

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名: 刘钰 日 期: 2005年5月15日

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解山东大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权山东大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名: 刘钰 导师签名: 张衍甫 日期: 2005年5月15日

摘要

目前，在全球有许多国家已开展了电视数字化业务，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。在数字电视发展过程中，重要的是对拥有自主知识产权核心技术的掌握和对相关标准的制订。国际上已形成了以美国 ATSC 和欧洲 DVB 为代表的两大企业联盟组织，分别制订了代表各自利益的数字电视标准，并在世界各地强力推广。但我国目前数字电视尚无统一的国家标准。因此，要掌握具有自主知识产权的核心技术，就必须加快有关国家标准的制订。

数字有线电视在数字电视传输方式中处于非常重要的地位。我国目前城镇居民收看电视的主要接入方式就是有线电视。它拥有庞大的用户群体，相对于卫星传输和地面传输来说有更广大的发展前景。因此，数字电视有线传输系统的研究，对我国的数字有线电视传输标准的制定和取得有中国自主权的数字电视传输标准具有重要意义。

本文阐述了现在世界上流行的数字电视有线传输系统的组成和关键技术，研究了 ATSC 和 DVB-C 这两种数字电视有线传输系统的技术规范和性能特点，对 System View 通信系统仿真软件的功能做了简介，在此基础上，利用 System View 对 DVB-C 的三种方式 QAM 调制解调、RS 编解码、卷积交织等基本模块和整个传输系统进行了仿真，并对结果进行分析，对 DVB-C 系统的性能进行了评估。

通过仿真分析可以看出，采用 32QAM 调制的 DVB-C 系统在 8MHz 的频道内能容纳 32Mbit/s 的有效载荷容量，误码率在 10^{-7} 以下，频谱效率高达 4.3 bit/s/Hz，系统成本相对较低，是目前在我国现有的 CATV 网络中进行数字电视传输的首选方案。

关键词：数字电视；DVB-C；QAM；System View

ABSTRACT

At present, a lot of countries have already launched the digitized business of the TV in the whole world, among them the some developed countries of Europe are the most general, Japan and S. Korea of Asia are highly popular, such countries as Singapore, India, etc. have already started too. In the course of developing in digital TV, the more important thing is it to grasping and formulation of relevant standards with key technology of independent intellectual property rights. Have already formed two major coalitions of companies represented by U.S.A. ATSC and European DVB to organize in the world, have made the digital television standard which represents each interests separately, and popularize in the brute force from all parts of the world. But there is not a unified national standard yet in the digital TV at present in our country. So, master the key technology with independent intellectual property right , must accelerate the formulation about the national standard.

The digital cable TV is in very important position in the transmission means of digital TV. The main access way that urban residents watch the TV is the cable TV at present in our country. It have huge user colony, transmit as to satellite and ground is it have the masses of development prospect to say to come to transmit. So, formulation and obtaining the digital television transmission with China's autonomy of the digital wired television transmission standard to our country of study on the channel code of DVB-C and transmission system The standard has very great meanings.

And key technology that this text has explained popular digital TV is made up of line transmission system one in the world now, research ATSC and DVB-C two digital TV wired technical specification and performance characteristic of transmission system these, communicate to System View system artificial function of software do brief introduction , on this basis, utilize System View three QAM in DVB-C modulate demodulation , basic module and whole transmission system , compiled code of RS and person who interweave of convolution carry on emulation, and analyse , have evaluated

performance of DVB-C system to the result .

Through emulation analyse can find out , adopting DVB-C system that 32QAM modulate can hold valid load capacity of 32Mbit/s in channel of 8MHz.Error code rates is under 10^{-7} . Spectral efficiency is up to 4.3 bit/s/Hz . The systematic cost is relatively low.It is the first-selected scheme carrying on the digital television transmission in our country's existing CATV network at present.

Keyword: Digital TV; DVB-C; QAM; System View

缩略语

AC- 3	Audio Coding-3	频编码 3
AES	Audio Elementary Stream	频基本流
ATM	Asynchronous Transfer Mode	步转移模式
ATSC	Advance Television System Committee	级电视制式委员会
ATV	Advance Tele Vision	进电视
CA	Conditional Access	件接收
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing	编码正交频分复用
DSP	Digital Signal Processor	数字信号处理器
DTV	Digital TV	数字电视
DVB	Digital Video Broadcasting	数字视频广播
DVB-C	DVB-Cable	有线数字视频广播
FCC	Federal Communications Commission	联邦通信委员会
FEC	Forward Error Correction	前向纠错
FIFO	First-In, First-Out	先进先出
HDTV	High Definition Television	高清晰度电视
HEC	Hybrid Error Correction	混合纠错
IRD	Integrated Receiver Decoder	集成接收解码器
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting	综合业务数字广播
MPEG	Moving Picture Expert Group	活动图像专家组
MUX	Multiplexer	复用器、多工器
NII	National Information Infrastructure	国家信息基础设施
NTSC	National Television System Committee	家电视制式委员会
PES	Packetized Elementary Stream	打包基本流
PRBS	Pseudo-Random Bit Sequence	随机二进制位序列
PSI	Program Specific Information	节目特定信息
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交调制
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying	四相相移键控
RS	Reed-Solomon	里德—索罗门
SDI	Serial Digital Interface	串行数字接口
SDTV	Standard Definition Television	标准清晰度电视
STM	Synchronous Transfer Mode	同步转移模式
SYNC	Synchronizing Signal	同步信号
TCM	Trellis Coded Modulation	格栅编码调制
TS	Transport Stream	传送流
VES	Video Elementary Stream	视频基本流
VSB	Vestigial Side Band modulation	残留边带调制

第一章 引言

§ 1.1 论文选题的意义

进入 20 世纪 90 年代之后，随着计算机技术、数字处理技术及图像压缩技术等高科技技术的迅猛发展，广播电视走进了数字电视发展的新时期。数字电视是从模拟电视发展过来的，但其内涵已经远远超过了电视本身。数字电视是指一个从节目摄制、制作、编辑、存储、发射、传输，到信号接收、处理、显示等全过程完全数字化的电视系统。^[1]

数字 HDTV 集成了近年来高速发展的超大规模集成电路、高分辨率大屏幕显示器件、高密度数字记录、计算机多媒体技术、数字通讯与传输技术、数字压缩与解压缩技术、激光技术、数模转换技术等方面的最新成就，使电视生产技术更趋向于数字化、集成化、模块化，是电视技术领域内由模拟技术全面转向数字技术的一场革命。因此对数字电视进行研究有着重要的意义。^[2]

§ 1.2 国内外技术现状

目前，美国、欧洲和日本各自形成三种不同的数字电视标准。美国的标准是 ATSC (Advanced Television System Committee 先进电视制式委员会)；欧洲的标准是 DVB (Digital Video Broadcasting 数字视频广播)；日本的标准是 ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting 综合业务数字广播)。^[3]

1999 年中国开始实施数字电视产业化专项，第二年又成立了全国数字电视标准委员会，中国数字电视标准制订工作正式启动。信息产业部和国家广电总局也都为此成立了专门的标准制订专家组，进行国内外数字电视标准的整理和研究工作。可是到现在 5 年时间过去了，仍然没有数字电视的国家标准出台。广电总局的行业标准倒是出了一大堆，但也就是对欧洲 DVB 标准的简单翻译。

2004 年 11 月，国家广电总局在举办的“21 世纪广电传媒高峰论坛”上宣布，中国将于 2008 年全面推广地面数字电视，2015 年停止模拟电视播出，实现数字广播电视的全国覆盖。目前，在数字电视地面标准方案中，风头最劲两派分别是以

清华为首的、采用多载波调制技术的 DMB-T，即“北派”；及以上海交大为核心的，采用的是单载波调制技术的 ADTB-T，即“南派”。在 2004 年 11 月份清华和上海交大都进行了地面传输的演示，都获得了成功。更令人兴奋的是，就在 2005 年 1 月 22 日，基于清华大学 DMB-T 制系统的中国第一块拥有完全自主知识产权的“中视一号”数字电视地面传输芯片在复旦大学问世，这被称为“中国数字电视百万门级专用集成电路自主设计和制造技术的重大突破”。

目前我国电视用户 3 亿多人，有线电视用户就有 1 个亿。是世界第一大有线电视用户国。数字有线电视除了能够大大的提高电视信号质量、扩大容量和传输距离外，数字有线电视设备还完全适于宽带通信。技术实践表明，有线电视数字化是将原来的单向传输模拟电视节目变成为双向传输多功能业务的数字化。随着数字电视有线传输技术的发展，有线电视网、电信网和计算机数据网的“三网合一”已经成为信息社会发展的切实需要。又因为有线传输与另外两种传输相比具有图像质量好、节目套数多、用户群体大的优点，因此，数字有线电视传输在三种传输方式中处于更重要的地位。

数字电视信号是一种数字信号，数字电视传输系统归属于数字通信范畴，遵循数字通信系统的一般规律。数字电视传输系统中对信号的处理方法、关键技术都来源于数字通信系统。^[4]

数字通信系统的组成如图 1.1 所示。整个系统包括三大部分：信源部分、信道部分、信宿部分。信源部分主要完成信源编码功能，信道部分主要完成信道编码、信息传输、信道解码功能，信宿部分主要完成信源解码功能。

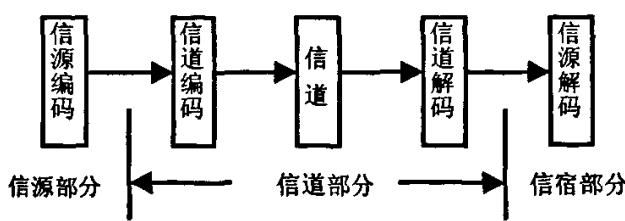


图 1.1 数字通信系统组成

在数字电视传输系统中，信源部分又可以细分为：数字视频信源压缩编码、数字音频信源压缩编码、数据编码、节目流多路复用、传输流多路复用。信宿部分是信源部分的反过程。信道部分是关键部分，为了提高通信的可靠性，信道部分对信号的处理极其严格和复杂，处理的方法也比较多，可以把信道部分细分为

外信道和内信道。外信道包括：外码能量扩散、外码 RS 纠错编码、外码数据交织、外码数据解交织、外码 RS 纠错解码、外码解能量扩散。内信道包括：内码卷积交织、内码卷积编码、内码数字调制、传输线路、内码数字解调、内码卷积解码、内码卷积解交织。有线数字电视由于利用同轴电缆和光纤进行传输，所以抗干扰能力比较强，在信道传输时可以去掉内码的卷积交织、卷积编码、卷积解交织和卷积解码。并且针对于各个国家提出的不同标准，信道部分对信号的处理还是有差别的。

§ 1.3 论文主要工作与内容安排

本文对数字电视有线传输标准进行了研究，其中对 DVB 和 ATSC 两种主流标准进行了认真的学习。特别是对数字电视有线传输的信道编码利用 System View 仿真软件进行了仿真分析。

本文主要内容的安排如下：第二章介绍数字电视传输系统的组成和数字电视有线传输系统的关键技术，第三章阐述国际上两种典型的数字电视有线传输标准，并对两种标准的系统组成和性能特点进行比较，第四章简单介绍了仿真软件 System View，用 System View 对 DVB-C 系统的主要模块和整个系统进行了仿真，并对 DVB-C 系统的性能指标进行了分析，对我国数字电视有线传输系统方案提出了建议。

第二章 数字电视有线传输系统的组成与关键技术

数字电视传输系统分为卫星传输系统、有线传输系统和地面无线传输系统。由于传输的方式不同，则对数字电视信号的处理方式也有所不同。本文主要介绍数字电视的有线传输系统。

§ 2.1 系统组成

1、美国的 ATSC 传输系统^[2]

1994 年美国大连盟 HDTV 方案传输部分采用残留边带 (VSB) 进行高速数字调制，其传输系统如图 2.1 所示。发射机部分，打包的数据先送入 RS 编码器，再经数据交织、格状编码、多路复用（数字视音频数据、段同步、行同步复用），再插入导频信号。插入导频信号的目的是便于收端恢复载波时钟。然后进行 16 电平残留边带调制，最后送往发射机输出。接收机是它的反过程，在此不再多说。

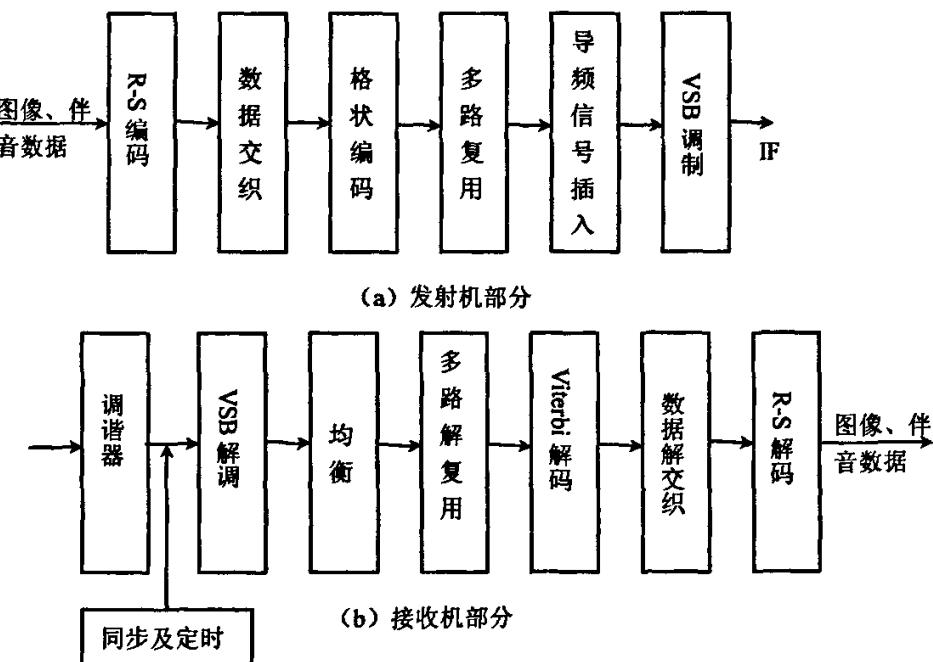


图 2.1 残留边带调制数字电视有线传输系统

2、欧洲 DVB-C 传输系统^[1]

欧洲数字电视有线传输系统的电路框图如图 2.2 所示。(a) 为发射端框图, (b) 为接收端框图。为了能使各种传输方式尽可能兼容, 有线传输的发射端前部分处理和卫星传输中的处理相同。也即有相同的能量扩散 (伪随机序列扰码)、R-S 纠错、卷积交织, 后面的处理是专门用于有线数字电视传输的。首先是字节到符号的映射, 然后是差分编码、基带整形, 输出两路 (I, Q) 信号, 再进行 QAM 调制。

有线传输系统的核心与卫星系统相同, 但数字调制方式是以 QAM 而不是以 QPSK 为基础。该系统以 64QAM 调制为主, 但是也能够使用较低的 (如 32QAM、16QAM) 正交幅度调制。在具体的情况下, 应在系统的数据容量和数据的可靠性之间进行折衷。

较高的幅度调制 (如 128QAM、256QAM) 也是能够使用的, 但它们的使用取决于有线系统的容量是否能应付降低了的解码余量。如果使用 64QAM, 那么 8MHz 频道能够容纳 38.5Mbit/s 的有效载荷容量。

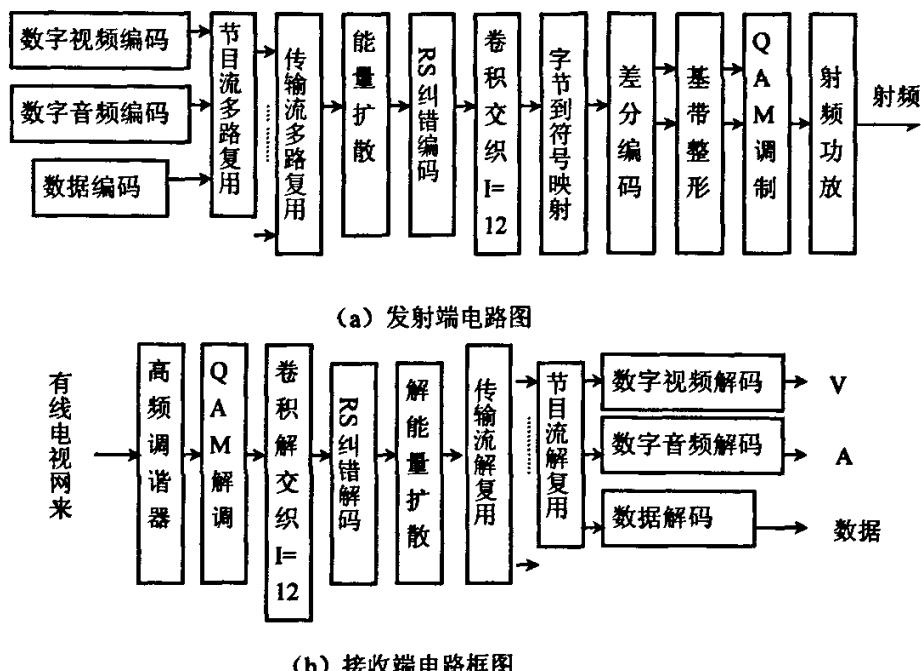


图 2.2 DVB-C 数字电视有线传输系统

接收端是发射端的反过程, 在这里不在详述。

§ 2.2 差错控制技术

数字电视广播的目的是要将图像、声音和数据等信息快速、实时、高质、可靠地传输至接收端，供用户满意地收看、收听。为了达到目的，提高系统的抗干扰能力，在载波调制之前要进行信道编码，也称为差错控制编码或纠错编码。^[4]

它主要有三种方式：反馈重发（ARQ）方式、前向纠错（FEC）方式和混合纠错（HEC）方式。

对具体的纠错码，可以从不同的角度将其分类。纠错码按照检错纠错功能的不同，可分为检错码、纠错码和纠删码三种；按照误码产生的原因不同，可分为纠随机误码的纠错码和纠突发误码的纠错码；按照信息码元与监督码元之间的关系，可分为线性码和非线性码；按照信息码元与监督码元之间约束方式的不同，可分为分组码和卷积码；按照信道编码之后信息码元序列是否保持原样不变，又可分为系统码和非系统码。

§ 2.2.1 能量扩散

在数字电视信道编码中，能量扩散主要是对数据进行随机化，它的目的是打碎 TS 流包中可能出现的长“1”、长“0”，避免信号在低频段频谱上有大的能量，不适应信道的传输特性。其实现的方法是用一个 PRBS（伪随机二进制序列）发生器产生一个 PRBS 流，与输入数据流的逐个比特作异或运算。^[5]

PRBS 也称为 M 序列，一般用带有若干反馈线的 m 级移位寄存器产生，序列周期为 2^m-1 。这种 M 序列与 TS 流包的 NRZ 码进行 XOR 扰码运算后，输出将主要是短游程的 NRZ 码。在码元数目没有增加下，它随机地改变了输入序列的码元值，改善了码流的一些特性。

当调制器输入数据流不存在，或者它与传输流格式不一致时，也必须进行随机化。这是为了避免发送出未被调制的载波。值得注意的是，收发两端均采用相同能量扩散、解扩散电路，而且是同步工作的。

§ 2.2.2 RS 纠错编码

RS 码是一种性能优越的分组线性码，在同样编码冗余度 RS 码具有很强的纠错能力。同时由于近年来超大规模集成电路原来路技术发展，使非常复杂、难以实现的译码电路集成化，目前功能很强的、长 RS 码的编译码器芯片也商业化了，因此 RS 码在通信领域已被广泛地应用。^[7]

在 (n, k) 码组的 RS 码中，输入数据流划分成 $k \times m$ 比特一组，每组内包括 k 个符号，每个符号由 m 个比特组成。数字电视信号中，每个符号通常由一个 8 比特的字节组成，也即 $m=8$ 。

一个能纠正 t 个符号错误的 RS 码有如下参数：

码长 $n \leq 2^m - 1$ 符号 或是 $\leq m(2^m - 1)$ 比特

信息段 k 个符号 或是 $k \times m$ 比特

监督段 $n-k=2t$ 符号 或是 $m(n-k)$ 比特

最小码距 $d_{\min} = 2t+1$ 符号 或是 $m(2t+1)$ 比特

RS 码特别适合于纠正突发误码，它可纠正的 n 个符号的数据包内的错码构成样式有如下几种：

连续长度为 $b_1 = (t-1)m+1$ 比特的单突发误码

连续长度为 $b_2 = (t-3)m+3$ 比特的两个突发误码

.....

连续长度为 $b_i = (t-2i-1)m+2i-1$ 比特的 i 个突发误码

数字电视数据流的信道编码中，采用了 $(204, 188, t=8)$ 或是 $(207, 187, t=10)$ 的 RS 码，也即一个数据包的长度为 204 字节或 208 字节（207 字节加上一个同步字节）。其中信息段为 188 字节，RS 纠错码为 16 或 20 字节，纠错能力 t 分别为 8 或 10 字节。数字电视中的 RS 码都属于截短的 $(255, 239)$ RS 码，编码时，先在 RS 编码器上在输入的具体的信息字节前面加入全零字节，实施 RS 编码。编码完成后，再将这些空字节丢弃，形成截短的 RS 码。

§ 2.2.3 卷积交织

为了提供抗突发干扰的能力，在 RS 编码后面采用字节为单元的数据交织。数据交织是在不附加纠错码字的前提下用改变数据码字（以比特或字节为单位）传输顺序的方法来提高接收端去交织解码时的抗突发误码能力。^[8]

交织编码的优点明显，其实质是将突发误码分散为随机误码，不增添附加的监督码元而提高了抗突发误码的能力。

其缺点一是需要随机存储器等硬件电路；二是对处理中的数据流将引入一定的延时，数据包越大，延时时间越长，既在发送端实施交织时引入，也在接收端实施去交织时引入，在特定情况下这对于数据流的实时处理来说或许是不可接受的。

美国的 ATSC 中的卷积交织器深度为 52，欧洲的 DVB 中的卷积交织器深度为 12。结合前面所采用的 RS 编码器纠错能力的不同，ATSC 中可纠正长度为 $52 \times 10 = 520$ 个字节的突发错误长度；DVB 中可纠正长度为 $12 \times 8 = 96$ 个字节的突发错误长度。

§ 2.2.4 格状编码（TCM）

一般的说，信息传输可靠和信息传输快速两者是有矛盾的，如何做到既可靠又快速或者是既快速又可靠是通信系统设计和实践中的重要研究课题。在数字通信系统中，调制解调和纠错编码是两个主要技术，它们也是提高通信系统传输速率，降低误码率的两个关键技术。在过去这两个问题是分别独立考虑的，在发送端编码和调制是分开设计的，同样在接受端译码和解调也是分开完成的。在码流中增加监督元以达到检错或纠错的目的，但这样会使码流的比特速率增加，从而使传输带宽增加，也就是说用频带利用率的降低来换取可靠性的改善。^[9]

1982 年 Ungerboeck 提出了利用编码率 $n/n+1$ 的格栅码卷积码及码字与调制信号间映射关系将编码和调制技术结合起来的方法。在接收端，将已调制信号解调后进行反映射变换，还原成卷积码的码序列，再实施卷积码译码。这样做，再不增加传输信道带宽和相同信息速率的情况下可获得 3~6dB 的功率增益。此种技术称为格栅编码调制技术。

§ 2.3 调制技术

§ 2.3.1 MVS B 调制

MASK 调制方式采用多电平基带信号对一个高频载波进行平衡调制时, 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本信号本身的带宽, 所以整个已调波带宽是基带信号带宽的二倍。MASK 中的 $M=2^k$, 当 $k=1, 2, 3, 4\cdots$ 时, $M=2, 4, 8, 16\cdots$

实际上, 其基带信号携带的信息在任一个边带中已全部包含, 所以, 传输时可以抑制一个边带而只发送另一个边带。这样, 已调波的传输带宽就等于基带信号的带宽 B 。由于基带码率为 R_b/k 时在理想低通情况下基带信号的带宽为

$$B = \frac{1}{2} \frac{R_b}{k} \text{ Hz}$$

因而单边带的高频调制效率为:

$$\eta = \frac{R_b}{B} = 2k = 2 \log_2 M \text{ (bit/s/Hz)}$$

当考虑到低通滤波具有滚降系数 α ($=0\sim1$) 时, 实际的高频带宽应为 $B(1+\alpha)$, 所以实际的高频调制效率 η 为

$$\eta = 2 \frac{\log_2 M}{1+\alpha} \text{ (bit/s/Hz)}$$

不过, 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, 它称为导频信号。这时, 具体可将传送的上边带向下侧展宽一些, 使包含进载波分量, 就像目前的模拟电视信号广播中应用的残留边带调制 (VSB) 方式一样。因此, 此种 MASK 调制传输方式在数字电视的应用中称为 MVS B 调制。^[10]

在美国的数字电视地面广播中, 采用的高频调制方式是 8VSB, 而在有线数字电视传输中, 采用 16VSB 调制。显然, M 越大时, 高频调制效率 η 越高。有线信道是质量较好的传输媒体, 外来干扰小, 容许使用 M 值大的 MVS B 调制方式。^[11]

§ 2.3.2 MQAM 调制

QAM (正交幅度调制) 是一种节省频带的数字调制方法。在 2400bit/s 以上的中、高速调制中常被采用，广泛用于数字电视的广播传输。QAM 有较高的频带利用率，同时有较高的信噪比。^[4]

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 MASK 和 MPSK。

16QAM 的调制器框图如图 2.3 所示，输入的串行数据流经过串/并变换器分成两路比特流 b_1, b_2 和 b_3, b_4 ，它们分别由数/模变换器把 4 种数据组合 (00, 01, 11, 10) 变换成 4 种模拟信号电平 (+3, +1, -, -3)，上、下支路的模拟输出分别调

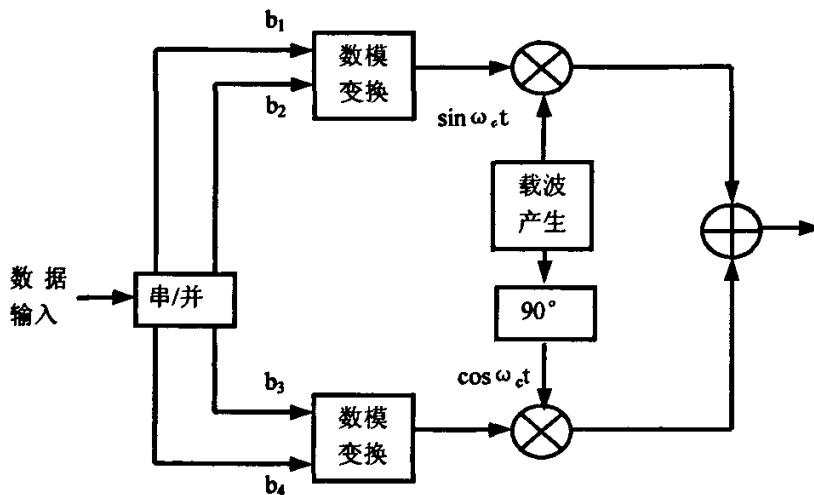


图 2.3 16QAM 调制器电路

制载波信号 $\sin \omega_c t$ 和 $\cos \omega_c t$ ，然后通过加法器使两个已调载波相加，得到合成的调相波信号 16QAM 输出。^[10]

根据上面的取值规定，可得出如表 2.1 所示的 b_1, b_2, b_3, b_4 值与 I 轴（同相轴）值、Q 轴（正交轴）值间的关系。

按表 2-1，可进一步画出 16QAM 星座图中星座点与 b_1, b_2, b_3, b_4 四比特数据之间的关系如图 2.4 所示。

MQAM 调制方式中除了常用的 16QAM 外，还有 M=4、32、64、128、256 等。在数字有线电视传输中常采用的有 16QAM、32QAM、64QAM，其原理相同。^[12]

表 2-1 b_1, b_2, b_3, b_4 值与 I、Q 值间的关系

b_1	b_2	b_3	b_4	I	Q	归一化矢量 $A/\varphi -$
0	0	0	0	3	3	$1/45^\circ$
0	0	0	1	3	1	$0.745/18.4^\circ$
0	0	1	0	3	-3	$1/315^\circ$
0	0	1	1	3	-1	$0.745/341.6^\circ$
0	1	0	0	1	3	$0.745/71.6^\circ$
0	1	0	1	1	1	$0.333/45^\circ$
0	1	1	0	1	-3	$0.745/288.4^\circ$
0	1	1	1	1	-1	$0.333/315^\circ$
1	0	0	0	-3	3	$1/135^\circ$
1	0	0	1	-3	1	$0.745/171.6^\circ$
1	0	1	0	-3	-3	$1/225^\circ$
1	0	1	1	-3	-1	$0.745/198.4^\circ$
1	1	0	0	-1	3	$0.745/108.4^\circ$
1	1	0	1	-1	1	$0.333/135^\circ$
1	1	1	0	-1	-3	$0.745/252.6^\circ$
1	1	1	1	-1	-1	$0.333/225^\circ$

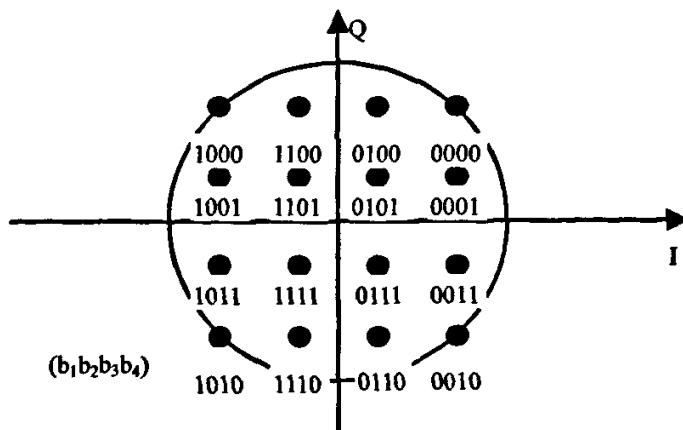


图 2.4 16QAM 星座点与码元的关系

第三章 数字电视有线传输系统的技术标准

数字有线传输系统是数字电视传输中的一种，现在世界上各个国家采用的标准各有不同，主要是根据现有的三种标准 ATSC、DVB 和 ISDB 结合本国的实际情况进行使用，据最新网络资信，DVB 成员已经达到 265 个（来自 35 个国家和地区），主要集中在欧洲并遍及世界各地，我国的广播科学研究院和 TCL 电子集团也在其中。ATSC 成员 30 个，其中有美国内成员 20 个、来自阿根廷、法国、韩国等 7 个国家的成员 10 个，我国的广播科学研究院也参加了 ATSC 组织。ISDB 筹划指导委员会委员 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。可见前两种标准的使用比较广泛。

在我国的数字演播室参数、有线数字电视传输、业务信息规范和条件接收系统等标准已颁布实施的基础上，有线数字电视从试验走向实用化正在稳步前进，在标准上等同于 DVB 标准。

现有的三种标准都采用 MPEG-2 编码，只是在信道传输过程中选择的调制方法和编码方式有所不同因而产生了不同的标准。

§ 3.1 美国 ATSC 标准

美国的 ATSC 数字电视标准是为其国内的全数字化 HDTV 广播研究开发的一种标准，1988 年由 FCC（美国联邦通信委员会）提出设想，历经多年，于 1996 年正式批准为系统标准，名字为“ATSC 数字电视标准”。标准扩展了 ATSC 的适用范围，使其不仅应用于 HDTV 高清晰度电视中，也包括了 SDTV 标准清晰度电视和计算机图形格式等的参数规范。ATSC 是美国“先进电视制式委员会”组织机构的名称缩写，它制定的包括 SDTV 和 HDTV 的标准也可以并称为 ATV（先进电视）或 DTV（数字电视）的广播标准。

§ 3.1.1 ATSC 的图像格式

ATSC 数字电视标准由四个分离的层级组成（图 3.1 所示），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。^{[13][14][15][16][17][18]}

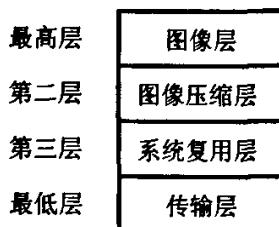


图 3.1 ATSC 的层级

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。

(1) 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；(2) 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；(3) 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；(4) 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。HDTV 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。

§ 3.1.2 ATSC 的复用模式

ATSC 的信道编码器其输入的是传输流数据，TS 流形成过程如图 3.2 所示，从左到右分为应用层、压缩层、传送层和传输层 4 层，传送层的输出即为传输流 TS。

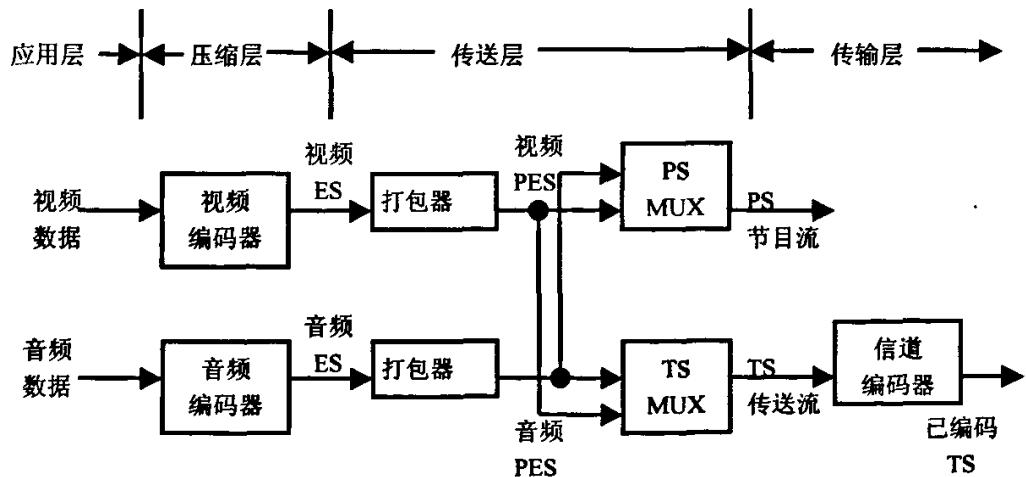


图 3.2 传送流 TS 的形成

应用层是演播室内根据规定的视音频标准原始产生的、未压缩的视音频数据流，例如视频是 SDI 或 HD-SDI 数据流，音频是立体声或环绕声的数据流。

压缩层中根据规定的信源编码标准将输入的数据流予以码率压缩，产生出视频基本流 (VES) 和音频基本流 (AES)。视频编码标准采用通行的 MPEG-2，音频编

码标准在 ATSC 中采用 Dolby AC-3 压缩技术。

视频基本流由像块、宏块、像条、图像(帧)、GOP(图像组)和序列等 6 个层次构成。序列由序列起始码开始,以序列结束码结束。起始码后的序列头中标识出图像的水平和垂直尺寸、宽高比、色度子取样格式、图像频率、逐行或隔行扫描、型、级和比特率,以及帧内和帧间编码所使用的量化表等信息。因此,序列头数据是解码器可解码的入点所在。

传送层中将 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 MUX)、传送流(TS MUX)。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 和 P 帧之分,它们的 PES 长度不同。在复用器(MUX)中视音频 PES 组成 PS 流和 TS 流的区别在于,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。

传输层内包含信道编码和载波调制,其输出是调制在中频上的数字已调波,馈送至上变频器,经高功放级后由天线发射。

§ 3.1.3 ATSC 的信道编码与调制技术

从图 2.1 中可以看到,ATSC 信道编码与调制系统有以下几部分构成:^[19]

1、数据随机化

ATSC 的数据随机化使用 PRBS 即 M 序列。它的生成多项式 $G(x)$ 如附图 1 所示,图中并示明了由 8 个抽头输出的随机字节,它们通过 8 个异或门分别与输入流中每一个字节的 8 个比特作高位对高位、低为对低位的异或运算,实现数据随机化。

由图可见,生成多项式的表达式为:

$$G(x) = x^{16} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^7 + x^6 + x^3 + x + 1$$

这里,在随机化时还有两个规定,一个是 PRBS 发生器的初始化数值,另一个是每当何时初始化一次。标准中规定,初始化时 x^{16} , x^{15} , x^{14} , x^{13} , x^9 和 x^6 各寄存器置 1,也即初始化值为 $F180_{hex}$,并如附图 2 中的 ATSC 帧结构图所示,在一帧两场的每场内第二数据段起始处的段同步期内实施初始化。

由图可见,帧结构安排中,将 188 个字节中的每一个字节分成 4 个 2 比特的

符号，共有 752 个符号。其第一个同步字节不扰码，进行扰码的是随后的 748 个符号。另外，在数据随机化后的 RS 编码中对 187 个字节附加上 20 个误码纠错字节，形成 (207, 187, t=10) 的 RS 码，并将组成的 852 个符号称为一个数据段，由 313 段组成一场，两场组成一帧，每一场的第一段为专用的段同步数据。

如附图 2 所示，初始化是在每场内第 2 段的同步字节期间实施的。初始化后，PRBS 发生器连续运行，使每段内的有效数据加扰。但在后面附加入纠错码 RS 码期间阻断 PRBS 序列进入异或门，并在段同步和场同步期间也阻断 PRBS 序列进入异或门，也就是说，虽然 PRBS 发生器初始化后连续运行，但只对每场的有效数据起加扰作用。

在接收端的信道解码器中，有着与信道编码器内相同的 PRBS 发生器，并同样在对应时间上按规定的初始化值实现初始化，然后与相应的解码字节进行异或运算而完成去扰的作用。

2、RS 编码

ATSC 的 RS 编码电路如附图 3 所示。

ATSC 的 RS 码 (k, m, t) 取值为 (207, 187, t=10)。这意味着 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 码长在原理上应为 $n=2^8-1=255$ 字节，实施上述 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。

$$\begin{aligned} \prod_{i=0}^{2t-1} (x + \alpha^i) = & x^{20} + 152x^{19} + 185x^{18} + 240x^{17} + 5x^{16} + 111x^{15} + 99x^{14} + 6x^{13} \\ & + 220x^{12} + 112x^{11} + 150x^{10} + 69x^9 + 36x^8 + 187x^7 + 22x^6 + 228x^5 \\ & + 198x^4 + 121x^3 + 121x^2 + 165x + 174 \end{aligned}$$

在接受端，经格栅解码器解码的数据段输入至 (207, 187) 的 RS 解码器中，实现以数据段为单元的误码字节校正。任何由脉冲杂波、NTSC 同频道干扰引入或格栅解码器残余的突发误码，都可以通过去交织与 RS 纠错解码得到有效的校正。

3、数据交织

ATSC 的数据交织为字节交织。由交织原理可知，交织深度 I 值越大，抗突发误码的能力越强。ATSC 的交织采用了 52 数据段的交织深度，场同步段不交织，所以一场内 52 数据段对应于 1/6 场的交织深度，这属于段间交织的数据交织。工作

时切换开关 K_1, K_2 同步切换, 交织器同步于数据场第 1 数据段上, K_1, K_2 在每一支路位置上停留 1 字节, 共 52 条支路, 逐条支路的 FIFO 移存器数量递增 4 字节。因此, 数据不但在数据段之间交织, 又是段内交织的, 这有利于实现格栅编码的优点。每 52 数据段完成一个段间、段内交织循环。

这种电路形式称为 Forney 卷积交织方法, 是利用 FIFO 移位寄存器实现交织, 其优点是存储器容量减少和易于变更交织状况。

4 格栅编码 (TCM)

ATSC 中, 内编码不是通常形式, 比如是 2/3 编码效率的卷积编码, 而是 2/3 编码效率的格栅编码, 或称格形编码, 栅状编码或网格编码。

编码器分为干扰滤波器预编码器、格栅编码器和 8 电平符号映射器 3 部分。由梳状滤波器组成的预编码器其作用是避免与 NTSC 同频道信号间发生干扰, 参见附图 4。如图 (a) 所示, NTSC 频道 6MHz 内图像载波 V、色副载波 C 和声音载波 A 之间的相对位置, V 与频道下端相距 1.25MHz, C 比 V 高出 3.579545MHz, A 比 V 高出 4.5MHz, A 离频道上端 0.25MHz。其中 f_H 为 NTSC 行频。如图 (b) 所示, 梳状滤波器的频率响应, 根据滤波器中 $D=12$ 符号 $=1.115\mu s$ 的关系, 可以计算出滤波器在 6MHz 内有 7 个谷点, 相邻谷点间隔 $57f_H = 10.762\text{MHz}/12 = 896.85\text{kHz}$ 。

如图 (c) 和图 (d) 所示, ATSC 的载波位置 D 距离频道下端约 310kHz, 这也是第一个谷点的所在。依次推算, 第二谷点近乎对准 V, 第六谷点对准 C, 第七谷点近乎于对准 A。因此, 加入预编码后, ATSC 信号中在谷点处没有能量发射, 不会干扰同频道 NTSC 内主要能量所在的 V, C 和 A 附近的信号成分。另一方面, ATSC 解码器中有一个类同的梳状滤波器, 它能抑制来自同频道 NTSC 信号中主要能量所在的 V, C 和 A 附近的信号成分。这样, ATSC 编码器中的滤波器可抑制 ATSC 干扰同频道的 NTSC 信号, ATSC 解码器中的滤波器可防止 ATSC 接收机受到同频道 NTSC 信号的干扰。

根据附图 2 和附图 4, 可以计算出在 TCM 编码后的 8 电平残留边带载波调制 (8VSB) 中, 6MHz 已调制载波带宽内可传送的 MPEG-2 数据流的恒定码率为

$$T_r = 2 \times \frac{188}{208} \times \frac{312}{313} \times \frac{2 \times 342}{286} \times 4.5 = 19.39\text{Mbit/s}$$

另一方面, 传输的有效符号率为

$$S_r = \frac{2 \times 342}{286} \times 4.5 = 10.762 \text{ Msymbol}$$

根据附图 2, 数据段速率为

$$f_{seg} = S_r / 832 = 12.94 \times 10^3 \text{ 数据段/秒}$$

帧速率为

$$f_{frame} = f_{seg} / 626 = 20.66 \text{ 帧/秒}$$

这些数据是 ATSC 在 6MHz 频带内可携载信息量的基本参数。

5、VSB 调制器

VSB 调制器接收 10.7Msymbol/s 的 8 电平格状编码的复合数据信号。为了尽量缩小符号间干扰, 数据信号在 6MHz 信道传输之前必须适当进行频谱滤波, 在发射机和接收机处都要用一个线性相位升余弦的 Nyquist 滤波器。

发射机的 VSB 滤波过程由基带数据信号的复数滤波来实施, 生成经精确滤波的、稳定的同相位/正交相位的调制信号。正交的基带信号转换成模拟形式, 然后调制到正交的中频载波, 并用边带消除法生成残留边带的中频信号。中频载波的标称频率为 46.69MHz, 等于中频中心频率 (44.000MHz) 加上符号率除以 4 (10.762MHz/4=2.6905MHz)。附加的邻近频道的抑制将由 1 个线性相位、平坦幅度响应的 SAW 滤波器来完成。

在接受端, 解调器将接收到的调制信号经调谐、声表面滤波后送入解调电路。解调电路所需的载波由本地晶振产生, 其相位由调制信号中的导频通过频率和相位锁定环进行调整。解调器解调出被调制的信号。

§ 3.1.4 ATSC 的主要特征

美国 ATSC 标准规定了一个在 6MHz 带宽内传输高质量视频、音频和辅助数据的系统。它能在 6MHz 的地面广播信道中可靠地传输约 19.29Mbit/s 的数字信息, 或在一个 6MHz 的有线电视频道中可靠的传输 38Mbit/s 的数字信息。而这意味着该系统能提供的分辨率将是常规电视的 5 倍之多。ATSC 标准由以下几部分组成。

1、系统部分

ATSC 系统由信源编码和压缩、业务复用和传送、射频/传输 3 个子系统组成。信源编码和压缩可分别用于视频、音频和辅助数据进行数据压缩。在 HDTV 系统中,

视频编码使用 MPEG-2 视频码流语法，音频编码采用杜比 AC-3 数字音频压缩标准。业务复用和传送子系统是将视频、音频和辅助数据从各自的数据流分组中打包并复用为一个单一的数据流，该子系统采用 MPEG-2 传送码流语法。传送中充分考虑了各种数字媒体和计算机接口间的互操作性。射频/传输子系统完成信道编码和调制。信道编码的目的在于纠正传输过程中产生的差错。

2、视频部分

使用 MPEG-2 中系统和图像由两个规定，视频压缩符合 MPEG-2 MP@HL 规范，即符合主档次、高等级的定义，可允许 1920×1080 HDTV 视频格式。

3、音频部分

标准规定 HDTV 的音频编码系统基于杜比 AC-3 数字音频压缩标准。每个音频节目码流最多可包含 6 个音频声道：左、中、右、左环绕、右环绕和低频增强。无论是模拟或数字输入信号，最终都以取样频率为 48kHz 的数字音频传送，分辨率可高达 24bit。接收机可支持的最高音频比特率为 384kbit/s。

4、业务复用和传送系统

传送系统的格式和协议基于 MPEG-2 系统标准。采用由 MPEG 定义的固定长度传送流分组方式，对视频、音频和数据的复接提供了极大的灵活性，并保证了与其他媒体和标准之间的互操作性。

5、射频/传输系统

规定了 VSB 子系统的特性，VSB 系统提供两种模式：地面广播模式 (8VSB) 和有线电视模式 (16VSB)。

§ 3.2 欧洲的 DVB-C 标准

DVB 标准提供了一套完整的、适用于不同媒介的数字电视广播系统规范。DVB 选定 ISO / IEC MPEG—2 标准作为音频及视频的编码压缩方式，对信源编码进行了统一，随后对 MPEG—2 码流进行打包形成传输流 (TS)，进行多个传输流复用，最后通过卫星、有线电视及开路电视等不同媒介传输方式进行传输。

DVB 标准的核心是：系统采用 MPEG 压缩的音频、视频及数据格式作为数据源；系统采用公共 MPEG—2 传输流复用方式；系统采用公共的用于描述广播节目的系统业务信息用 (SI)；系统的第一级信道编码采用 R-S 前向纠错编码保护；调制与

其它附属的信道编码方式，由不同的传输媒介来确定；使用通用的加扰方式以及有条件接收界面。

DVB 数字广播传输系统利用了包括卫星、有线、地面、SMATV、MNDS 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。

DVB-C 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。^{【19】【20】【21】【22】【23】}

§ 3.2.1 DVB-C 的图像格式

像 ATSC 系统一样，DVB 系统中最先的参数规范是演播室参数标准和信源编码标准。演播室参数方面，目标是 SDTV，所以依据的标准就是 ITU-R BT. 601 建议，其图像格式为 $720 \times 576 / 50\text{Hz} / 2:1$ ，一帧 625 行，有效行 288×2 ，数字场消隐期 $24+25=49$ 行，4:2:2 取样模式，SDI 串行接口数据率为 270M bit/s。视频信源编码采用 MPEG-2 中的 MP@ML 标准，由于在 MPEG-2 系统标准中涉及的一些参数和字段在 DVB 中未使用，为了使 DVB 电视广播比特流与 MPEG-2 系统标准完全相符并与其将来的增强版本相容，以及使 IRD（综合接收解码器）能正确解码比特流，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。

§ 3.2.2 DVB-C 的信道编码与调制技术

DVB-C 有线前端与接收的原理框图如图 2.2 所示。

框图中涉及系统的帧结构、信道编码和调制传输，它以 MPEG-2 系统层为基础，加上适当的前向误码校正和采用合宜的调制方式。信道编码层尽量与 DVB-S 的编码相协调，使系统对于卫星传送的多节目数字电视便于进入 DVB-C 馈送网络向用户分配。与卫星数字电视系统的特性不同，有线数字电视广播系统的特性差别在于：一是传输信道的带宽窄，与地面电视广播同样为 8MHz，而不是卫星信道的 24MHz 以上；二是信号电平高，接受端最小输入信号 100mVpp 以上；三是传输信道质量好，光缆和电缆内的信号不易受到外来干扰。从图中可以看到其由以下几部分组

成：

1、基带物理接口

基带物理接口的作用是使 MPEG-2 基带信号形成 188 字节的一个个帧结构，每帧的头部包含一个同步字节 (SYNC)，每 8 个帧组成一个大帧，大帧中第一个帧的同步字节为反码。

2、数据随机化

数据随即化，也即是能量扩散，采用 15 个移位寄存器构成 PRBS 发生器，如图 3.4 所示。

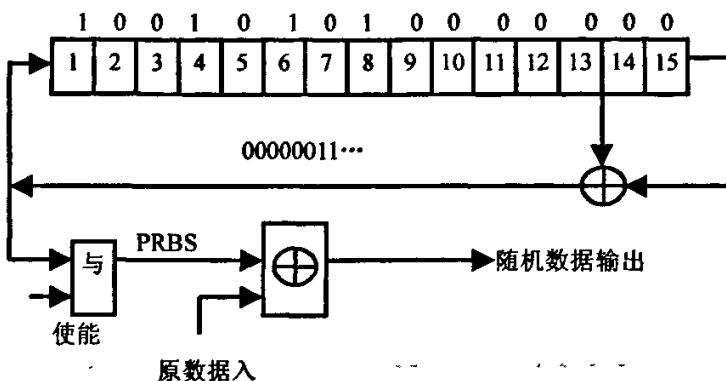


图 3.4 PRBS 发生器与加扰

PRBS 的生成多项式 $G(x)$ 为

$$G(x) = 1 + x^{14} + x^{15}$$

在每个大包的 SYNC 期间，PRBS 实现初始化，初始化值在图中表明为“100101010000000”，随后连续地工作，按照周期为 $2^{15}-1=32767$ 比特的 M 序列不断循环。但实际经过 1503 字节 = 12024 比特后又重新初始化。每个大包内其余 7 个 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。

另外，扰码处理不仅当存在输入比特流时保持运行，而且当无输入比特流或者比特流不符合 TS 流格式时也运行，以避免发射机调制器发射未经调制的单载波信号，成为大的干扰源。

3、RS 编码

RS 编码时在每 188 个字节后加入 16 字节的 RS 码 (204, 188, t=8)，监督码组的码生成多项式为

$$\prod_{i=0}^{15} (x + \alpha^i) = (x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \cdots (x + \alpha^{15})$$

式中, $\alpha = 02_{HEX}$ 。

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。它能够校正 TS 包内 8 个误码字节 ($t=8$)。

4、卷积交织

为了提供抗突发干扰的能力, 在 RS 编码后面采用字节为单元的交织, 称为字节交织或外交织, 交织深度 $I=12$ 字节。 $204=17 \times 12$ 。采用基于 Forney 方法的卷积交织, 它由字节单元的 FIFO 移位寄存器组成, 有 0~11 共 12 条支路。

假想 4 个开关同时切换, 在发送端, 每个 TS 包的第一个同步字节从 0 支路上直接输出, 第 2 个字节进入 1 支路的 FIFO 移位寄存器, 依此类推, 第 12 个字节进入 11 支路的移存器。而后下一个切换循环中, 第 13 字节从 0 支路上直接输出, 第 14 字节进入 1 支路的 FIFO 移存器, 依此类推。由于各支路有 17 字节的增量移存器, 所以发送端的输出字节顺序将是 1, 13, 25, 37…193, 2, 14…交织深度 $I=12$ 字节。由于接收端的相逆电路, 接收端的输出将是去交织后复原的字节顺序 1, 2, 3, 4…

自然, 输出相对于原始输入引入了一个延时。另外, 每个 TS 包的同步借助于使每个 TS 包的同步字节进出 0 支路来实现。

5、字节到 m 位符号变换

由于发射端在卷积交织之前以及接收端在卷积去交织之后, 信息都是以二进制比特的形式呈现。为方便计算, 在具体处理时以 8bit 构成的字节为单位进行。而在进行 2^m -QAM 调制解调时, 每个调制符号要与 m 个比特进行映射, 即每次调制解调要以 m 个比特为单位进行。因此要在字节与 m 位符号之间进行转换、映射。

DVB-C 系统中所规定的字节与 m 位符号之间的映射方式是这样的: 符号 Z 的最高位应对应于字节 V 的最高位, 相应地, 该符号的下一个有效位应与字节 V 的下

一个有效位对应。

一般的将 k 个字节映射到 n 个符号中, 应使得 k 、 m 、 n 之间满足下列关系: $8k=m \times n$ 。64QAM 调制时, I 和 Q 轴都应有 3 比特。构成 ± 1 , ± 3 , ± 5 , ± 7 的 8 电平, 因此, 每个符号应为 6 比特, 以便分成两路, 每路 3 比特。所以, 符号映射时可将 3 字节转换成 4 符号, 即此时 $k=3$, $n=4$, $m=6$ 。

6、差分编码

为了获得 $\pi/2$ 旋转不变的 QAM 星座图, 在 QAM 调制前须进行差分编码。差分编码对每个 m 位符号的最高两位进行。

m 位符号的最高位 A_k 与次高位 B_k 经过差分编码器生成 I_k 和 Q_k , 差分编码的布尔表达式为:

$$I_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$

$$Q_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (B_k \oplus Q_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (B_k \oplus I_{k-1})$$

7、基带成形

DVB-C 系统中的基带成形滤波器采用平方根升余弦滤波器, 其滚降系数为 0.15。

8、QAM 调制器

前面已经介绍了 MQAM 的调制原理, DVB-C 的调制方式就是 MQAM, 可以是 16, 32, 64, 128 和 256QAM, 典型值是 64QAM。表 3.1 给出了 QAM 调制特性的技术要求。

§ 3.2.3 DVB-C 的主要特征

DVB 系统内部传输媒体间有最大的互通性, 能灵活传送 MPEG-2 视频、音频和数据流, 使用统一的 MPEG-2 传送比特流复用, 使用统一的服务信息系统、统一的 RS 前向纠错系统、统一的加扰系统, 节目在不同的媒体间以类似无缝连接的形式无障碍的传输, 这称为“跨媒体互操作性”。所有的 DVB 系列标准完全兼容 MPEG-2 标准, 支持标准规定的各档次、等级和图像格式。其关键性特征可以归纳为以下三个方面。

1、系统部分

使用 MPEG-2 传送流 (TS); 服务信息 (SI) 基于 MPEG-2 的节目特殊信息 (PSI)

为 PSI 的延伸, PSI/SI 应用于所有 DVB 广播传输系统的传送流中, 用以提供广播节目的多种信息; 条件接收 (CA) 采用 MPEG-2 条件接收描述符, 条件接收系统用于控制节目接收或节目单元, 与发送端保持互操作。

2、视频部分

标准清晰度电视 (SDTV) 采用 MPEG-2 主档次主等级 (MP@ML), 高清晰度电视 (HDTV) 采用主档次高等级 (MP@HL); SDTV 的 IRD (综合解码接收机) 可选择支持 24Hz、25Hz、30Hz 的帧速率, HDTV 的 IRD 可选择支持 50Hz、60Hz 的帧速率; 图像宽高比和全屏亮度分辨率见表 3.2 和表 3.3。

表 3.1 QAM 调制特性要求

调制	64QAM90° 旋转不变编码: QAM 调制器 (发射机) 与 QAM 解调器 (接收机) 均应支持 64QAM
载波频率	适用于 8MHz 间隔
载波频率容差	对于频率范围上限处测量的 64QAM, 容差为 2×10^{-5}
频率范围	$87 \sim 1 \times 10^3$
符号率	STB 应至少支持 6~6.95Mbaud 符号率范围内的一个速率, 对于支持上行控制的带内信令系统, 该值应是 8kbaud 的倍数
相位噪声	<-75 dBc/Hz 1kHz <-85 dBc/Hz 10kHz <-100 dBc/Hz 1000kHz 及以上
信号元素编码	差分正交编码和正交的格雷编码
发射频率	升余弦平方根特性, 滚降系数 $\alpha = 0.15$
调制 I/Q 幅度失衡	<0.2 dB
调制 I/Q 时间差	$<0.02T_s$ (T_s =符号周期)
调制正交失衡	<1.0 度
RF 物理接口输入的接收电平 (下行带内信道)	50 dB μ V~ 80 dB μ V (RMS) (75)
解调器输入的 C/N(白噪声)	64QAM~30dB BER $<1 \times 10^{-12}$ (纠错后) (即 40Mbit/s 时每 7 小时一个错)
数字 QAM 信道 (RMS) 和模拟信道 (峰值) 的功率电平差	-10dB~0dB

表 3.2 HDTV 视频格式

类 别	图像分辨率	扫描方式	画面宽高比
HDTV	1920×1080	逐行/隔行	16 : 9
	1920×1035/1440×1152	隔行	16 : 9
	1280×720	逐行	16: 9/4: 3

表 3.3 SDTV 视频格式

类 别	每行像素	扫描行/扫描方式	画面宽高比
SDTV	720、640、544、480、352	576, 480/逐行、隔行	16: 9/4: 3
		288, 240/逐行	

3. 音频部分

IRD 必须支持 MPEG-2 的层 1 和层 2 (称为 MUSICAM)，对于已编码比特流，建议采用层 2。支持单通道、双通道、立体声、组合立体声和从 MPEG-2 兼容多声道音频中提取至少一个立体声对，支持 32 Hz、44.1 Hz 和 48 Hz 的取样频率，可选择支持 MPEG-2 兼容多声道音频和 AC-3 音频。

§ 3.3 DVB-C 与 ATSC 的比较

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 (Randomizers) 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 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。

第四章 DVB-C 系统的 System View 仿真

§ 4.1 System View 仿真系统简介

System View 是一个动态的系统仿真软件, 主要用于电路与通信系统的设计、仿真, 能满足复杂通信系统不同层次的设计与仿真的要求。

System View 以模块化和交互式的界面, 在大家熟悉的 Windows 窗口环境下, 为用户提供了一个嵌入式的分析引擎。使用 System View 你只需要关心项目的设计思想和过程, 而不必花费大量的时间去编程建立系统仿真模型。^{[24][25]}

System View 带有DVB专业库, 包括一整套在进行DVB系统设计和仿真时可能用到的辅助工具。利用它, 可以很方便的完成对基于欧洲电信标准ETS300 744下的各种DVB系统的仿真。它提供了一整套完整的模块, 可以分别对系统中各个层次上信号的产生及解调进行仿真。另外也提供了可以代表整个调制器或解调器的单个模块。通过对调制方式、调制模式参数、帧结构类型等各项参数进行灵活合理的设置, 就可以对各种模式的DVB系统进行仿真和分析。

§ 4.2 QAM 调制解调模块的仿真

QAM 调制解调器是 DVB-C 系统的重要组成部分之一, 其结构框图如图 4.1 所示。

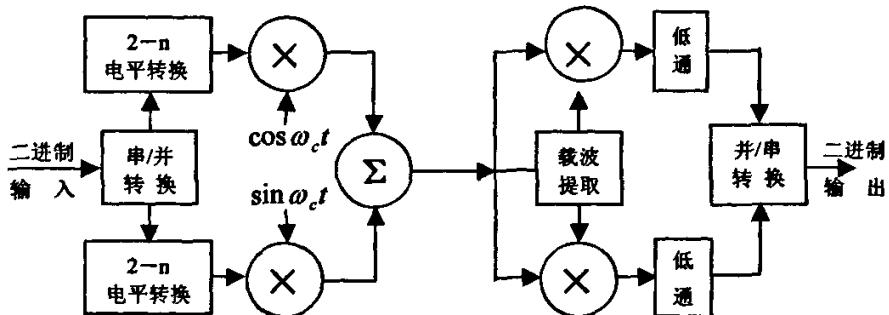


图 4.1 QAM 调制解调系统组成

图中 n 表示转换的电平数, 为了实现不同的 MQAM 调制方式, 对于 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM 和 256QAM, n 的取值分别为 n=4, 6, 8, 12, 16。

1、QAM 仿真模块的组成

QAM 的产生有两种方法：

(1) 正交调幅法: 它是用两路正交的电平振幅键控信号叠加而成。

(2) 复合相移法：它是用两路独立的移相键控信号叠加而成。

本文采用正交调幅法，并且省略了串/并和并/串变换部分，而用两路独立的电平基带信号代替。仿真模块如图 4.2 所示。

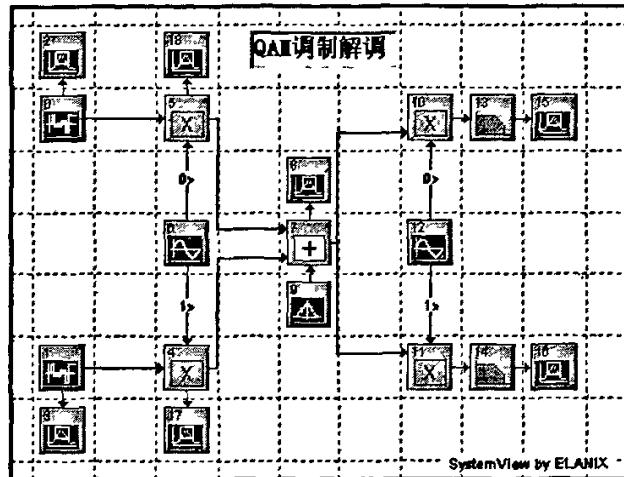


图 4.2 QAM 调制解调仿真模块的组成

2、参数设置

图 4.2 各个子模块的含义及参数设置如下：

Token0、1: 信号发生器—PN 码序列 (Amplitude=1, Rate=50Hz, No. Levels=4、6、8)。

Token6、12：信号发生器—正弦载波（Amplitude=1, frequency=1000Hz, phase=0）。

Token9: 高斯噪声发生器。

Token13、14: 模拟低通滤波器(截止频率=225Hz)。

为了便于观察波形, PN 码序列信号频率取 50Hz。因为载波频率应远远大于信号的频率, 所以这里载波频率选择了 1000Hz。模拟低通滤波器截止频率的选择是在上面的基础上产生的, 225Hz 是个最低值, 应该是在 225Hz 到 385Hz 之间都可以, 过低则低频含量太大, 过高则高频含量太大, 波形都不符合要求。采样频率的选择是考虑到仿真波形的效果, 应该大于最大信号频率的 5—7 倍, 达到 10 倍时仿真波形能达到逼真的效果。下面的仿真中也是以此为依据进行选择的。仿真时,

PN 码序列信号发生器 Token0、1 的参数 No. Levels 分别选择 4、6、8，实现 16QAM、32QAM 和 64QAM 三种调制解调器。

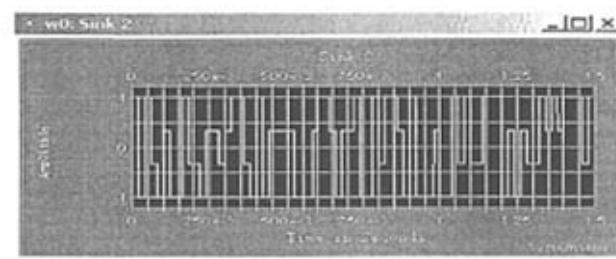
3、运行时间的设置

运行时间取 1.5 秒 采样频率取 10000 Hz。

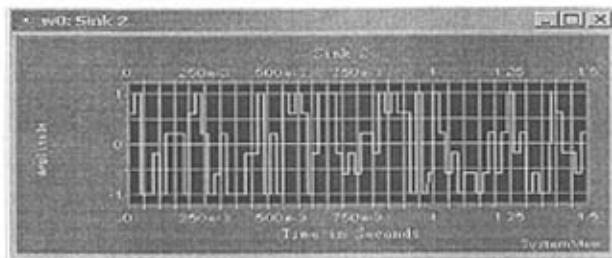
4、仿真结果

在 System View 系统窗内对上述模块进行仿真，观察各信号接收器的波形。

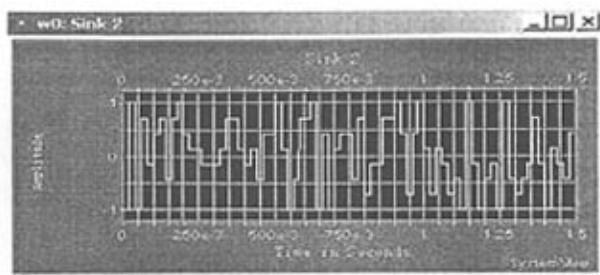
其中在 Token2 处观察到的一路基带信号波形如图 4.3 所示。



(a) 16QAM 基带信号



(b) 32QAM 基带信号



(c) 64QAM 基带信号

图 4.3 基带信号波形

在 Token8 处观察到的 QAM 调制波形，其中 64QAM 的调制波形如图 4.4 所示，16QAM 和 32QAM 的调制波形与此相仿，在此不再给出。

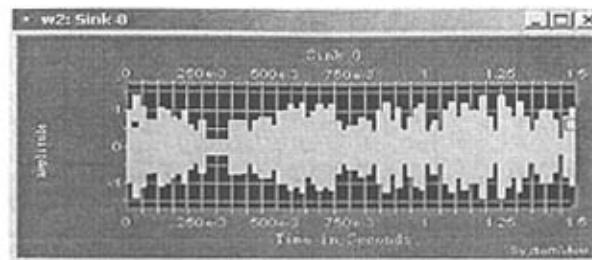
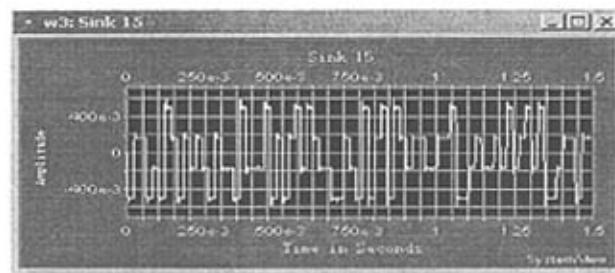
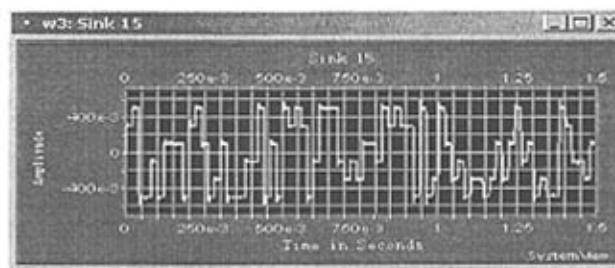


图 4.4 QAM 调制波形

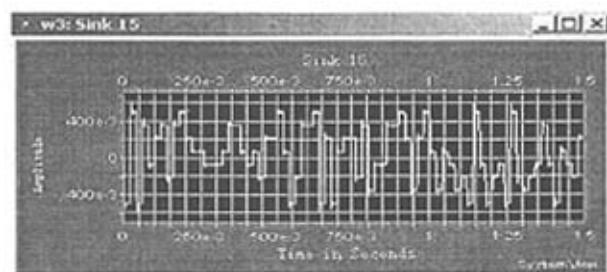
在 Token15 处观察到的解调波形如图 4.5 所示。



(a) 16QAM 解调波形



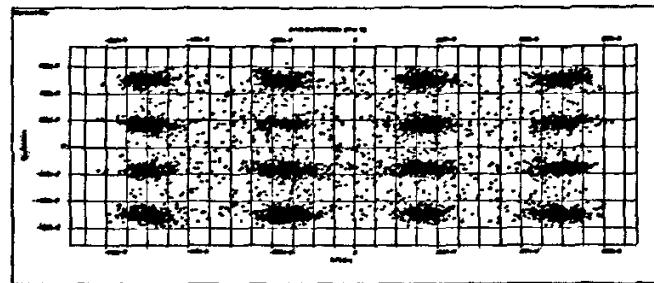
(b) 32QAM 解调波形



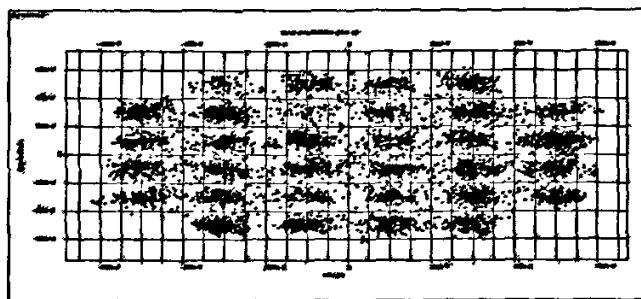
(c) 64QAM 解调波形

图 4.5 QAM 解调波形

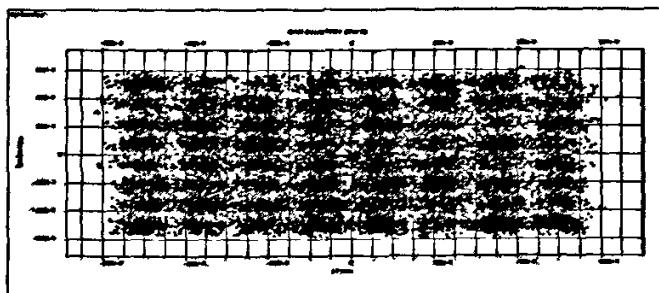
在分析窗中可以看到三种 QAM 调制信号星座图如图 4.6 所示。



(a) 16QAM 星座图



(b) 32QAM 星座图



(c) 64QAM 星座图

图 4.6 信号星座图

5、结果分析

本仿真模块利用两路独立的电平基带信号代替 I、Q 路信号，分别通过乘法器和由正弦载波变换输出的调制载波相加，合成信号输出时加高斯白噪声干扰。解调时参考载波和前面的调制载波选择相同，解调后的信号经过截止频率为 225Hz 的低通滤波后再恢复为原来信号。从信号波形和解调波形的对比可以看出 QAM 模块满足了设计要求，解调后基本去除了噪声干扰恢复了原来的信号。信号的星座图表明了 QAM 调制解调的正确性。在设计时要注意对参数进行正确设置，否则会使模块工作不正常，出现错误。如果星座图不能完整显示，可以适当的延长系统

运行时间，就可以达到效果。

§ 4.3 RS 编译码模块的仿真

RS 编译码在数字电视传输系统中属于信道编码的外编码，是由原系统的 RS (255, 239, 9) 码衍生的截短 RS 码。在欧洲的 DVB 和美国的 ATSC 两种不同的传输方式中使用的 RS 码也有所不同，但基本原理是一样的，在做仿真时只要设置好不同的参数就能实现两种不同的 RS 码。

DVB 的 RS 编译码器的仿真模块如图 4.7 所示，利用 System View 通信库中丰富的模块进行搭建。

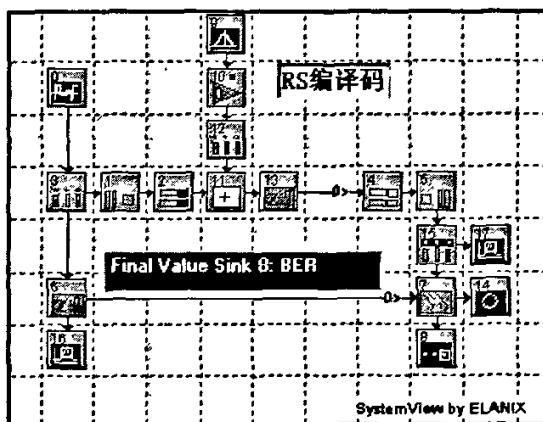


图 4.7 RS 编译码仿真模块组成

1、参数设置

图 4.7 中各个子模块的含义及参数设置如下：

Token0：信号发生器—PN 码序列 (Amplitude=0.5, Rate=14.9294e+6Hz, No. Levels=2)。

Token1、5：比特符号转换和符号比特转换 (Bits/Symbol=8, Threshold=0.5)。

Token2、4：纠错码编译码器 (RS, Code Length n=255, Info Symbols k=188, Correct t=8, No. Symbols=256, Padded Zeros= 51)。

Token3、12：采样器 (Rate_s=14.9294e+6Hz, Rate_{iz}=2.02499840425532e+6Hz)。

Token6、13：采样延迟 (Delay_s=3334, Delay_{iz}=43, 为被动属性, Fill Last Register)。

Token9：高斯噪声发生器。

Token10：增益 (Gain=-15dB, Gain Units=dB Power)。

Token11: 加法器。

Token15: 重新采样器 (Rate=14.9294e+6Hz)。

Token7: 比特误码率 (No. Trials=1bits, Threshold=0.5v, Offset=3334bits)。

Token8: 终值。

Token14: 停止 (Threshold=50, Active=Go To Next Loop)。

本模块的参数按照 DVB-C 的标准进行选择, 信号源的码率是 RS 编译码器在 DVB-C 仿真系统内的码率 14.9294e+6Hz。比特符号转换的值与 RS 编译码器相符选择了 8, 为实现 (204, 188, 8) RS 编码, RS 编译码器的参数为 (255, 188, 8), ZERO 参数为 51. 其中在设置时不能马上选择参数的是采样器、重新采样器和延迟器, 采样器和重新采样器需要在系统运行时根据相应的码率来设定。

在设计时特别需要注意的是延迟器延迟时间的确定。在简单的系统中, 系统群延时是通过理论逐步推算出来的。在本仿真模块中影响延迟时间主要因素有: 编码器的编码延时、译码器的译码延时、字节和符号之间互相变换的延时以及为了调节码率在加入干扰后所插入的延时模块的延时。将这些因素产生的延时相加即可得到整个系统的群延时时间, 也就是延迟器的延迟参数。本仿真由于涉及到字节和符号的变换, 较为复杂, 用理论推算的方法算出的结果不准确, 所以采用了下面的方法。

仿真时设定延迟时间的具体步骤是: 首先将延时子模块 Token6 的延时设置为 0, 并关闭噪声 (子模块 Token9 的值设为 0)。然后设定一个相对较小的系统采样周期, 并运行系统。进入 System View 的分析窗口, 按分析运算器按钮, 选择分析运算的交叉相 (cross-correlation) 功能。此时必须在右边上、下的选择栏中选择其中的相关数据窗口 (Token16 输入数据和 Token17 译码输出)。按确定按钮可生成一个新的数据窗口如图 4.8 所示。将该窗口选择为当前 Windows 活动窗口, 按工具条上的统计按钮, 出现如图 4.9 所示的统计表窗口, 激活该窗口的 "Sample No" 选项, 其中最大相关值的位置显示为 "@s3334", 表示最大相关点在第 3334 个采样点, 因此可以确定应将系统的群延时设置为 3334 个采样。将子模块 Token6 的延时值设为 3334 个采样, 并恢复噪声幅度, 同时将系统采样周期恢复。这样就准确的设定了延迟时间, 可以进行这个模块的仿真了。在后面的仿真中的延迟时间问题也是这样解决的。

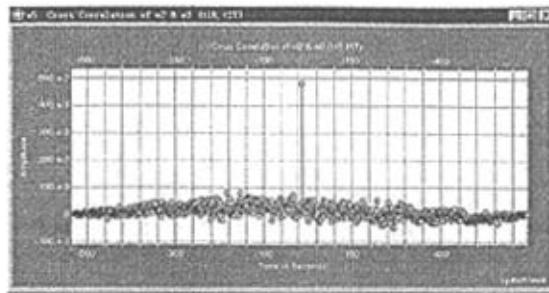


图 4.8 采样点相关波形

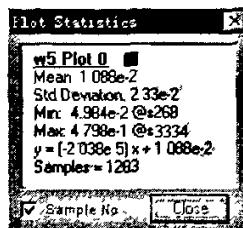


图 4.9 统计表窗口

2、运行时间的设置

运行时间=3e-3 秒；采样频率：32.4e+6Hz；循环次数为 5 次。

3、仿真结果

在 System View 系统窗内进行仿真，观察信号接收器的波形。其中误码率曲线如图 4.10 所示，横坐标是信噪比，纵坐标是误码率。

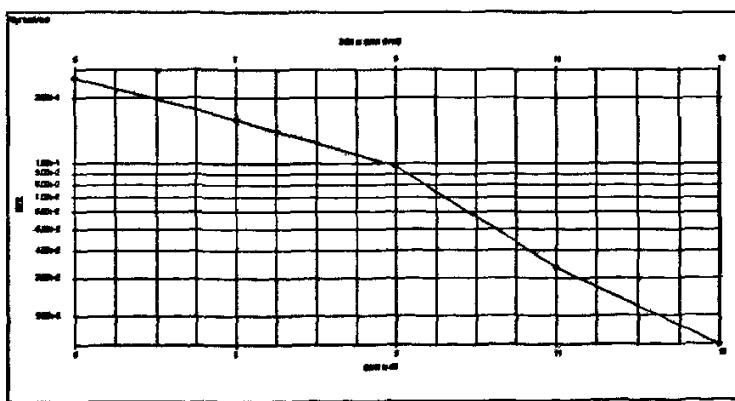


图4.10 比特误码率曲线

循环时的误码率计算结果如图4.11所示

Final Value Sink 8: BER			
Loop	N	Time	Value
1	216	108.5000000000000	2.32558139534884e-1
2	605	260.276863084922	1.28865979381443e-1
3	1117	442.777296360485	9.78473581213307e-2
4	2471	835.807625649913	3.69549150036955e-2
5	12753	3.46084055459272e+3	4.86334014200953e-3

图4.11 误码率计算结果

4、结果分析

在对本模块仿真时，对RS子模块按照数字电视传输的标准进行参数选择，所以在编码和译码时选择增加51个全零字节，来实现截短RS编码（204, 188, 8），经RS编码程序后，这些无用的字节将被删除。实验中使用的是（255, 188, 8）RS码，中间使用了比特符号和符号比特转换器，转换参数为每符号8比特。信道中的噪声用高斯噪声信号源来仿真，并使用了一个放大器作为信噪比控制器。在仿真电路中除了对误码率进行计算以外，还在编码前和解码后的电路中加观察窗进行波形观察。通过观察可知，RS编解码工作正常，误码率随着信噪比的增加逐渐下降，当信噪比增加到14dB时误码率降到了 10^{-3} ，误码率曲线符合标准，仿真成功。需要注意的是，该误码率曲线是仿真运行的结果，与理论计算的结果有一定的差别。每次循环运行的时间越长，即计算误码率时所取得的码元个数越多，仿真结果与理论结果就越接近。但由于受机器性能限制，仿真时循环次数不能太多，因而没有做更多码元的仿真。

§ 4.4 交织与解交织模块的仿真

在有线数字电视中，其外交织采用了基于 Forney 方法的卷积交织，其深度 DVB-C 为 $I=12$ ，ATSC 为 $I=52$ 。运用通信库中的模块加上其他模块可以很方便的作出交织编码模块。

在本模块中为了方便观察波形，编译码方式选择了戈雷码，交织选择了 23×23 ，为检测其抗突发性干扰的能力，干扰源采用的不是高斯白噪声，而是脉冲突发干扰。仿真模块组成见图 4.12。

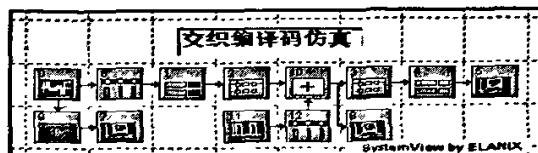


图 4.12 交织编译码模块组成

1、参数设置

图 4.12 中各个子模块的含义及参数设置如下：

Token0：信号发生器—PN 码序列 (Amplitude=1, Rate=10Hz, No. Levels=2)。

Token1、4：纠错码编译码器 (Golay, n=23, k=12, t=3, Threshold=0.5v, 补零为 0,)。

Token2、3：交织编码 (Rows=23, Columns=23, 前为交织, 后为去交织)。

Token6、12：重新采样器 (Rate_s=100Hz, Rate_z=191.666667 Hz)。

Token9：延迟 (Non-Interpolating, Delay=5.76s=5760.0smp)。

Token10：加法器。

Token11：信号发生器—脉冲串 (Amp=2, Rate=1000Hz, Freq=1, PulseW=0.1s)。

交织模块的参数选择建立在便于观察波形的基础上，其中重要的是模拟突发干扰的脉冲串的频率和采样频率要成倍数关系，所以模块 Token11 的频率取 1000Hz。这样产生的波形能清楚的反映出交织的过程。其他参数按照 DVB-C 标准进行选择。

2、运行时间的设置

运行时间：16.383 秒；采样频率：1000 Hz。

3、仿真结果

在 System View 系统窗内对模块进行仿真，观察信号接收器的波形。

仿真波形如图 4.13 所示

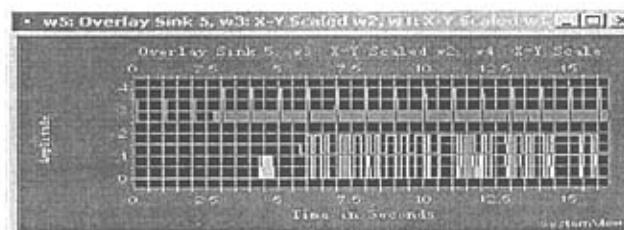


图 4.13 仿真波形

4、结果分析

上图为输入数据、解码输出及被干扰产生突发错误的波形覆盖示意图。从图中可以看到，上面是交织后叠加了脉冲干扰的波形，中间是输入的原始信号，下面是解交织后输出的波形。由图可知 100ms 的突发错误被完全纠正，所设计的交织编码模块符合设计要求。由于使用交织编码所以应该存在 2 倍的编码、解码延

时, 即 $2 \times 23 \times 23$ 个采样周期。因此要观察到一个以上完整的解交织周期的数据信号, 系统的采样点数应该稍微设置长一些。

§ 4.5 DVB-C 系统仿真

数字电视有线传输系统中, 由于信道是同轴电缆或光纤, 信道特性要比卫星传输和地面传输信道好, 其衰落和干扰主要包括路径损耗、平坦衰落、频率选择性衰落和脉冲干扰。通过适当的增加增益和发射功率就可以减少衰落; 选择恰当的信道编码可以解决脉冲干扰的问题。因此, 有线传输系统没有卫星传输系统和地面传输系统那样复杂。

由图 2.2 可知, DVB-C 数字电视传输系统发送端由能量扩散、RS 编码、卷积交织、字节到符号的映射、差分编码、基带整形和 QAM 调制等模块组成, 接收端包括 QAM 解调、差分解码、符号到字节的映射、卷积去交织、RS 解码和解能量扩散等模块。据此, 利用 System View 仿真库中的模块做出的 DVB-C 系统仿真模块如图 4.14 所示。

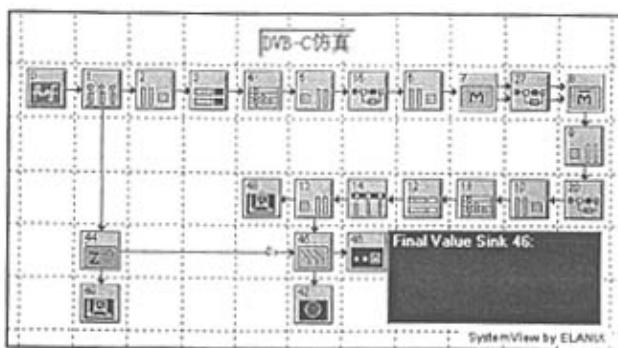


图 4.14 DVB-C 系统仿真模块组成

1、系统仿真模块的组成

图4.14中子模块0以PN序列发生器产生的伪随机信号为信号源, 模拟TS码流。其速率为38.1Mbit/s (这是64QAM调制方式下选择的参数)。采样器速率和信号源速率相同, 使每位一个采样点, 以便后面的编码处理。采样后的比特流经过子模块2完成比特到符号的转换, 将每8位转换成一个符号。子模块3是RS编码器, 完成RS (204, 188, 8) 的编码功能。随后子模块4完成交织功能, 交织的深度为I=12。子模块5实现符号到比特的转换, 子模块15实现差分编码, 子模块6和子模块7生成

I、Q信号，为QAM调制做好了准备。子模块27是前面设计的QAM调制解调器，在仿真时，分别对三种不同的调制方式（16QAM, 32QAM, 64QAM）进行了仿真和比较，其中包含基带整形电路，参数为0.15。其后面的子模块依次是解码后的I、Q合并、差分解码、解交织和RS解码，最后恢复信息比特流。子模块45、46、47完成误码率测试，在此前面从采样器传来的信号源信号要经过延迟（子模块44）才能和输出信号进行比较。DVB-C传输系统采用前向纠错编码(FEC)和QAM调制技术，以保证传输系统的可靠性。仿真64QAM调制解调器时设置的参数见表4.1。在仿真16QAM和32QAM调制解调器时，某些参数要做相应的修改，具体见表4.2。

表 4.1 DVB-C 系统仿真参数表

图标符号	图标名称	参数设置
0	信号源库, PN 序列发生器	Amp=0.5 V, Offset=0.5 V, Rate=38.1MHz, Levels=2, Phase=0°
1	算子库, 采样器	Rate=38.1MHz
2, 6, 10	通信库, 比特到符号转换器	MSB is first bit, Bits/Symbol=8, Threshold=0.5
3	通信库, RS 码编码器	RS Code Length n=255, Info Symbols k=188 Correct t=8, No. Symbols=256, Padded Zeros=51, Offset=0s
4	通信库, 交织器	Mode=Interleave, Registers=12 sampls, Length=17 sampls, Offset=0s
5, 9, 13	通信库, 符号到比特转换器	MSB is first bit, Bits/Symbol=8
7	DVB 库, 符号映射器	Modulation Type=3, Alpha Hierarchy Mode=1
8	DVB 库, 符号逆映射器	Modulation Type=3, Alpha Hierarchy Mode=1
11	通信库, 解交织器	Mode=De-Interleave, Registers=12 sampls, Length=17 sampls, Offset=2367 bits
12	通信库, RS 码解码器	RS Code Length n=255, Info Symbols k=188 Correct t=8, No. Symbols=256, Padded Zeros=51, Offset=4611 bits
14	算子库, 重采样器	Rate=4.7625MHz
15	子系统, 差分编码	
20	子系统, 差分解码	
27	子系统, QAM 调制解调	
45	通信库, 误码率计算	No. Trials=1bits, Threshold =0.5V, Offset =25400 bits
46	观察窗库, 运行终止观察窗	无
47	观察窗库, 控制终止观察窗	Action=Go To Next Loop, Memory=Retain last Sample, Threshold=10
48, 49	观察窗库, 分析型观察窗	无
系统时钟	开始时间 0s, 采样频率 190.5MHz, 采样点数 184401 个	

表 4.2 中的有用比特率是做仿真时输入信号码率的关键参数。其它子模块的码率都是根据它来得到和设定的。

表 4.2 三种调制方式对应参数

调制方式	有用比特率 R_u MPEG-2 TV (Mbit/s)	总比特率 R_u' 包括 RS (Mbit/s)	电缆符号率 (Mbaud)	占用带宽 (MHz)
64QAM	38.1	41.34	6.89	7.92
32QAM	31.9	34.61	6.92	7.96
16QAM	25.2	27.34	6.84	7.86

在图 4.14 中, 子模块 15、20 为差分编码和差分解码子系统, 其具体结构见图 4.15, 这两个子系统完成差分编解码功能。子模块 27 是 QAM 调制解调子系统, 其具体结构见图 4.16, 它在图 4.2 的 QAM 调制解调模块的基础上增加了五个采样器, 起到保持码率的关键作用, 同时增加了基带整形电路。

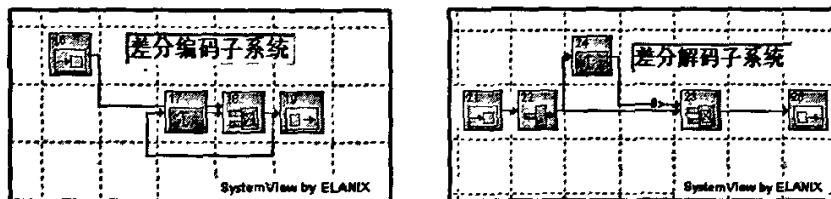


图 4.15 差分编解码子系统

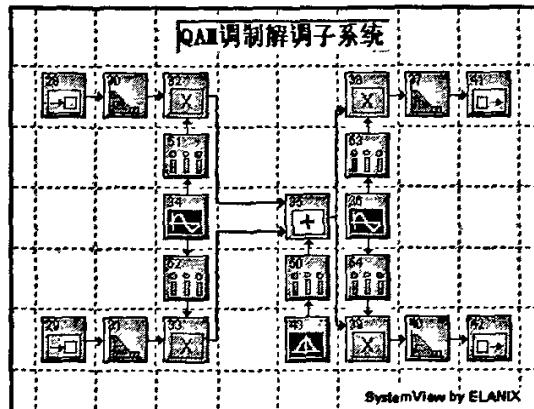
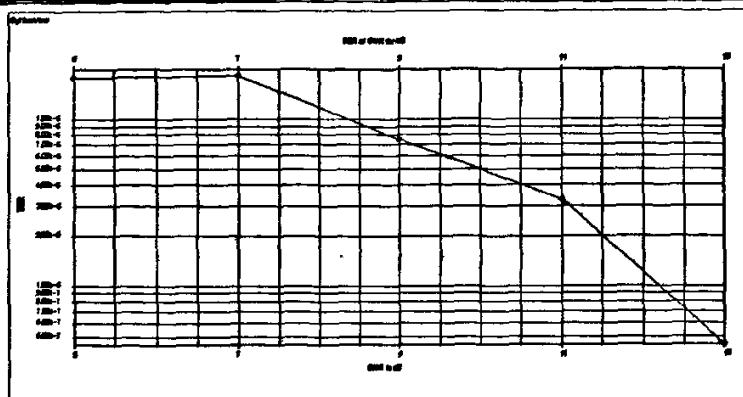


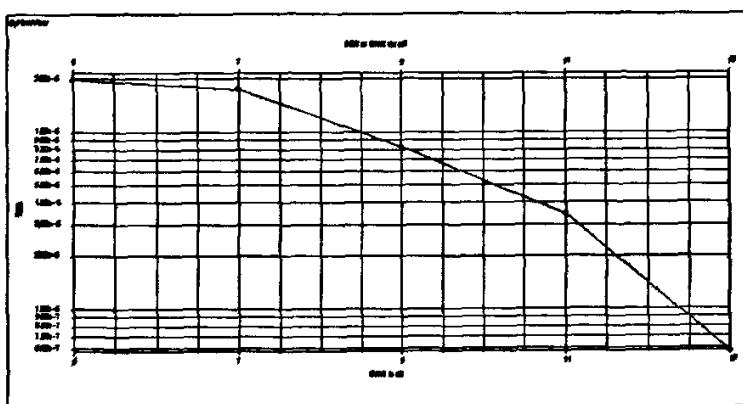
图 4.16 QAM 调制解调子系统

2、仿真结果

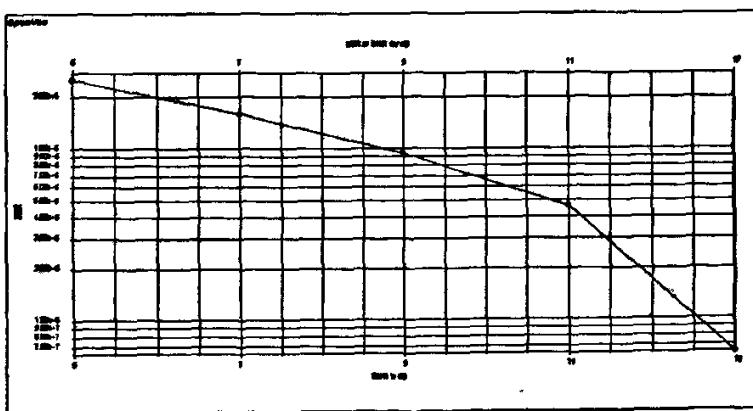
在 System View 系统窗内对图 4.14 所示的 DVB-C 系统进行仿真, 其中调制解调器分别采用 16QAM, 32QAM 和 64QAM。在信号接收器观察到的波形如图 4.17 所示。



(a) 16QAM 误码率曲线



(b) 32QAM 误码率曲线



(c) 64QAM 误码率曲线

图 4.17 误码率曲线

3、结果分析

在仿真时, 以 8MHz 带宽为准, 相应的参数选择见表 4.2。

运行系统后，对三种 QAM 调制方式输出的误码率进行观察，对波形进行同比例比较可以发现，经过按照 EST 300 744 标准规定的编码、交织以及相对应的解码、解交织后，完全恢复了原来的信息。在图 4.17 中，横坐标是信噪比，纵坐标是误码率。对误码率曲线进行分析可以看到，三种调制方式的传输系统的误码率在信噪比为 14dB 时都低于 10^{-7} ，仿真是成功的。

§ 4.6 仿真分析总结

1、QAM 调制解调模块

对 QAM 调制解调模块的仿真采用三种调制方式 (16QAM, 32QAM, 64QAM) 进行，因为 DVB-C 传输系统适合于这三种调制方式，在不同的调制方式下进行系统数据容量和数据可靠性的折衷。在占用 8MHz 带宽的情况下，我们对三种调制方式所作的仿真模块都能满足设计要求，为后面进行 DVB-C 系统仿真做好了准备。更高的调制方式 (128QAM, 256QAM) 也是系统允许的，但它们的使用取决于有线网络的容量是否能应付降低了的解码余量。考虑到更多层次电平的 QAM 调制技术处理复杂和设备价格的问题，没有对其进行仿真。

2、RS 编译码模块

由于 RS 码性能优越和纠错能力强大，因此 RS 码在数字电视传输系统中被广泛地应用。为了使 DVB-C 传输系统的仿真更准确，设计了该模块，如图 4.7 所示。由前面的仿真结果可知，其设计是成功的，能实现 RS 编解码的功能。在仿真分析时，对误码率的仿真结果和理论结果进行了比较，见图 4.18。通过比较可以看出，所得到的误码率与理想结果之间的差别很小，想获得理想的误码率曲线，要加大循环的次数才可以解决。

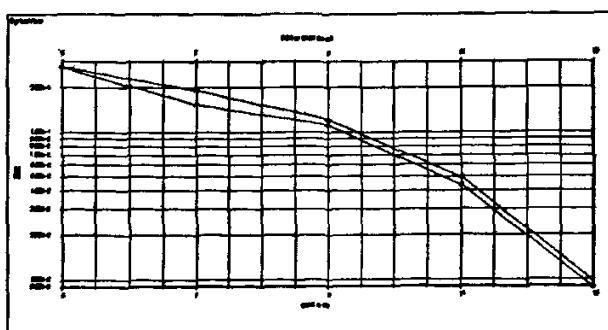


图 4.18 RS 编解码误码率仿真结果与理论结果的比较

3、交织与解交织模块

交织与解交织模块的仿真同样也是DVB-C系统仿真的重要内容。因为数字电视有线传输的主要干扰来自脉冲干扰，因此，数据交织的主要作用就是抗突发干扰。仿真结果表明前面设计的交织与解交织模块（见图4.12），对突发的脉冲干扰进行了纠正，恢复了正常的波形，起到了抗突发干扰的作用，而且效果明显。

4、DVB-C系统模块

对DVB-C系统的仿真是仿真工作的重点，前面的几个模块的仿真都是为它所做的准备工作。现在国内的CATV网络，带宽为8MHz，因此，仿真时以表4.2为依据选择仿真参数，对三种调制方式分别做了仿真，并进行了比较。理论分析和仿真结果表明：

（1）QAM调制进制数越大，传输的信息量越多，系统的抗干扰能力就越低，因此，在同样的信道中，16QAM和32QAM的误码率要比64QAM低的多；

（2）从传输码率来看，在占用带宽相同的情况下，32QAM和64QAM相差不大；

（3）就频谱利用率而言，QAM调制的进制数越大，其频谱利用率就越高。32QAM和64QAM的频谱利用率为 4.3bit/s/Hz 和 5.3bit/s/Hz （因为理想情况下，最高频谱利用率 $=\log_2 M \text{ bit/s/Hz}$ ，实际频谱利用率 $\eta = \log_2 M / (1 + \alpha) \text{ bit/s/Hz}$ ，式中M为QAM调制的进制数， α 为滚降系数）^[4]；

（4）在价格方面，调制进制数越大，设备就越复杂，成本就越高。

综上所述，对于国内现有的8M带宽的CATV网络来说，采用32QAM调制时能容纳32Mbit/s的有效载荷容量，误码率在 10^{-7} 以下，频谱效率高达 4.3 bit/s/Hz ，系统成本相对较低，特别适合在我国的CATV网络中采用。当然，在经济条件允许、技术条件具备时，64QAM也是较好的选择。对于128QAM和256QAM，它们的使用取决于有线网络的容量是否能应付降低了的解码余量，因为其技术复杂，设备成本高，因此目前没有使用的必要。随着科学技术的发展和传输系统的需要，将来也可能得到更多的利用。

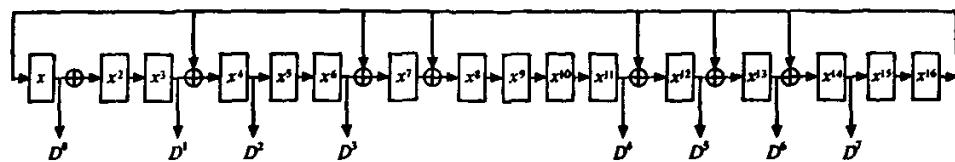
结束语

本文对世界上最流行的ATSC和DVB-C两种数字电视标准进行了研究，针对我国有线电视网络广阔，发展有线数字电视是今后工作重点的特点，对数字电视有线传输系统的组成和关键技术做了详细的探讨。在此基础上，利用仿真软件System View，构建了16QAM、32QAM、64QAM调制解调器、RS编译码器、卷积交织与解交织器、差分编解码器等DVB-C系统的主要电路模块和整个DVB-C系统的仿真模型，并对上述模块和整个DVB-C系统进行了仿真，对系统在分别使用16QAM、32QAM和64QAM的情况下性能做了对比分析。分析和仿真结果表明，在我国目前的CATV网络中传输数字电视信号选择DVB-C传输标准是合适的，其中32QAM调制方式在性能和价格上具有很大的优越性，在经济条件允许的情况下也可以选择64QAM调制方式。

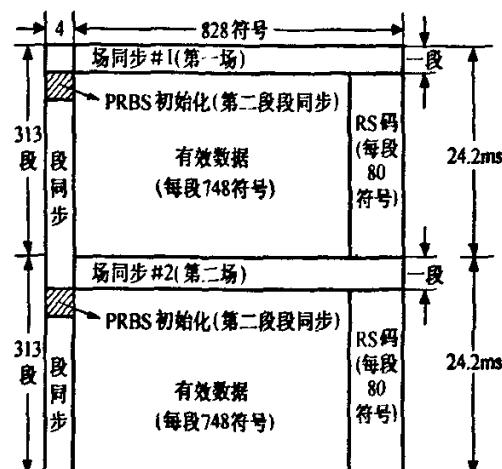
由于时间的关系本文只对DVB-C传输系统进行了仿真和分析，对美国的ATSC有线电视传输系统没有进行仿真，其它方面的研究也不够深入，有待于进一步加强，为此提出以下几点建议和设想：

- 1、选择更好的仿真软件，对系统进行更精确的仿真，对128QAM, 256QAM也进行仿真分析；
- 2、对ATSC有线数字电视系统进行仿真，并和DVB-C进行比较，找到它们的优点以及存在的不足；
- 3、通过更深入的研究，探讨更适合我国的具有自主知识产权的数字电视有线传输系统技术方案。

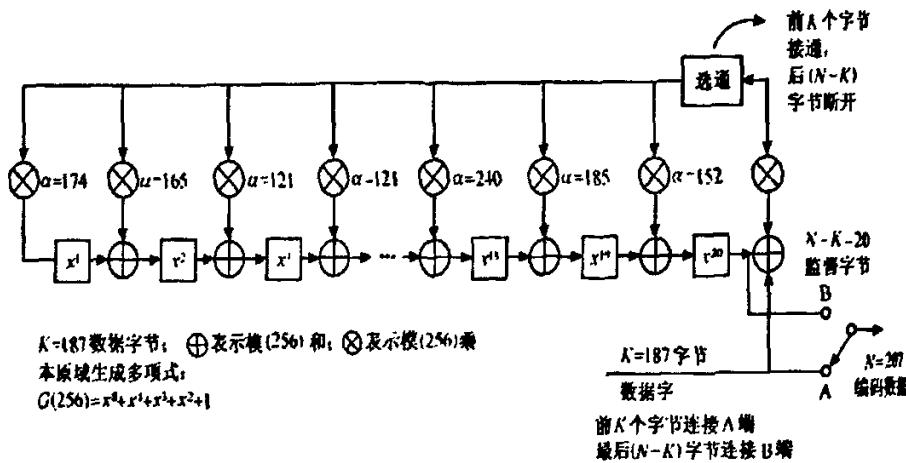
附录



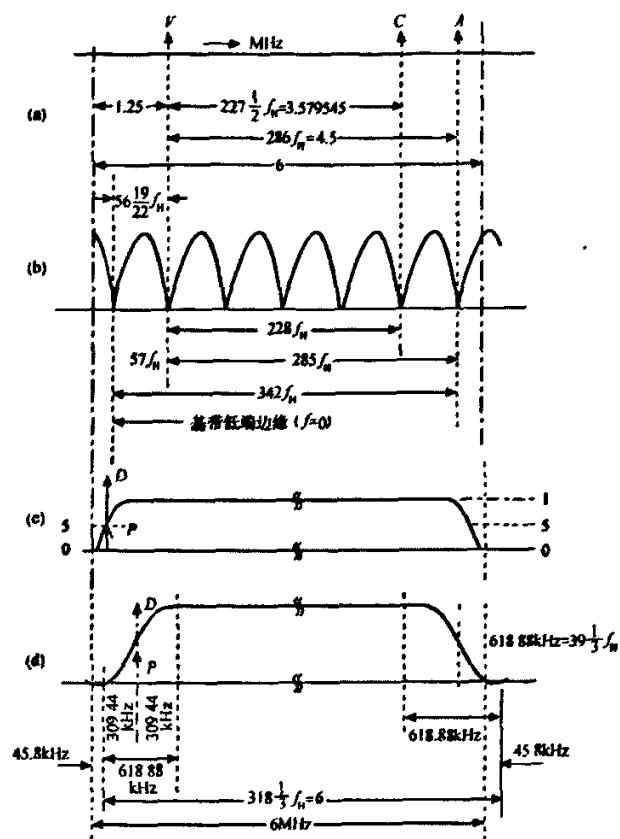
附图 1 ATSC 采用的加扰框图



附图2 ATSC的帧结构



附图3 ATSC的RS编码电路



附图 4 6MHz 内预编码器的作用

参考文献

- 1、 刘修文. 数字电视有线传输技术[M]. 电子工业出版社, 2002. 9
- 2、 余光明, 余智. 数字电视原理[M]. 人民邮电出版社, 2004. 4
- 3、 姜秀华. 数字电视原理与应用[M]. 人民邮电出版社, 2003. 9
- 4、 余光明, 余智. 数字电视传输与组网[M]. 人民邮电出版社, 2003. 9
- 5、 卢官明等. 数字电视原理[M]. 机械工业出版社, 2004. 1
- 6、 查日勇, 李栋, 余光明. 数字电视传输中的关键技术. 第二讲能量扩散技术[J]. 中国多媒体视讯, 2003. 4
- 7、 余光明, 余智. 数字电视传输中的关键技术. 第九讲 R-S 编码[J]. 中国多媒体视讯, 2003. 12
- 8、 王伟明, 余光明. 数字电视传输中的关键技术. 第三讲数据交织[J]. 中国多媒体视讯, 2003. 5
- 9、 余光明, 余智. 数字电视传输中的关键技术. 第八讲格状编码[J]. 中国多媒体视讯, 2003. 11
- 10、 查日勇, 余光明. 数字电视传输中的关键技术. 第五讲数字调制[J]. 中国多媒体视讯, 2003. 7
- 11、 张兆阳, 高磊, 李光球, 姚庆栋. 格状编码 8VSB 在 HDTV 数字电视传输中的应用[J]. 电视技术, 1995 (15): 2—4
- 12、 余智. 数字电视的数字调制技术[J]. 有线电视技术-2002. 4:26-30
- 13、 ISO/IEC 13818-1 (1996) : “Coding of moving pictures and associated Audio Part 1:Systems” [S].
- 14、 ISO/IEC 13818-2 (1996) : “Coding of moving pictures and associated Audio Part 2:video” [S].
- 15、 ISO/IEC 13818-3 (1997) : “Coding of moving pictures and associated Audio Part 3:Audio” [S].
- 16、 Rec. ITU-R BT. 500-9 Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures[S].

- 17、Rec. ITU-R BT. 601-5 Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios[S].
- 18、Rec. ITU-R BT. 656-4 Interfaces for digital component video signals in 525-line and 625-line television systems operating at the 4:2:2 level of recommendation ITU-R BT. 601[S].
- 19、刘文开, 刘远航. 有线广播数字电视技术[M]. 人民邮电出版社, 2003. 10
- 20、ETR 154. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in satellite, cable and terrestrial broadcasting applications[S].
- 21、TR101 291 V1. 1. 1 Usage of the DVB test and measurement signaling channel embedded in an MPEG-2 transport stream[S].
- 22、Digital Video Broadcasting framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television. European Standard (telecommunications series) ETSI EN 300 744 V1. 2. 1, 1999
- 23、郑志航. 全数字高清晰度电视和 DVB[M]. 北京中国广播电视台出版社, 1999
- 24、青松, 程岱松, 武建华. 数字通信系统的 System View 仿真与分析[M]. 北京航空航天大学出版社, 2001. 6
- 25、欧阳长月. 数字通信—传输原理及应用[M]. 北京航天航空大学出版社, 1990
- 26、樊昌信, 张甫翊, 徐炳祥, 吴成柯. 通信原理[M]. 国防工业出版社, 2004
- 27、罗新民, 张传生, 薛少丽. 现代通信原理[M]. 高等教育出版社, 2003
- 28、Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems EN 300 429 V1. 2. 1 (1998)
- 29、DVB-T SIGNAL OVER CABLE TV NETWORK AND PHASENOISE REQUIREMENTS. ALI HAZMI, JUKKA RIMVE and MARKKU RENFORS. Tampere University of Technology. Telecommunications Laboratory
- 30、GY/T 170-2001. 有线数字电视广播信道编码和调制规范[S].

致 谢

首先感谢我的导师张有志教授。在我三年的研究生学习生活期间，张老师从各个方面都给了我很大的帮助和关怀。无论是课业学习、论文选题、资料收集，还是论文的撰写，张老师都给予了细心的指导和无私的帮助，使我受益匪浅。在这里对张老师的辛勤劳动表示最真挚的感谢！谢谢张老师！

三年来在信息学院这个大家庭中生活学习，在学习上得到了很多老师和同学无微不至的帮助，使我在学业上有了长足的进步，在这里也一起向各位老师和同学表示最衷心的感谢！特别是我同一实验室的同学，张进秋、张国栋、王飞、郝小苒，在我的论文撰写期间给了我很大的帮助和关心，谢谢你们了！

最后，衷心的感谢信息学院的各位领导、全体老师三年来对我的教育和培养，我的成绩离不开你们的奉献，感谢你们！

攻读硕士研究生期间发表的学术论文

刘钰, 张有志. 一种用 VHDL 语言设计的数字密码锁. 信息技术与信息化, 2004 年第四期.