排序。

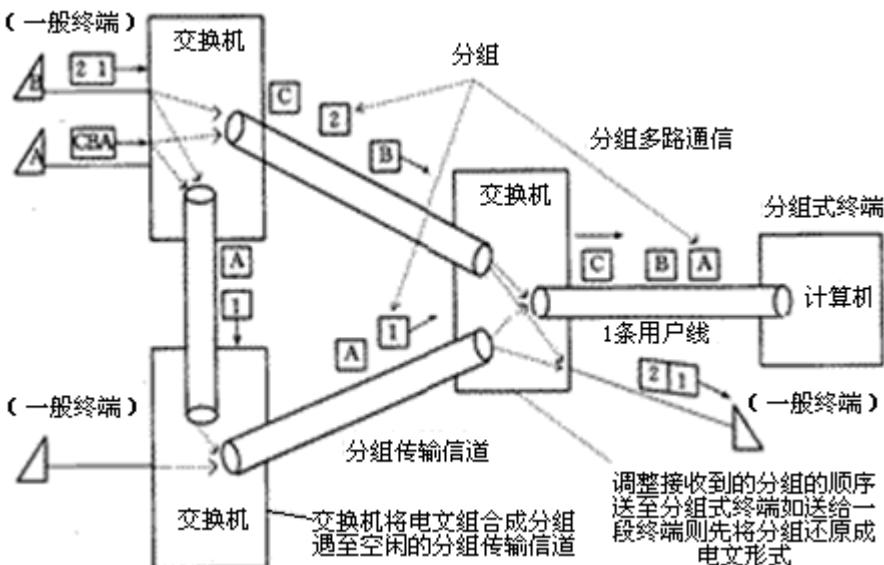


图8-3 分组交换概念示意图

在分组交换网中还有另外一种方式，叫做虚电路方式。所谓虚电路，就是两个用户终端设备在开始互相发送和接收数据之前，需要通过网路建立逻辑上的连接，一旦这种连接建立之后，就在网路中保持已建立的数据通路，用户发送的数据（以分组为单位）将按顺序通过网路到达终点。当用户不需要发送和接收数据时，可以清除这种连接。

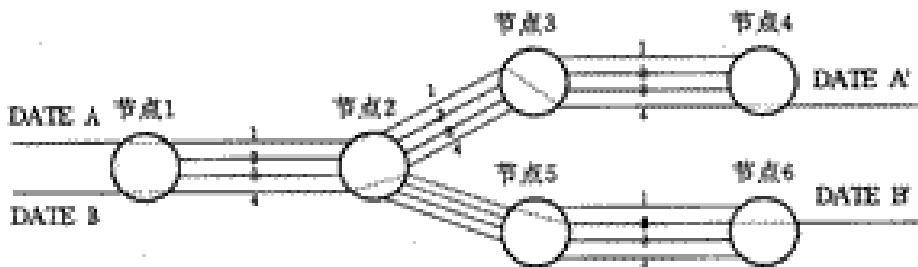


图8-4 逻辑信道与虚电路的概念

虚电路的概念可以用图8-4说明。在分组网中，从源终端传到目的终端中间经过若干交换节点，各节点间在一条物理信道上有许多条逻辑信道，它们是按统计复用实现复用的，如图中1、2、3、4条逻辑信道。所谓逻辑信道，是指在两个节点之间，在通信协议中对等层之间的一种连接。在一条逻辑信道两端的交换机节点中，都对应分配一定的存储空间，在每个分组中都标明了所走的逻辑信道号。如当呼叫用户A要与A'通信时，A与A'通过节点1、2、3、4建立虚电路连结，而各节点之间的逻辑信道号是不一样的，如图所示，节点1与节点2之间利用逻辑信道1，节点2与节点3之间利用逻辑信道1，节点3与节点4之间利用逻辑信道4。

虚电路方式有几个特点。

(1) 一次通信具有呼叫建立、数据传输和呼叫清除三个阶段。数据分组中不需要包含终点地址，对于数据量较大的通信传输效率高。

(2) 数据分组按建立的路径顺序通过网路，在网路终点不需要对数据重新排序，分组传输时延小，而且不容易产生数据分组的丢失。

(3) 当网路中由于线路或设备故障时，可能导致虚电路的中断，需要呼叫，建立新的连接。但是，现在许多采用虚电路方式的网路，已能提供呼叫重新连接的功能。当网络出现故障时，将由网络自动选择并建立新的虚电路，不需要用户重新呼叫，并且不丢失用户数据。

虚电路可以是临时连接，也可以是永久连接。临时连接称为交换虚电路，用户终端在通信之前必须建立虚电路，通信结束后就拆除虚电路。永久连接的称为永久虚电路，用户如果向网路预约了该项服务之后，就在两个用户之间建立永久的虚连接，用户之间的通信直接进入数据传输阶段，就好象具有一条专线一样，可随时传送数据。分组交换技术可以进行路由选择、流量控制，以保证网路内的数据流量的平滑均匀，提高网路的吞吐能力和可靠性，防止阻塞现象的发生。

## 8.5.2 分组交换网的通信协议

### 1. 协议概念和层次结构

为了将众多不同功能、不同配置及不同使用方式的终端设备和计算机互连起来共享资源，就需要找到为解决它们之间互连而协商一致的原则。不同地理位置上两个实体相互通信，需要通过交换信息来协调它们的动作和达到同步，而信息交换必须按照预先共同约定好的过程进行，这种预先建立的原则、约定和标准就称为网路协议。

协议是指系统间互换数据的一组规则，主要是关于相互交换信息的格式、涵义、节拍等。协议的制定和实现采用层次结构，即将复杂的协议分解为一些简单的分层协议、再组合成总的协议。协议分层总括起来有以下好处：

- 各层之间是独立的，任何一层不需要知道下面一层是如何实现的，只需知道下一层所提供的服务和本层向上一层所提供的服务；
- 灵活性好，任何一层发生变化，只要接口关系保持不变，其他各层均不受影响；
- 结构上可以隔开，各层都可采用最合适的技术来实现；
- 易于实现和维护。

### 2. 开放系统互连参考模型（RM/OSI）

为了互连就需要有一个共同的网路体系结构和技术标准，所谓开放就是背景只要遵循OSI标准，一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循这同一标准的其他系统通信。开放系统模型分层分两步进行。第一步，把全部功能划分为数据传输功能和数据处理功能，数据传输功能为数据处理功能提供传送服务。第二步，把上述两项功能进一步划分，设置七层，如图 7—9所示。

参考模型中的七层分别为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。下面简述每层的功能。

(1) 物理层控制节点与信道的连接，提供物理通道和物理连接以及同步，实现比特信息的传输。物理层协议规定“0”和“1”的电平是几伏，一个比特持续多长时间，DTE与DCE接口采用的接插件的形式等等。

(2) 数据链路层是两个通信实体之间一条点一点式信道，包括数据传输电路和数据电路终接设备。数据链路层协议保证数据块从数据链路的一端正确地传送到另一端，使用差错控

制技术来纠正传输差错，按一定格式成帧。

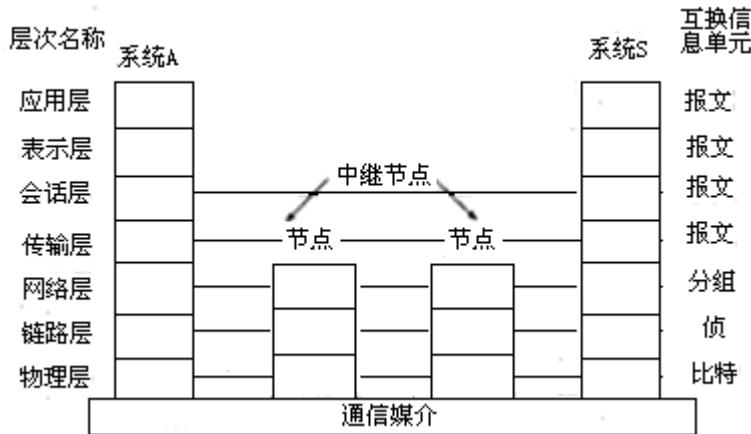


图8-5 OSI开放系统七层参考模型

(3) 网络层用于控制通信子网的运行，管理从发送节点到收信节点的虚电路。协议规定网络节点和虚电路的一种标准接口，完成网络连接的建立、拆除和通信管理，包括路由选择、信息流控制、差错控制以及多路复用等。

(4) 传输层是主计算机—主计算机层，或者说端—端传输控制层。传输层的主要功能是建立、拆除和管理传送连接。

(5) 会话层是用户进网的接口，着重解决面向用户的功能，例如会话建立时，双方必须核实对方是否有权参加会话，由哪一方支付通信费用，在各种选择功能方面取得一致。

(6) 表示层主要解决用户信息的语法表示问题。表示层将数据从适合于某一用户的语法，变换为适合于OSI系统内部使用的传送语法。

(7) 应用层的功能是假定网路上有很多不同形式的终端，各种终端的屏幕格式都不同，应用层就要设法转换。

### 3. RM/OSI的数据流程

在介绍RM/OSI的数据流程之前，先介绍一个类比的例子。设有两个体制完全相同的单位，各单位分别设有主任、班长、组长、办事员。他们的工作方法很机械，下级只向他的直接上级报告情况，上级只能要他的下级办事。两个单位的主任、班长、组长都不能直接往来，但可通过书信协商工作，且仅接收对方对应职位人员的信件，唯一能直接见面的是双方的办事员。这种甲、乙两单位协商办事的方式如图7-10所示。甲主任要和乙主任协调事宜，必须通过信函，并将信封在信封内交给甲班长；甲班长拿出与乙班长通信的专用信封（否则乙班长不收），将甲主任的信装入其中，并将它交给甲组长；甲组长将其装入给乙组长的专用信封中交给甲办事员，让他交给乙方办事员。乙办事员收到信后送给乙组长；乙组长检查信封，是甲组长的信封才接收，并剥去信封查看内容，若是给自己的就自行处理，若是给上级的就给乙班长；乙班长收到信后也按相同的方法处理，直至把信送给乙方主任为止。按RM/OSI模型设计的网络系统的通信过程与上例类似，其数据流程如图7-11所示。用户数据送入应用层后，该层给它附加控制信息H7后送表示层。表示层可能要对数据作适当变换（如代码转换、数据压缩）后附加控制信息H6再送会晤层。会晤层加上控制信息H5送传输层。传输层可能

要把长报文分成若干段，给每段加上控制信息H4后送网络层。网络层加上控制信息H3形成报文分组送数据链层。数据链层给报文分组附加头H2和尾T2形成帧（Frame），经物理层发送到对方。对方系统则进行上述过程的逆处理，直至将数据送给用户进程为止。

#### 4. CCITTX 系列建议

##### (1) X系列建议概述

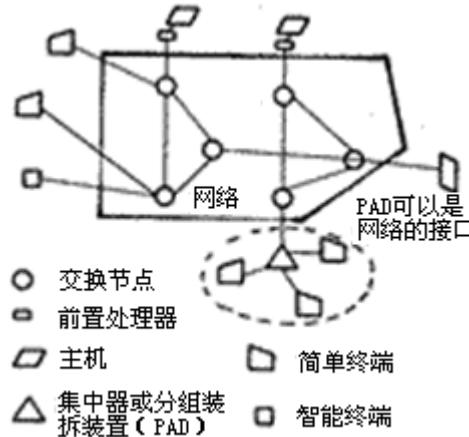


图8-6 公用分组数据网

如图8-6所示的公用数据网，是为计算机之间进行通信，以及为远程终端接入计算机提供一种公共的手段。公用数据网由若干起交换作用的节点机组成。节点机的任务是把分组数据送到目的地。CCITT制定了X 系列建议。

X系列建议编号主要内容：

- x.3 公用数据通信网分组装/拆（PAD）功能
- x.20 公用数据通信起止式传输业务用的DTE与DCE之间的接口
- x.20bis 公用数据网内可与V.21建议兼容的，起止式DTE与DCE之间的接口
- x.21 公用数据网内同步式DTE与DCE之间的接口
- x.21bis 为与同步式V系列调制解调器接口设计的数据终端设备在公用数据网 内的应用
- x.24 公用数据网上DTE—DCE间的接口电路定义表
- x.25 报文分组型公用数据网DTE—DCE接口

##### (2) X.25建议

X.25建议为公用数字网上以分组方式工作的终端规定了DTE与DCE之间的接口。这里DTE是用户终端设备，DCE是数据通信设备，它能把DTE定义的信号转换成适合在传输线路上传输的信号，但从X.25意义上讲，DCE则是与DTE连接的入口节点或节点交换机。

X.25标准为用户（DTE）和分组交换网路（DCE）之间建立对话和交换数据提供一些共同的规程，这些规程包括数据传输通路的建立、保持和释放，数据传输的差错控制和流量控制，防止网路发生阻塞等等，对于非分组终端，需要用规程转换器，也就是分组拆/装设备（PAD）转换成X.25接口规程，或者由网路设备（如交换机）完成规程转换。X.25中规定了三个独立的级，即物理级、链路级、分组级。这三级与OSI参考模型的一、二、三层基本上

是一致的。

### (3) 分组装/拆 (PAD) 功能 (X.3、X.28协议)

目前还有大量简单终端，或称异步终端和字符终端，它们只能发送和接收字符流，为此，CC ITT制定的分组装/拆即PAD标准。PAD的基本功能是：①虚电路的建立与释放；②将来自终端的字符装配成适当分组，以便发往终点主计算机；③将来自主机的数据分组拆成字符流，送往终端；④可以进行分组或字符的转发。从层次结构的角度来看，PAD功能是在X.25的低三层协议之上所提供的终端控制功能。

### (4) 接口协议

为使网路能连接各式各样的终端和主机及其他通信网，网路必须能支持比较齐全的终端协议与网间协议。

## 5. 用户终端与分组交换网路和连接

### (1) 分组终端

它与交换机连接时，具有分组处理能力，例如带X.25规程的计算机、微机、专用终端、规程转换器等设备，可以看作为分组终端。

- x.26在数据通信领域内通常与集成电路设备一起使用的不平衡双流交换电路的电特性；
- x.27在数据通信领域内通常与集成电路设备一起使用的平衡双流交换电路的电特性；
- x.28公用数据网中，对于存取报文分组的分组装/拆设备的起止式DTE—DCE 的接口；
- x.29公用数据网中，分组式终端与分组装、拆功能之间的控制信息及用户数据的交规程；
- x.75在分组交换的公用数据网内的国际电路上用于传递数据的终端和经转接呼叫的制规程。

非分组终端（NPT）。它不具有分组数据处理能力，对它们不能直接进行分组交换，必须经过PAD转换，不管PAD是放在网里面，还是放在网外面。非分组终端的种类很多，如带有异步通信接口的计算机、微机、键盘打印机、键盘显示器、电传机、可视图文终端等。

### (2) 用户终端与网路的连接方式

租用专线。租用专线可以是本地（或市内）专线，也可以是长途专线，连接方式有二线制和四线制。

经过电话网。分组终端经电话网和分组交换机相连采用X.25规程。虽然二者规程不同，但物理连接方式类似，均采用带有自动应答的调制解调器。但分组终端采用同步调制解调器，异步终端采用异步调制解调器。这种调制解调器的操作可选择人工呼叫，自动应答方式，或者自动呼叫、自动应答方式。

## 6. 网间互连

随着网路的急剧增加，功能不断增强，终端用户常常需要访问一个以上的网路。例如，一个通常使用网路A终端，可能需要访问连在网路B上的一台计算机的数据库，这时，这种端到端服务就要求网路A和网路B进行互连。这一特性就称为网间互连，当前有以下几种网间互

连。

### (1) 公用分组网之间互连

CCITT建立了X.75协议作为分组网之间互连标准。X.25是分组网间互连信令规程。它规定了两个信令终接设备(STE)之间的接口规STE可看作为具有网间接口功能的分组交换机，它们可以直接连接。如果两个网路没有统一的接口，就需通过网点设备也就是网路协议转换器互连。这种情况当多种网络互连，实现起来很麻烦。现在人们又研究了一种网间互连协议(IP)，它在网络层之上，使用IP简化了不同接口协议网路之间的网点设计。

### (2) 公用分组交换网与专用分组交换网的互连

专用分组网和公用分组网之间，从技术上讲可以采用X.75规程互连，也可以采用X.25规程互连(两网互为终端用户的互连方法)，此时专用网号用的是端口号，而专用网内的地址由子地址来进行编址。

### (3) 分组交换网与电话网的互连

电话网四通八达，如果数据用户能够通过电话网与分组交换网连接，实现和分组网相连的其他用户之间的通信，将会使分组交换网的资源获得更充分的应用，而且大大方便了用户。

电话网把分组网特定的一些端口作为它的用户，并分配给它电话号码。公用分组交换网通常都指定多少端口用于与电话网的连接，其中用于同种通信规程和同种速率的一组接口可以使用同一电话号码。用户通过电话网接入分组网与通过专线接入组网的情况相似，也要通过调制解调器。

## 本章总结

学习完本章，学生应该掌握：

- ◆ 掌握数据通信的基本理论
- ◆ 掌握数据链路传输控制规程
- ◆ 掌握数据传输基本原理
- ◆ 掌握数据通信的交换方式
- ◆ 掌握分组交换数据网原理

# 第9章 数字机顶盒

## 本章目标

本章结束时，学生能够：

- ◆ 掌握数字机顶盒整体构架
- ◆ 掌握数字机顶盒硬件结构
- ◆ 掌握数字机顶盒软件结构
- ◆ 掌握几种常见的数字机顶盒方案

### 9.1 数字机顶盒概述

#### 9.1.1 数字机顶盒定义

机顶盒是目前信息家电中至关重要的技术设备。目前机顶盒的功能已从一个多频率的调谐器和解码器跃升为大量电影、多媒体事件、新闻等联机数据库的一个控制终端。本文在介绍数字机顶盒定义、功能及分类后，着重介绍了北广电子集团目前开发的几款数字机顶盒的关键技术。

数字电视用户接收端的功能是接收接收卫星、有线或地面电视前端发送的数字电视射频信号，经过信道解码，信源解码将传送的数字码流转换到原来压缩前的形式，送到显示器进行显示，以供用户收看。根据卫星、有线电视和地面广播方式的不同，接收机分为卫星 IRD (Integrated Receiver Decoder，综合解码接收机)，有线 IRD 和地面广播 IRD。三者使用的通道调制方式不同，卫星通道采用 QPSK 调制解调；有线大多采用 QAM 调制解调；地面广播欧洲使用 COFDM 调制解调；美国使用 VSB 调制解调。根据使用场合的不同，又分为家用和商用 (CONSUMER AND COMMERCIAL) 两种，前者适用于家庭，如有遥控、屏幕显示功能；而后者往往用于有线前端集体接收，要求更高的质量和更多的接口，以供设备间的连接，如数字传送码流输出口接到再复用器等应用。同时商业应用也要求更高的可靠性。

目前用户接收端采用两种方式：一种是分体机接收方式，即数字电视机顶盒加模拟电视接收机，其中接收 HDTV 必须有 HDTV 机顶盒和兼容 HDTV 显示格式的电视机，我们把兼容 HDTV 信号的电视机称为 HDTV-ready 电视（有时又称为 Digital-ready 或者 HD-Compatible），由于它没有内置解码器，所以并不接收数字信号，它可以接收并正确显示出机顶盒接收解码并经视频编码以后的 HDTV 图像格式信号。另一种是一体机接收方式，即直接使用数字电视机，就是电视显示器内置机顶盒（信道解码、信源解码、条件接收）的完整功能，高清一体机的标识为 HDTV receiver。

采用分体机方式接收针对不同的传输途径传输的数字电视需要不同的机顶盒。例如卫星直播(DTH)用户接收系统由一个小型卫星接收天线和综合接收解码器(IRD)及智能卡(Smart Card)组成。DTH 用户接收天线的一般不超过 1 米，可放置于普通家庭中用于数字电视接收。DTH 中的机顶盒(IRD)负责四项主要功能：解码节目码流，并输出到电视机上；利用智能卡中的密钥进行解密；接收并处理各种用户命令；下载并运行各种应用软件。接收有线数字电视和地面数字电视广播需要有线数字电视机顶盒或地面数字电视机顶盒及智能卡。目前，国内一般采用分体机的方式收看数字电视信号。

数字机顶盒(Set Top Box, STB)是扩展电视机功能的一种新型家用电器。它是利用有线电视网络作为传输平台，电视机作为用户终端，把卫星直播数字电视信号、地面数字电视信号、有线电视网数字信号甚至互联网的数字信号转换成模拟电视机可以接收的信号，观看数字电视节目，进行交互式数字化娱乐、教育和商业化活动的消费类电子产品。

### 9.1.2 数字机顶盒分类

根据传输媒体的不同，数字电视机顶盒又分为卫星数字电视机顶盒(DVB-S)、地面数字电视机顶盒(DVB-T)和有线数字电视机顶盒(DVB-C)三种，目前北广电子集团已经拥有完整的数字机顶盒产品链，已经能够自主研发和生产符合各种需求的不同规格、不同档次的系列产品。

#### 1. 数字卫星机顶盒

此类机顶盒又称为综合业务接收机，用来接收数字卫星电视节目。我们所看的许多卫视节目都是有线电视台通过专业的 IRD 从卫星接收下来，再通过有线电视送入用户家中的。目前，数字卫星机顶盒基本采用 DVB-S 标准，目前，北广电子集团在该产品领域开发出低成本的基于海尔方案的 DVB-S 机顶盒主流产品。

#### 2. 数字地面机顶盒

数字地面机顶盒的功能与数字卫星机顶盒类似，所不同的只是传输介质由卫星信道变成了地面广播信道。该类机顶盒所使用频率与有线电视频率相同，但由于无线信道的情况比有线电视网络复杂得多，所以它的信号传输技术与数字有线电视机顶盒也有较大差别。

目前，国内由于种种原因，地面数字电视标准迟迟未能确定下来，但是北广电子集团针对不同的市场需求，已经开发出符合欧洲 DVB-T 标准和清华 DMB-T 标准的多款机顶盒，目前主力方案是以富士通方案为平台的 DVB-T 机顶盒和以海尔方案为平台的 DVB-T、DMB-T 机顶盒。

#### 3. 数字有线电视机顶盒

数字有线电视机顶盒的基本原理与数字卫星机顶盒、数字地面机顶盒相同，只是信号传输介质是有线电视广播所采用的全电缆网络或光纤/同轴混合网。由于有线电视网络较好的传输质量以及电缆调制解调器技术的成熟，使得该类机顶盒可以实现各种交互式应用，并被业界广泛看好。

目前，北广电子集团有线电视机顶盒产品丰富，拥有多种适合不同市场、不同消费定位的多款机顶盒产品，例如，面对“村村通”工程需求的海尔方案的 DVB-C 机顶盒，面向省市需求的基于富士通方案的 DVB-C 机顶盒，还有针对高端客户需求的基于 CONEXANT 方案 DVB-C 机顶盒，该款机顶盒就可以开展双向点播业务。

## 9.2 机顶盒的硬件结构

从数字电视机顶盒的构成上看，主要包括硬件和软件两大部分。从结构上看，机顶盒一般由主芯片、内存、调谐解调器、回传通道、CA（Conditional Access）接口、外部存储控制器以及视音频输出等几大部分构成。

### 9.2.1 调谐解调器

调谐解调器部分的作用是将传输过来的调制数字信号解调还原成传输流，调谐解调器的不同就构成了不同的数字机顶盒，例如用于 QPSK 解调的卫星机顶盒（DVB-S），用于 QAM 解调的有线数字机顶盒（DVB-C）以及用于 OFDM 解调的地面传输数字机顶盒（DVB-T）。目前市场上比较流行的调谐解调器的生产厂商有 Thomson、Sharp 等，国内虽然也有一些厂商生产调谐解调器，但市场份额很小。

### 9.2.2 主芯片

随着芯片技术的发展，越来越多的厂家将机顶盒的功能更多地集成在一个主芯片里，例如现在大部分厂商都将 CPU、解码器、解复用器、图形处理器与视音频处理器集成在芯片中，甚至一些以 Philips 为代表的芯片厂商将调谐解调器也集成在芯片中，形成一体化的芯片解决方案，有效地降低了器件成本并提高了可靠性。

在主芯片中，首先根据传输流所传递的标志信息对接收到的传输流进行解复用，然后根据 CA 智能卡所传递的解扰信息对节目流进行解扰，解扰后的 TS 流送到视音频解码器中分别对其进行解码，然后再编码还原成 AV 信号进行输出，同时，也分离出复用在 TS 流中的各类系统数据表，送给机顶盒处理器分别输出。

另外，由于在主芯片中集成了 CPU 和图形管理器，使机顶盒可以完成更多的功能，它可以运行各种软件完成诸多任务，例如股票接收、网页浏览等，也可以通过图形管理器实现 2D 甚至 3D 的图形处理，为用户提供更美观的界面，实现交互式游戏等各种高画质应用。

由于 CPU 是主芯片的核心，因此通常情况下 CPU 的性能就决定了主芯片的性能。CPU 的性能一般是由主频决定的，主频越高则 CPU 的性能也越高。目前最快的 CPU 主频已经超过了 400MIPS，即使是目前市场上流行、最基本的机顶盒中 CPU 的主频也超过了 50MIPS。CPU 速度同运行其上的业务系统有着必然的联系，如果需要在一个 STB 中运行一个 HTML 浏览器，100 MIPS 可能就是对 CPU 的最低要求，当然这还需要内存的配合。

### 9.2.3 内存

在某些方面，机顶盒同 PC 机有很多相似之处，甚至可以说是一台简化了的 PC 机，两者最相似之处就是内存。对机顶盒而言，内存主要分为 Flash 内存和 SDRAM 内存。Flash 用来存储机顶盒的系统软件、驱动软件、应用程序以及一些用户信息，在系统断电时内容还可保留，同时 Flash 可以通过在线的方式对其上所载的软件进行更新，达到机顶盒软件升级的目的。SDRAM 主要是用来存储应用数据。机顶盒的许多功能都需要内存来实现，例如图形处理、视音频解码和解复用等，不同的应用需求，内存的大小配置也各不相同。容量大的 Flash

和 SDRAM 的配置虽然可以为将来的业务系统预留足够的内存空间，但内存并不是决定软件能否运行的因素，它需要配合 CPU 来工作，不切合实际的高配置只会造成资源浪费，而无助于 STB 性能的提高。

#### 9.2.4 外部存储设备

外部存储设备一般指外挂式硬盘，大容量的硬盘可以用于存储节目流以满足用户的个性化需求。一个 STB 中能否外挂硬盘一般都是由主芯片所决定的，只有 CPU 的处理能力达到一定程度时才有可能支持硬盘的读写，而硬盘的读写也需要更多的内存空间。

#### 9.2.5 智能卡接口

通过读卡器读取 CA 智能卡中的数据用于数字电视节目的解扰，特别是在付费电视发展的今天，这是大多数 STB 必不可少的部件。除了标准的读卡器外，在有些 STB 中也采用通用接口 CI (Common Interface) 来完成对 CA 智能卡的读取。CI 是一个由 DVB 组织为机顶盒和分离的硬件模块之间定义的标准接口。这种起源于 PCMCIA 的技术应用，使机顶盒可以批量生产，也为机顶盒带来了变化，有着广泛的应用前景。

#### 9.2.6 回传通信接口

随着机顶盒应用的扩展，使用户对机顶盒的需求已经不单单停留在简单地收看视音频节目上了，交互式的需求使机顶盒中内嵌了回传设备，这些设备可以包括网络适配器、调制解调器等通信接口，用于满足用户将信息回传到前端。

#### 9.2.7 其他设备接口

新技术的发展使机顶盒的物理接口也不断地增加，如 RS232 接口、红外遥控器接口、无线键盘接口、Wi-Fi 接口等等，使 STB 可以同摄像机、DVD、PDA 等众多设备进行连接。

### 9.3 机顶盒的软件系统

机顶盒作为一个客户端系统，除了要具有良好的硬件平台外还需要配备不同的软件系统才能使其完成各种任务。机顶盒中的软件可以分成三个主要的层：应用层、中间解释层和驱动层，每一层都包含了诸多的程序或接口等。

#### 9.3.1 驱动层

驱动层包括机顶盒硬件的驱动程序和 API 接口，它主要用于完成对硬件设备的操作。

#### 9.3.2 中间解释层

中间解释层将 STB 的应用程序指令翻译成 CPU 能识别的指令，从而通过驱动层去调动

硬件设备完成相应的操作。该层包括嵌入式操作系统、中间件、CA 驻留软件等。虽然中间件的使用可以给 STB 软件的设计和应用带来极大好处，但高昂的使用费用，对硬件需求的增加以及技术上的不成熟使中间件在国内鲜有应用。目前许多软件设计者采用直接调用驱动层的软件来编写应用程序，这虽然可以满足一时的需求，但随着应用需求的增加，在 STB 中使用中间件才是一个很好的解决方案。

### 9.3.3 应用层

应用层可以分成驻留应用程序和可下载应用程序两部分，不同的 STB 软件设计理念使这两个部分包含的应用程序也不尽相同，合理规划这两部分的组成将有助于提高 STB 的可靠性和响应时间。目前国内机顶盒中的应用较少，主要以 EPG、数据广播、股票、简单的下载游戏等为主，而数字电视的魅力并不在于看电视，而在于这种基于数字电视平台的业务应用，这些应用将会改善人们的一些日常生活习俗。随着双向网络的建设，交互式应用的普及，基于交互式的应用软件也将越来越多，这也会给运营商带来难以预料的增值收入。

## 9.4 机顶盒的分类与应用

机顶盒的分类没有一个统一的标准，一般可分为标准清晰度（SD）和高清晰度（HD）两种级别，每种级别按照业务和功能划分为基本型、增强型、高级型三种类型。基本型机顶盒能满足免费数字电视业务和付费电视业务的基本功能，不支持数据浏览和其他应用，例如具备授权数字电视节目的接收、基本电子节目指南（EPG）等；增强型机顶盒在基本型机顶盒功能的基础上，能满足按次付费业务、数据广播业务等功能；高级型机顶盒在增强型机顶盒功能的基础上，能满足视频点播业务、上网浏览业务、电子邮件收发业务、互动游戏等功能。所谓的基本型和增强型往往都是使用同一个硬件平台，不同的只是软件而已，虽然也有厂商宣称他们的 STB 可以开展交互式服务，但由于网络上的原因，在国内还没有一种成熟的交互式应用，目前所谓的交互式应用基本上都还停留在本地交互的基础上。高清晰度电视机顶盒是上述三种类型的横向扩展，可以兼容接收标清和高清信号，可做上下变换，输出标清和高清信号。

选用的芯片不同，构成的硬件平台就不同，配备的其他设备和接口也不同，这就组成了多种多样的 STB。例如，在 STB 中加上调制解调器或网卡，就构成了一个具有双向功能的机顶盒；加上硬盘就构成了个人视频录制器（PVR：Personal Video Recorder），当然这些都需要软件的配合。在同一个硬件平台上通过驻留不同的软件也可以构成不同应用的机顶盒，而多样化的 STB 满足了不同层次的需求。

## 9.5 解决方案比较

### 9.5.1 方案比较

机顶盒解决方案包括两个基础部分：前端接收和后端处理。前端接收又包括调谐器和信道解码器。后端处理通常是一个单芯片的信源解码器，它集成有一个MPEG-2解码器和一个CPU。

除了前端接收部分不同以外，卫星与有线机顶盒的区别在于一般不带条件接收，而且不提供交互式功能。这两种机顶盒的信源解码器完成的功能是相同的，不过在处理能力和扩展接口方面可能会有差别。

目前，机顶盒芯片供应商推出了面向从低端到高端产品的信源解码器，但在中国市场主流低成本芯片，代表性产品有ST的STi5518B、LSI的AViA-9700和富士通的SmartMPEG等。这类低成本解码器中集成的处理器时钟频率一般在150MHz以下，不带硬盘接口和USB接口。

LSI的AViA-9700是AViA-9600的简化版。在其视频解码部分，该芯片支持无穷层次的画面叠加，允许制造商通过软件任意控制播出画面。它还提供了PIG(picture-in-graphics)功能。AViA-9700的一个特色是具有2D图形加速器，可以更好地播放动画。AViA-9700集成了一个148.5MHz的microSPARC CPU，这样强大的CPU将有利于制造商在今后扩展功能。例如，microSPARC CPU可以执行图文(Teletext)解码功能，所以当电视台开始提供图文服务时，制造商只需升级软件就可以对该功能给予支持。此外，该CPU可以实现TCP/IP协议栈，从而能够基于此芯片开发出IP机顶盒。

ST的STi5518B具有较好的成本优势，主要用于实现数字电视信号条件接收以及股票信息接收等基本功能。

在中高端方案方面，这些芯片厂商推出的方案具有高集成度、高性能的特点。如LSI Logic的AviA9600、ATI公司的XILLEON220和ST公司的STi5528。该些方案的共同特点是处理器性能得到很大提高，以STi5528为例，该芯片集成了双CPU，其数据处理能力超过300Mips。该类方案通常还集成了更多的外围接口功能，如硬盘接口、IEEE1394和USB。此外，该类方案通常具有优越的音频和图像处理功能。这类芯片的目标应用主要是具有网络浏览功能和多种交互式应用的高端机顶盒。

### 9.5.2 其它技术的应用

**机卡分离：**电视机的大规模制造不仅提高了产品的可靠性，也降低生产的成本，而大规模制造的基础就是所生产的产品具有一致性，这不仅表现在硬件上也表现在软件上。由于软件的差异性使得制造商无法像生产电视机一样大规模地生产机顶盒。所以实现规模制造，CA是首先要解决的问题。机卡分离技术的含义在于让数字电视的接收设备(机)和CA智能卡及其软件(卡)无关，两者通过一个接口产品来连接，电视机(一体机)和STB预留这个通用的接口。诸多的优点使机卡分离成为一种产业发展的趋势，美国已经把机卡分离作为数字电视机的标准，并为此定义了强制性的时间表。对中国这样一个电视机生产大国而言，机卡

分离也将成为中国产业发展的趋势和标准。UTI 机卡分离方案是由清华大学领军的包括全国 32 家举足轻重的重点厂商、网络运营商、技术开发公司在内 UTI 联盟，经过 3 年的自主创新，率先实现了产业化和市场商业化。

**交互式 STB：**信号回传是机顶盒实现交互式应用的必备功能。目前，机顶盒可以采用基于电话线、以太网和有线电缆等不同介质的三种回传方式。电话线回传最容易实现，成本也最低，因此现有的交互式机顶盒大部分是基于这种回传方式，但其缺点是速度和响应慢，造成用户体验差。与之相比，以太网回传就不存在这些问题，它还可以通过互联网来提供视频点播和网上冲浪等交互式应用。其美中不足之处是实现这种回传方式需要在机顶盒中添加一块 100/10M 以太网卡，这大幅增加了整机成本。此外，它的应用也受到用户是否已部署以太网接口的限制。有线电缆回传是业界设想的一种理想回传方式，它可以实现快捷、方便的交互式操作。但它要求有线电视网的运营商将目前单向传输的网络改造成双向网络，而这需要投入大量的财力和时间。机顶盒制造商正在观望这方面的进程，如果网络改造进展顺利，这种回传方式有望在未来的机顶盒中占据主流。对运营商而言，交互式应用有着庞大的商业利益，是未来最重要的利润来源，而交互式 STB 的使用可以帮助实现这一目标。交互式 STB 也代表着机顶盒技术发展的最高水平，有着十分巨大的发展空间。

**PVR STB：**随着硬盘技术的发展，机顶盒数据存储功能将得到加强，机顶盒完全可能成为家庭的数字娱乐存储中心。在 STB 中加上存储设备就可以将自己喜欢的节目存储起来，这种 STB 就是 PVR。虽然目前 PVR STB 在国内还没有形成一定的市场，但国外每年几百万台销量的强劲增长就预示着国内未来市场的庞大，随着时间的推移，这种需求将会越来越大。目前，多家方案提供商都提供带 DVR 功能的方案，如 LSI 公司的 AviA9600 提供了 IDE/ATAPI 硬盘驱动接口，ST 的 STi5514 提供全功能 DVR。

**双解码或多解码 STB：**对国内的运营商而言，特别是在整体平移的过程中，如何解决用户两台以上的电视机收看数字电视节目是一个令开发人员十分头疼的问题，虽然可以通过强制性的行政行为达到一机一卡，提高收视费，但无法让用户理解这种运营模式，也使数字电视的推广面临很大的阻力。双解码 STB 是在一个 STB 中采用双解码芯片或在一个芯片中嵌入两个以上的解码电路，并配以两个解调器，进而使一个 STB 输出两路不同的节目，而 STB 的成本仅仅增加了 30%~50%。这种新产品的出现，无疑对那些拥有两台以上电视机的用户是一个福音。

**DVB 和 IP 合二为一：**IP 技术的飞速发展给数字电视带来了巨大威胁，但在短期内由于网络成本的原因使两者只能共存而无法替代。虽然目前国内市场上有所谓的带 IP 功能的 STB，但这些机顶盒只是集成了网卡或带回传通道，由于它们无法满足流媒体等服务，因此还不完全是一个将 DVB 和 IP 合二为一的 STB。随着具有 MPEG-2 和 MPEG-4 双解码功能芯片的推出和完善，国外已经有此类 STB 投放市场，它可适应于不同的网络环境，有着广阔的发展前景。另外，这种技术的发展和整合可能会给人们带来一些意想不到的变化，也许在不久的将来，随着网络技术的发展，一个集 DVB 和 IP 于一体的终端产品将会成为家庭的一员，它连接着家庭的显示设备、计算机甚至其他的智能化设备，满足家庭信息化的需求。

总之，机顶盒作为数字电视标志性的产品，有着广阔的发展空间。随着数字电视应用、芯片技术和软件技术的发展，STB 的功能也必将越来越强大，可以为运营商和用户开展更多的服务，满足不同层次的需求。

## 9.6 几款典型产品介绍

### 9.6.1 DVB-C 方案的机顶盒

北广电子集团基于 CONEXANT 方案 DVB-C 机顶盒是一款定位于中高端用户的产品，该产品采用 CONEXANT 公司高集成单芯片解码芯片 CX24146，芯片内部集成一颗 32 位 ARM920 内核处理器，处理工作频率为 200MHz，其内部整合 MP@ML MPEG-2 视频解码器、数字音频解码器、解扰模块和 OSD 处理模块等，是一款高性能数字电视解码芯片。图 1 为该款产品的功能示意图。

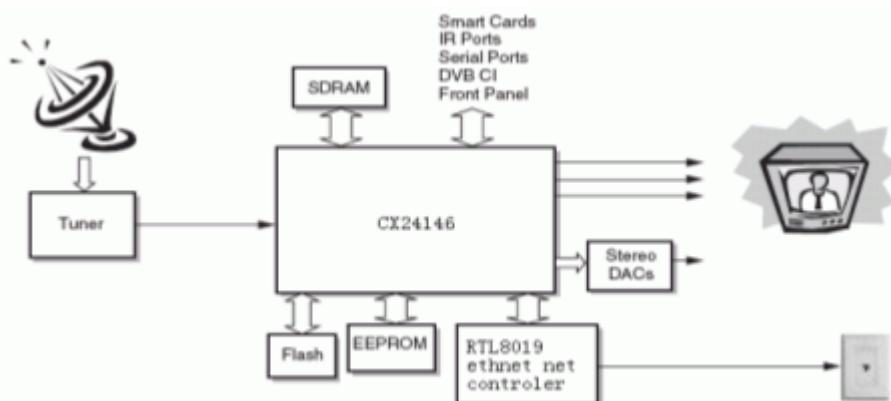


图 9-1 CX24146 功能模块示意图

有线电视数字机顶盒的基本功能是接收数字电视广播节目。图 2 所示为机顶盒解码工作基本流程，调谐模块接收射频信号并下变频为中频信号，然后进行 A/D 转换为数字信号，再送入 QAM 解调模块进行解调，输出 MPEG 传输流的串行或并行数据。解复用模块接收 MPEG 传输流，从中抽出一个节目的 PES 数据，包括视频 PES、音频 PES 以及数据 PES。解复用模块中包含一个解扰引擎，可在传输流层和 PES 层对加扰的数据进行解扰，其输出是已解扰的 PES。视频 PES 送入视频解码模块，取出 MPEG 视频数据，并对 MPEG 视频数据进行解码，然后输出到 PAL/NTSC 编码器，编码成模拟电视信号，再经视频输出电路输出。音频 PES 送入音频解码模块，取出 MPEG 音频数据，并对 MPEG 音频数据进行解码，输出 PCM 音频数据到 PCM 解码器，PCM 解码器输出立体声模拟音频信号，经音频输出电路输出。

机顶盒具有典型的嵌入式操作系统，其操作系统要求比较严格，但是嵌入式操作系统与对 PC 的操作系统如 DOS、Windows、Unix、MacOS 不同，机顶盒中的操作系统不是非常的庞大，但却要求可以在实时的环境中工作，并能在较小的内存空间中运行，当开发机顶盒时，实时操作系统还要与下面将要介绍的中间件结合使用，在北广的产品中采用 ATI 公司的 NUCLEUS PLUS 实时操作系统。

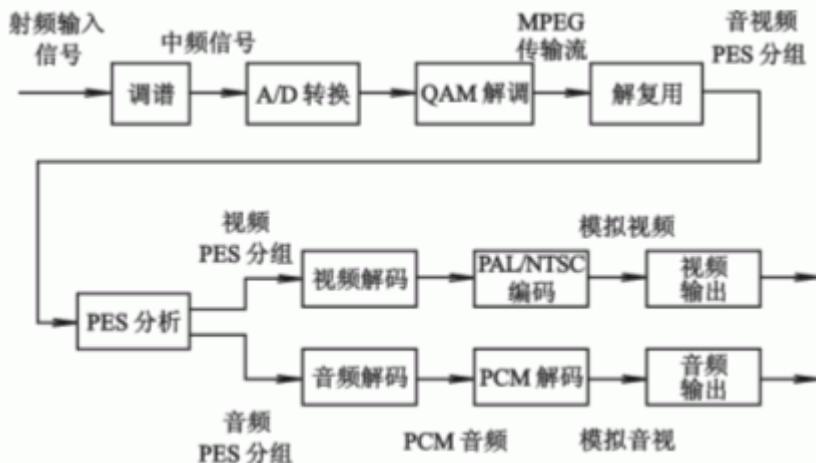


图 9-2 机顶盒解码工作基本流程

中间件是一种将应用程序与低层的操作系统、硬件细节隔离开来的软件环境，它通常由各种虚拟机来构成，如 HTML 虚拟机、JavaScript 虚拟机、Java 虚拟机、MHEG-5 虚拟机等。中间件在机顶盒中的位置如图 3 所示。



图 9-3 数字机顶盒软硬件环境

一个完整的数字机顶盒由硬件平台和软件系统组成，可以将其分为 4 层，从底向上分别为硬件、底层软件、中间件、应用软件。硬件提供机顶盒的硬件平台；底层软件提供操作系统内核以及各种硬件驱动程序；应用软件包括本机存储的应用和可下载的应用；中间件将应用软件与依赖于硬件的底层软件分隔开来，使应用不依赖于具体的硬件平台。北广电子集团的这块机顶盒采用的是恒通公司的中间件 MHP1.0 系统方案，有利的支持了机顶盒的业务扩展与运用。

加解扰技术用于对数字节目进行加密和解密。有条件接入的基本原理如图 4 所示。有条件接入的核心实际上是控制字传输的控制。在 MPEG 传输流中，与控制字传输相关的有两个数据流：授权控制信息（ECMs）和授权管理信息（EMMs）。由业务密钥（SK）加密处理后的控制字在 ECMs 中传送，其中还包括来源、时间、内容分类和价格等节目信息。对控制字加密的业务密钥在授权管理信息中传送，并且业务密钥在传送前要经过用户个人分配密钥（PDK）的加密处理，EMMs 中还包括地址、用户授权信息、如用户可以看的节目或时间段、

用户付的收视费等。用户个人分配密钥（PDK）存放在用户的智能卡（SmartCard）中。

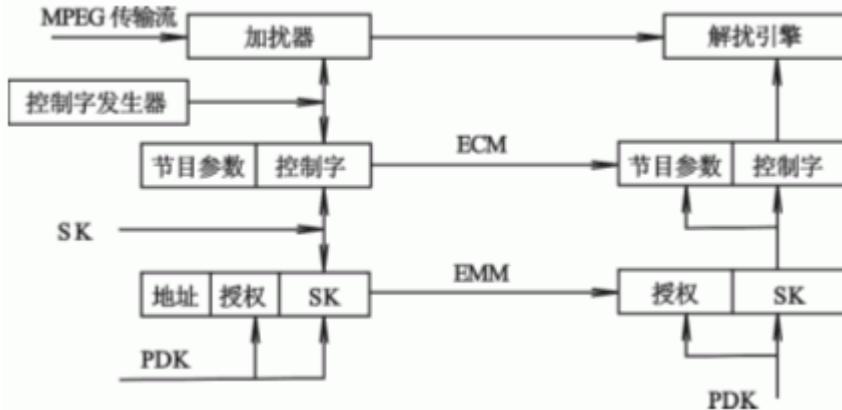


图 9-4 有条件接入基本原理示意图

这款产品已经成功集成国内的永新同方公司的 CA 系统，实现了对节目的解密功能，有力的支持网路公司的收费等多种业务的开展。

数字机顶盒的基本功能是接收数字电视广播节目，同时具有所有广播和交互式多媒体功能。北广电子集团的这款产品拓展了 IP 双向点播功能，通过以太网网路控制芯片 RT8019 的集成，通过 CNX24146 的 ISA 总线接口将网路控制芯片接入到系统中，这样可以通过 IP 通道将用户的选择信息传送到服务中心或信息提供者，然后前端系统根据客户的需求发送相关的节目信息，实现了双向业务。

### 9.6.2 DVB-T 方案的机顶盒

DVB-T 系统用于在地面 VHF/UHF 广播信道上传输标准数字电视和 HDTV 节目。由于地面广播信道的环境最为恶劣，尤其是存在由于火花放电等引起的冲激噪声，因此地面广播中的误码最严重，尤其是连续的突发误码，因而 DVB-T 系统中的纠错编码采用了两层纠错编码加两次交织的方案，以进一步提高对误码的纠正能力。

北广电子集团采用富士通 MB86H20A 平台方案，数字电视机顶盒由射频部分、控制和 MPEG-2 解码部分、音视频编码器等组成，方框图如图 9-5 所示。

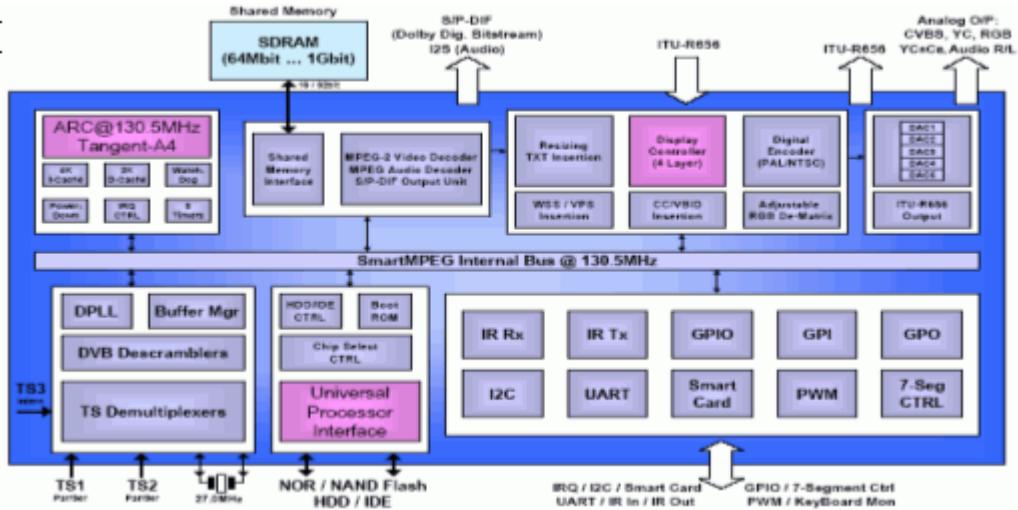


图 9-5 富士通 MB86H20A 系统框图

RF 输入的是数字调制频率范围为 47~862MHz 的射频信号，射频部分对该信号进行一次下变频和数字解调，以及模数变换、解交织、RS 解码，得到 MPEG-2 的 TS 流。TS 流在 MB86H20A 中首先通过分析流中的 PIS 信息进行解复用，选中的 PES 流被送到 MPEG-2 解码部分，得到视频数据和音频数据。视频数据经过视频编码器得到满足 ITU-601 格式的视频信号，而音频信号经过数模变换器（DAC）得到模拟的音频信号。MB86H20A 通过 I2C 总线控制视频编码部分和射频部分。

北广电子集团的这款产品型号为 DVB-C2，机身为银白色，相对普通品牌的产品厚度较薄，采用的是富士通公司的 MB86H20A 芯片，该芯片内部集成了一颗 32Bit 的 ARC RISC CPU，其工作主频可以达到 130MHz，内部集成了两路标清节目的解复用功能模块，支持 PAL/NTSC 数字视频编码和显示控制。

完全符合 MPEG-2&DVB-TCOFDM (编码正交频分复用) 标准，可无线接收 VHF 或 UHF 频段内以 3.7~23.8Mb/S 速率在空中传输的地面数字电视信号。7MHz 和 8MHz (8MHz 带宽信道内传输的有效净比特码率在 4.98~31.67Mbit/s 范围内可选。有断电记忆功能和节目指南 EPG 显示功能；采用增强式 OSD 中英文屏幕显示菜单，OSD 可以支持四层显示，外围接口丰富，可以支持产品的拓展和升级；有自动搜索功能，可方便地面数字电视信号 (DVB-T) 的接收；且应用新型软、硬件结合技术，保证长期稳定可靠的运行。

支持中视联 ChinaCryptCA 和同方的条件接收 CA 系统，超低门限的全频段高频头，具有电子节目指南功能，复合视频信号和 S-VIDEO 信号输出，具有 DVD 节目质量，支持数字音频 S/PDIF 输出，具有 CD 音质立体声效果，支持 4:3/16:9 模式转换。

### 9.6.3 DMB-T 方案的机顶盒

北广电子集团的这款 DMB-T 机顶盒产品是信源和信道解码完全采用国产化芯片的产品，符合 DMB-T 标准和 MPEG2 标准，基于海尔方案 DMB-T 机顶盒信源解码部分由 Haier 公司的 Hi2011 芯片平台完成，信道解码部分由凌讯公司的单芯片 TDS-OFDM 解调芯片 LGS-8222-A1 实现，系统示意图如图 9-6 所示。

其具体实现由 Haier Hi2011 芯片通过 I2C 总线控制解调芯片 LGS-8222-A1 的初始化和解调工作，而解调芯片 LGS-8222-A1 芯片控制高频头 Tuner 工作，实现降频。解调芯片 LGS-8222-A1 芯片通过 I2C 信号线控制 Tuner 7578 实现降频，输出 MPEG OUTPUT TS 流。其中 MPEG DECODER 模块为 Haier Hi2011 芯片，实现信源解码，通过 SDA、SCL、Tuner-RESET 信号等相关信号线控制 LGS-8222-A1，接收其 MPEG OUTPUT TS 流作为信号输入。数字地面机顶盒的关键技术是正交频分复用 OFDM，该技术可有效地解决数字地面广播中所存在的多径接收、邻频干扰等问题。另外，数字广播信号与模拟广播信号之间以及

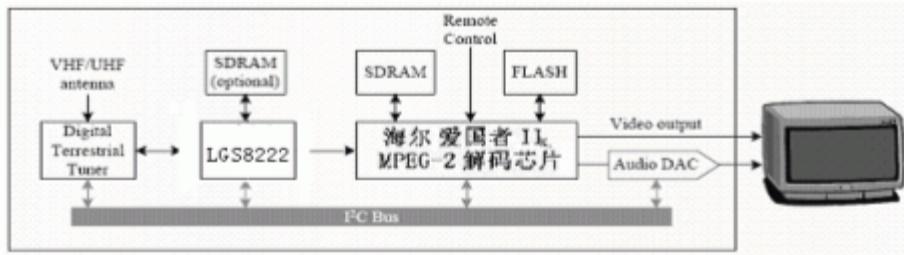


图 9-6 DMB-T 系统示意图

数字广播信号之间会存在邻频干扰，数字广播若要利用邻频技术提高带宽利用率，频道内的有效辐射功率则必须低于模拟电视广播的有效辐射功率，并且应保持频谱功率密度恒定。OFDM 技术克服了上述的问题，它将串行数据流划分为多个比特的码元，每个码元可有数千比特，然后用这些比特去调制被置于一个频段内间隔很小的数千个相互正交的载波。通过设置这些载波的保护间隔和边带能量的位置，使某一特定载波在邻近频道上的能量为零，从而提供较好的邻频抑制能力。

DMB-T 机顶盒采用自主原创的 TDS-OFDM 技术，以其基于 PN 序列的时域同步技术和灵活的帧结构技术特点，与欧洲的 DVB-T 系统相比的主要优势性能有：

- 高频谱利用率；
- 低接收信噪比门限；
- 快速系统同步；
- 强抗突发脉冲干扰和多径干扰能力；
- 高度灵活的操作模式：支持固定、步行、移动接收和低功耗便携终端。

DMB-T 应用于数字电视领域，已成为我国地面数字电视广播传输标准基础方案之一。

该款产品成本低，且数字电视的基本功能齐全，支持 ISO/IEC13818-2 MP@ML，支持 TS 流、PS 流；支持 PAL/NTSC，隔行/逐行；数字输出支持 YCbCr,4:2:2,8 位 YUV；模拟输出支持 CVBS 和 S 端子输出，YPbPr 输出；并且具有其独特的功能表现，个性化拉幕式视频播放；真彩色开机画面；任意调整大小的小画面显示；可同时显示三个区域的 OSD 菜单；支持字库发生器和图形加速器；可以满足客户的大部分需求。

该款产品完全符合 DMB-T、TDS-OFDM 技术和 MPEG2 标准，超清晰画面和 SPDIF 高保真数码立体声输出，友好的 OSD 用户界面，提供优质稳定可靠的控制方式，车载移动式设计，130km 甚至可达 180、190km 高速行进时，也能清晰接收几套 DMB-T 地面数字电视节目，具备电子节目指南功能，支持 PIG 画中画显示，可通过 RS-232 口进行软件升级，支持 256 色多种语言屏幕显示，如英文、法文、德文、俄文、西班牙文、意大利文、中文及阿拉伯文

等多种语言系统。

在机顶盒的硬件平台上，CPU 越来越强大；存储器容量越来越大；MPEG 解码器将支持同时解码多个 HDTV 的节目；图形功能越来越强大，将从简单的 OSD，发展到强大的 2D、3D 图形引擎；外部接口将更加丰富，可以利用数字机顶盒建立家庭网络，将机顶盒与 PC、打印机、DVD 机等数字设备连接起来，真正地成为信息家电中心。

在应用方面，机顶盒将支持越来越多的应用，并且下载的应用将越来越多。这些应用包括：按次付费观看、立即按次付费观看、准视频点播、数据广播、电子邮件、视频点播 IPTV 以及 IP 电话和可视电话等。

伴随着日常生活的愈来愈丰富多彩，机顶盒将为百姓的生活提供更为方便快捷的多元化服务，成为生活中不可替代的信息处理家电产品。

## 本章总结

学习完本章，学员应该掌握：

- ◆ 掌握数字机顶盒整体构架
- ◆ 掌握数字机顶盒硬件结构
- ◆ 掌握数字机顶盒软件结构
- ◆ 掌握几种常见的数字机顶盒方案