

第9章 ——

有线和卫星数字电视广播系统

广播电视系统的基本组成

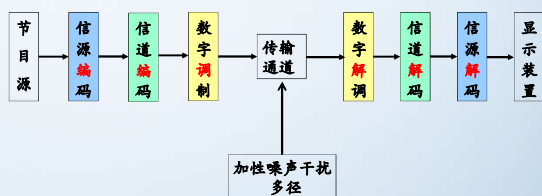
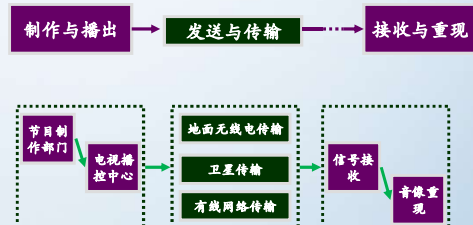


图9-1 数字电视广播系统组成框图

9.1 有线数字电视广播系统概述

- 有线数字电视系统具有图像质量好、抗干扰能力强、频道资源丰富、宽带入户、以及容易实现交互功能等优点
- 有线电视系统：
 - * 早期：共用天线系统（CATV, Community Antenna Television）
 - * 1970s以后：有线电视系统（CATV, Cable Television）
- 我国的有线电视接入网采用宽带双向HFC结构

9.1.1 有线电视系统的基本构成

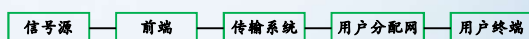


图9-2 有线电视系统基本构成图

➢ 前端：

任务是从信号源送来的信号进行滤波、变频、放大、调制、混合等，使其适合在干线传输

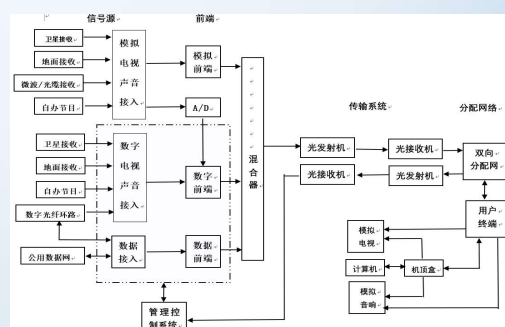
➢ 干线传输网：

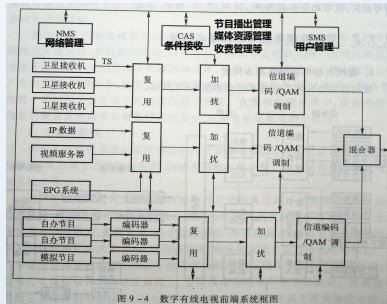
把前端输出的高频符合电视信号传输给用户分配网

➢ 用户分配网：

把有线电视信号合理分送到户

图9-3 现代有线电视网络的基本构成





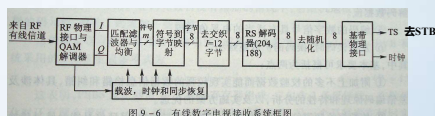
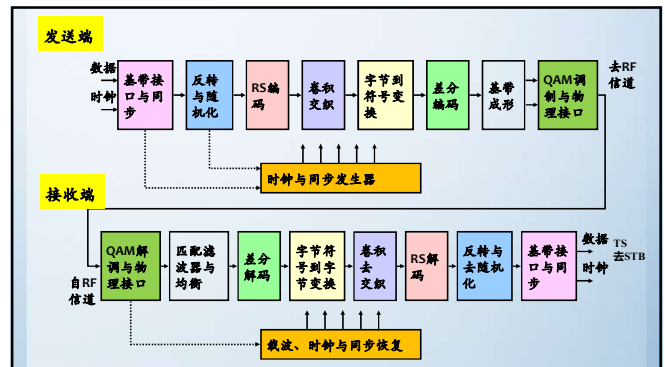
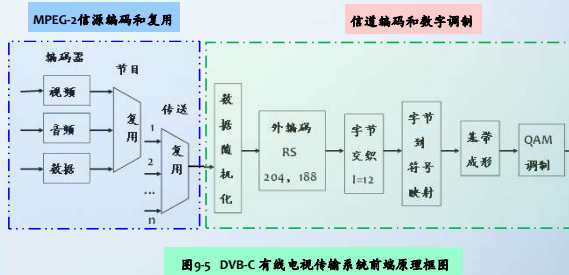
9.2 DVB-C 有线数字电视传输系统



DVB 三个标准:

- 都使用MPEG-2信源编码和TS传输流及复用方法, 因此三个标准中只规定了各自的信道编码和调制规范
- 信道编码中外编码均采用RS(204,188,t=8)码, 内码和高频调制根据三种传输介质差异而不同
- 我国制定的行业标准GY/T 170-2001《有线数字电视信道编码与调制规范》等效采用了DVB-C

9.2.1 DVB-C 传输系统框图



STB (Set top box, 机顶盒), 早期用于频道变换, 现在用于数字电视解码

OTT (Over the top) 是指通过互联网向用户提供各种应用服务, 比如向智能机顶盒提供高清的视频、游戏和各类其他应用等。

9.2.2 信道编码系统

信道编码: 在信源编码基础上, 为提高传输系统抗干扰能力, 需要在数字调制之前对数字基带信号进行前向纠错编码, 即~

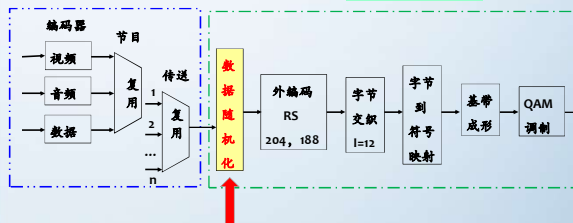
1、信道编码的作用

- 提高数字电视系统抗干扰能力, 也称为差错控制编码
- 基本要求:
 - 附加校验数据, 以实现数据检错和纠错
 - 对传输码型进行合理的选择和转换, 使数据流频谱特性适应传输通道带宽特性, 以提高接收端信噪比

2、数据随机化

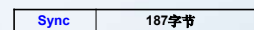
MPEG-2信源编码和复用

信道编码和数字调制

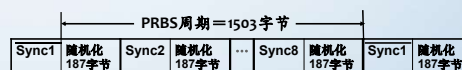


数据随机化:

将输入的TS包 (188字节) 组织成由每8个数据包构成的数据帧



(a) MPEG-2传输复用包(TS)结构



(b) 随机化后的传送包

图 9-7 传送层数据帧的帧结构

数据随机化的实现方法:

用一个伪随机二进制序列 (PRBS, Pseudo Random Binary Sequence) 发生器产生一个PRBS流, 与输入数据流的逐个比特进行异或 (XOR) 运算。

$$G(x)=1+x^{14}+x^{15} \quad (15\text{个移位寄存器, } 2\text{条反馈线})$$



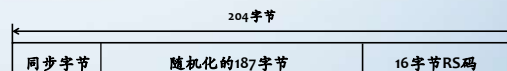
图9-8 数据随机化与去随机化原理电路

3、RS编码

RS码是一种适合于多进制、具有强纠错能力的码, 特别适合于纠正突发误码。

在表示成 (n, k, t) 的RS码中, 输入数据流被划分成每 k 个字节一组 (每个字节8比特), 每一组后面加入 $n-k=2t$ 个字节的RS监督码, 能纠正 t 个字节的误码。

DVB系统信道编码中, 采用了 $(204, 188, t=8)$ 的RS码, 信息段即每个TS包188字节, 其后加入16字节的RS码, 纠错能力 t 为8字节



RS (204, 188, t=8)

图9-9 RS 编码 (204, 188)

4、数据交织

数据交织是抗御突发误码的一种简单有效的方法

用交织技术构造的码就叫交织码

交织技术可将突发误码离散成不相关的随机误码, 再通过纠正随机误码的方法纠正个别的随机误码

交织码并不添加监督码元, 具有纠正随机误码和突发误码的能力, 且能够纠正突发误码的长度远大于纠错码可纠错的码元数

周期交织: 交织规律有明确的周期性, 序列内数据之间的交织间隔称为交织深度, 用英文字母 I 标记

交织包括比特交织和字节交织

数据交织: 抗长突发误码, FIFO方式。每条支路内传输的字节同等地延时 $I/M \cdot M$ 个字节周期。

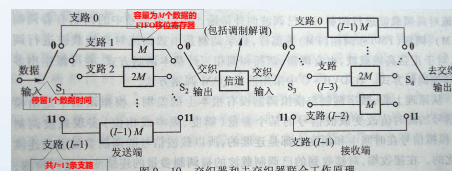
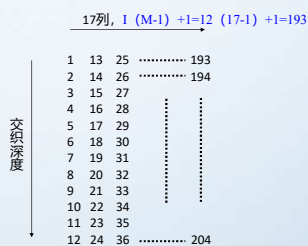


图 9-10 交织器和去交织器联合工作原理

在DVB-C中, 在RS编码后, 以字节为单元进行交织, $M=17$, 交织深度 $I=12$ 字节 ($204=17 \times 12$)。

每个TS包的第1个同步字节从0支路输出, 第2个字节进入1支路寄存器, ..., 第12字节进入11支路寄存器。第13字节回到0支路。因此发送端输出字节顺序1, 13, ..., 193, 2, 14, ...

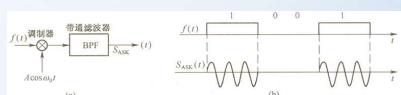


9.2.3 数字调制系统

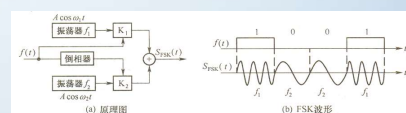
经过信道编码后的数据信号, 如果要长距离传输, 必须进行调制后再传输

- **数字调制**是由时间和幅度均离散的数字信号对高频载波的某个参量进行调制
- 根据高频载波被调制的参量, 由于其变化是离散的, 所以数字调制信号也叫**键控信号**, 分为幅度键控(ASK)、频移键控(FSK)、相移键控(PSK), 对应于模拟调制中的调幅、调频、调相三种方式
- 在DVB-C中采用**QAM调制**方式

(a) ASK

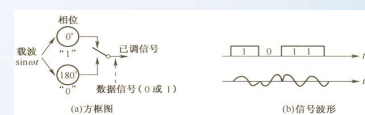


(b) FSK
改变载波频率的
调制方式

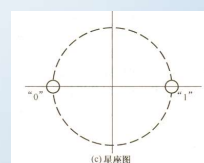


(a) PSK

用载波信号的相位
传递数字信息



星座图: 码元和载波相位之间的关系



数字调制的分类

分类一

- 根据调制信号的数字值采取的进制
- **二进制调制**: 调制信号是二进制数字值
- **多进制调制**: 每k个比特构成一个M进制 ($M = 2^k$) 的符号, 逐个符号对高频载波进行多进制的ASK、FSK或PSK调制

分类二

- 根据解调时接收机中是否需要再生与所接收高频载波具有相干系数的参数载波, 还可以分为:
- **相干调制**: 需要再生, 如PSK
- **非/不相干调制**: 不需要再生, 如ASK、FSK

1、MQAM调制

- QAM (Quadrature Amplitude Modulation): 幅度与相位相结合的正交幅度调制
- 数字有线电视中常用64QAM调制

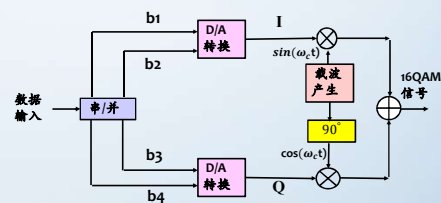
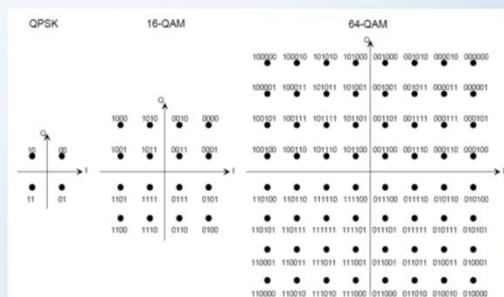


图9-12 16QAM调制器电路框图

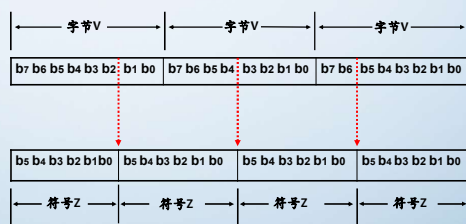


星座点与码元关系

2、映射变换

字节 (8bit)	1 0 1 1 0 0 1 1		1 1 0 0 0 1 1 1		0 0 0 1 1 0 1 1	
	1	1	0	0	1	1
符号 (6bit)	b5	1	1	0	0	0
	b4	0	1	1	1	1
	b3	1	1	1	1	1
	b2	1	1	1	1	0
	b1	0	0	0	0	1
	b0	0	0	0	0	1

图9-15 64QAM时字节到m bit符号的映射变换



64-QAM调制下的字节到符号变换

3、差分编码

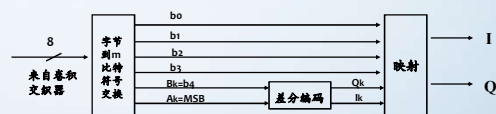


图9-16 QAM调制中两个最高位差分编码

4、基带成形

对完成信道编码的数字信号实施限带低通滤波，以便对载波进行QAM调制

9.2.4 传输效率

在数字调制中：

➢ 比特率与符号率的关系是：

比特率=符号率 $\times \log_2 M$ ，其中：M为MQAM中的M值

例：在64QAM中，M=64， $\log_2 64 = 6$ ，即1个符号对应6个比特数据

➢ 符号率和传输带宽的关系是：

传输带宽=符号率 $\times (1 + \alpha)$

例： $\alpha=0.15$ 时，在8MHz带宽的信道内理论上可传输的最大符号率为

符号率=8MHz/(1+0.15)=6.96 Msymbol/s

➢ 有效比特率：

复用品输出的TS码率，通常用来描述数字传输通道的传输效率

例：64QAM中，

$$\text{有效比特率} = \text{符号率} \times \log_2 64 \times \left(\frac{188}{204} \right) \\ = 6.89 \text{ Msymbol/s} \times 6 \times \left(\frac{188}{204} \right) = 38.1 \text{ Mb/s}$$

9.2.5 TS信号接口

➢ MPEG-2 TS信号接口在数字电视前端系统中，规范了如何将压缩后的音视频信号复用成TS流进行传输的协议。

➢ DVB标准规定了三种接口格式：

(1) 同步并行接口 (SPI)



图 9-20 MPEG-2 TS 并行传输系统

(2) 同步串行接口 SSI

➢ 是同步并行接口SPI的变型

➢ 是对SPI的数据流实施并/串转换和进行双相编码后通过单芯线缆向外传输。

(3) 异步串行接口 ASI

➢ 实际应用普遍

➢ 采用像SDI一样恒定的传输速率270Mbps，但容许不同设备的原始数据流速率不是270Mbps

9.3 卫星数字电视广播系统

9.3.1 卫星电视广播概述

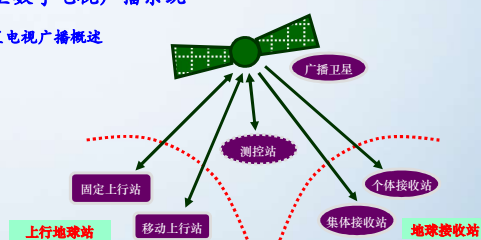
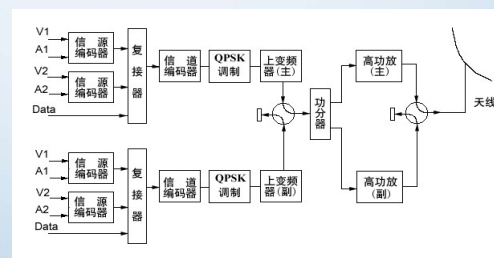


图 9-23 卫星电视广播系统组成框图



数字卫星上行系统框图

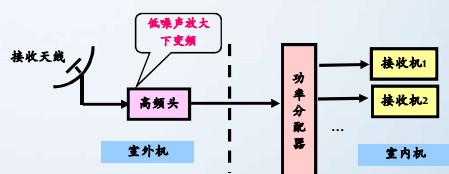


图 9-24 接收站组成框图

➢ 我国有四个广播卫星业务BSS轨道位置，每个轨道各有两个下行波束，每个下行波束包含12个卫星广播频道

➢ 目前在卫星电视广播中使用3个频段L、S、Ku

9.3.2 DVB-S 卫星数字电视传输系统构成

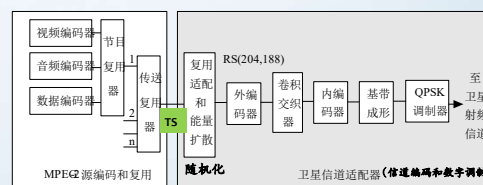
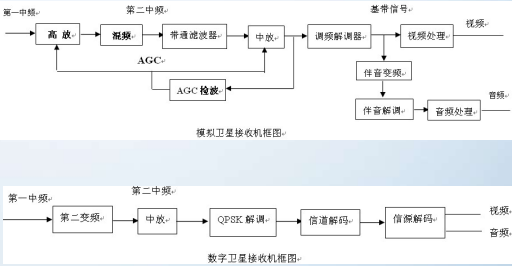
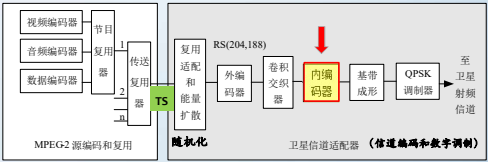


图 9-25 卫星数字电视传输系统上行站原理框图



9.3.3 DVB-S 信道编码系统

- 卫星数字电视传输和有线数字电视传输相比较，信道编码部分中数据随机化、外编码器RS、卷积交织的处理是相同的。
- 由于卫星传输距离远，传输路径受到干扰多，因此，又进一步采取了卷积内编码



1、卷积内编码

内码编码与外码编码构成了DVB-S中的级联编码，增强了信道纠错能力

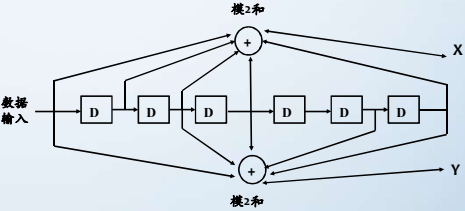


图 9-27 1/2 编码率的基本卷积码

➢ 卷积码

- ✓ 由k个信息比特编码成n(n>k)比特的码组
 - ✓ 编码出的n比特码组值不仅与当前码组中的k个信息比特值有关，还与前面N-1个码组中的(N-1)k个信息比特值有关
 - ✓ N称为卷积码编码的约束长度
 - ✓ 卷积码标记法采用(n, k, N), 编码效率为 $\eta = k/n$
- DVB-S中，采用了(2,1,7)基本卷积码，1个信息比特生成2个编码比特，约束长度为7，编码效率 $\eta=k/n=1/2$

2、删余截短

DVB-S中给出了多种可供选择的收缩截短卷积码，卷积效率 $\eta=1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$

表 9-3 删余截短法构成方式

η	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
截短方式	X:1 Y:1	X:10 Y:11	X:101 Y:110	X:10101 Y:11010	X:1000101 Y:1111010
串行方式	X_1Y_1	$X_1Y_1Y_2X_3Y_3Y_4$	$X_1Y_1Y_2X_3$	$X_1Y_1Y_2X_3Y_4X_5$	$X_1Y_1Y_2Y_3Y_4X_5Y_6X_7$
并行方式	$I=X_1$ $Q=Y_1$	$I=X_1Y_1Y_3$ $Q=Y_1X_3X_4$	$I=X_1Y_2$ $Q=Y_1X_3$	$I=X_1Y_2Y_4$ $Q=Y_1X_3X_5$	$I=X_1Y_3Y_4Y_6$ $Q=Y_1Y_3X_5X_7$

9.3.4 DVB-S 数字调制系统

- DVB-S 中的内编码和数字调制系统，如图9-28所示：

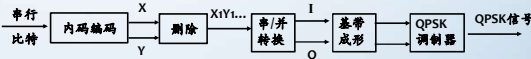


图 9-28 内编码和数字调制系统

➢ QPSK调制

在相移键控PSK调制中，最常用的是四相移键控4PSK，通常叫QPSK调制，也是一种4QAM调制

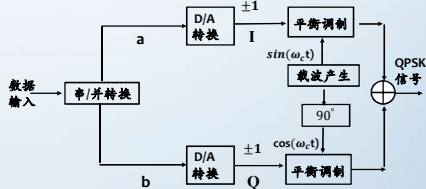


图 9-29 QPSK 调制器电路框图

表 9-4 双码元与载波相位

比特到电平的转换		载波相位φ
a→I	b→Q	
0 → +1	0 → +1	45°
0 → +1	1 → -1	315°
1 → -1	1 → -1	225°
1 → -1	0 → +1	135°

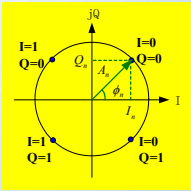


图 9-30 QPSK调制星座图

9.3.5 传输码率

- 卫星转发器带宽比较宽，有26MHz，27MHz，30MHz，...，54MHz一系列
- 一个卫星转发器以QPSK调制方式传输，在限定的带宽内，允许传输的有效比特率主要取决于内码编码效率η的选择
- 当带宽BW=27MHz，内码编码效率η=2/3，有效比特率Ru=25.9Mb/s时，可以传输一路HDTV电视节目

9.3.6 DVB-S2 介绍

- DVB-S2 于2005年正式颁布
- 与DVB-S 的区别主要在于：
 - (1) 以BCH和LDPC编码的级联码代替RS编码和卷积编码的级联码
 - (2) 高频调制可选：QPSK、8PSK、16APSK或32APSK
- DVB-S2的信道容量得到提高，改善和扩展了DVB-S的应用范围

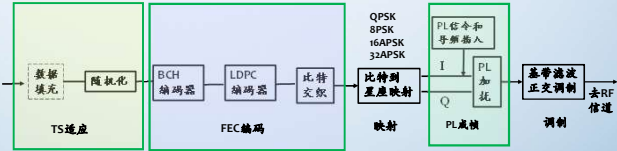


图 9-32 DVB-S2系统构成框图

9.4 有线数字电视接收与业务信息

- 数字电视接收设备
 - 数字电视接收一体机
 - 电视接收机内置数字电视调谐器、解码器和显示器等
 - 数字电视机顶盒 (STB)
 - 接收数字电视信号并对其进行解调和解码等，不具有显示功能

9.4.1 有线数字电视机顶盒

- 有线数字电视机顶盒
- 基本型

支持数字电视和数字音频广播接收，具有条件接受系统和基本电子节目指南，以及软件在线升级等
- 增强型

基本型的基础上，增加了中间件软件系统和双向交互功能，实现数据信息浏览、视频点播、Internet接入、实时交易等

1、有线数字电视机顶盒系统结构

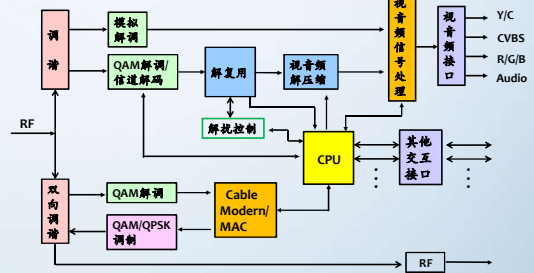


图 9-33 数字有线电视机顶盒构成框图

2、上行传输

表 9-6 有线电视系统的频段划分

频段/MHz	业务内容	频段/MHz	业务内容
5~65	上行传输	108~550	模拟电视
65~87	过渡带	550~750	数字电视
87~108	调频广播	750~1000	数据通信

- 有线数字电视系统易于实现前端与用户间的双向交互传输，为用户提供视频点播、上网等功能。
- 有线数字电视系统中规定了有线网络内上行传输和下行传输的频率划分

3、机顶盒软件系统



图 9-34 机顶盒软件系统构成

9.4.2 数字电视广播中的业务信息 (SI, Service Information)

1、业务信息定义

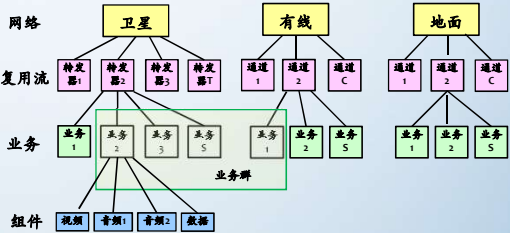


图 9-35 数字电视广播系统框图

2、MPEG-2定义的节目特定信息 (PSI, Program Specific Information)

- 节目关联表(PAT, Program Association Table)
 - 由PID为0的TS包传送
 - 作用：针对复用的每一路传送流，提供传送流中包含哪些节目及编号、对应节目的节目映射表位置
- 节目映射表(PMT, Program Map Table)
 - 指明该节目包含的内容，即由哪些流组成及流的类型、位置等
- 条件接收表(CAT, Conditional Access Table)
 - 由PID为0x0001的TS包传送，提供了在复用流中条件接收系统的有关信息

- 网络信息表(NIT, Network Information Table)
 - ✓ 提供关于多组传送流和传输网络相关的信息
- 传送流描述表(TSDT, Transport Stream Description Table)
 - ✓ 由PID为0x0002的TS包传送, 提供传送流的一些主要参数
- 专用段(Private_section)
 - ✓ 用于传送用户自己定义的专用数据
- 描述符(Descriptor)
 - ✓ 提供关于视音频流、语言、层次、系统时钟、码率等多方面的信息

3、SI标准定义的业务信息

- 实际的数字电视广播中, 只有MPEG-2定义的PSI是不够的, 业务信息除了要提供复用流的信息, 还需要提供其他复用流中的业务和时间信息。
- SI标准定义的业务信息由9个表构成:
 - (1) 业务群关联表 (BAT, Bouquet Association Table)
 - PID 为0x00011的TS包传送;
 - 提供了业务群相关信息, 给出其名称即业务列表。
 - (2) 业务描述表 (SDT, Service Description Table)
 - PID 为0x00011的TS包传送;
 - 提供描述系统中业务的数据, 如业务名称、提供者信息等。

- (3) 事件信息表 (EIT, Event Information Table)
 - PID 为0x00012的TS包传送;
 - 事件是一组给定了起始/结束时间、属于同一业务的基本广播数据流
 - 包含了与时间或节目相关的数据, 如事件名称、起始和持续时间等
- (4) 运行状态表(RST, Running Status Table)
 - PID 为0x00013的TS包传送;
 - 提供了时间的状态 (运行/非运行)
- (5) 时间和日期表(TDT, Time and Date Table)
 - PID 为0x00014的TS包传送;
 - 给出当前时间和日期的相关信息

- (6) 时间偏移表 (TOT, Time Offset Table)
 - PID 为0x00014的TS包传送;
 - 给出与当前时间日期和本地时间偏移相关的信息。
- (7) 填充表 (ST, Stuffing Table)
 - PID 为0x00014的TS包传送;
 - 用于使现有的段无效。
- (8) 选择信息表 (SIT, Selection Information Table)
 - 用于码流片段中, 包含了描述该码流片段的业务信息概要数据
- (9) 间断信息表 (DIT, Discontinuity Information Table)
 - 仅用于码流片段中, 将插入到码流片段业务信息间断的地方。

4、业务信息表的传输

- 在SI中, 表是一种概念性的机制, 是对业务信息的一种结构性描述
- 实际应用中, 业务信息表被分成段, 插入到TS包中
- TS包的包识别符PID是13bit, 表明TS包中有效负载中数据的类型, 它是在码流中识别各种表的唯一标志。

5、SI的重复传送及加扰规定

- 为使随机接入的接收机能及时获得业务信息 (解码器根据这些信息开始解码), SI段需要重复传输数次。
- 节目相对静态, 可将SI信息存在解码器中, 不必重传, 加快随机访问
- 除EIT外, 业务信息表在传送中不能被加扰
- 在PSI中定义一个加扰的EIT时间表, 以识别控制EIT数据解扰的CA流

9.4.3 电子节目指南 (EPG, Electronic Program Guide)

电子节目指南是用户通过机顶盒收看电视节目和享受信息服务时所使用的导航菜单, 具有互动的电子信息检索功能。运营商还可通过其发布广告信息。

1、基本EPG功能

只有文本内容, 基本功能包括: 节目预告、当前播出节目浏览、节目附加信息、节目分类、节目预定等。

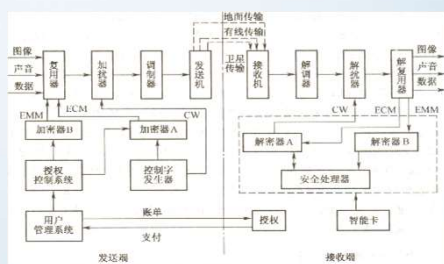
2、基本EPG的生成

发端的SI数据组织和生成、接收端SI数据的接收和解析, 接收端SI数据库的建立、EPG节目显示等。

3、扩展EPG

支持多种多媒体内容、功能更强大。

9-5 数字电视广播中的条件接收系统 (CA, Conditional Access)



条件接收系统组成框图

1、CA系统工作原理

- **加扰**是CA的重要组成部分，即在前端CA系统的控制字控制下，连续不断的对被传送的视频、音频或辅助数据进行有规律的扰乱（数据随机化）。
- **解扰**，经过加扰的节目必须经过解扰才能正确显示原始画面，否则是杂乱无章的。

➢ 数字电视CA系统的加解扰技术普遍采用了PRBS处理方式

(1) 控制字发生器

由发送端向接收端发送一个初始控制字 (CW, Control Word)，以同步收发两端的PRBS发生器，控制字是个随机数，可由单片机产生，是解扰密钥。

(2) 业务密钥 (SK, Service Key)

由服务提供商用来控制其提供的业务而采用的变化密钥，以对CW及系统数据其他部分进行加密

(3) 个人分配密钥(PDK, Personal Distribute Key)

- 每个终端设备有一个不重复的唯一地址码；
- 用地址码对业务密钥SK进行进一步的加密，这个密钥就称为个人分配密钥
- 分配密钥的传递通过非常安全的渠道给用户，比如智能卡授权方式（将分配密钥固化在智能卡中，并以加密形式存储，予啊用户端提供口令解密）

2、授权控制信息 (ECM, Entitlement Control Messages)

- 是一种专用的条件接收信息，携带了控制字的加密编码和接收参数。
- ECM被加密后与信号一起传送到接收端，以便在接收端用来控制解扰。

3、授权管理信息 (EMM, Entitlement Management Messages)

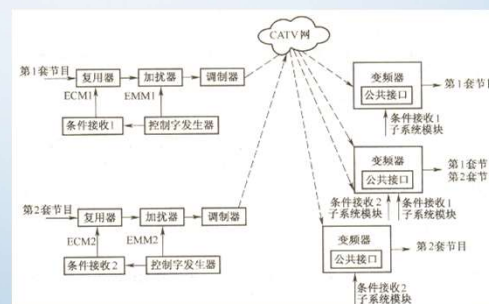
- 是一种授权用户对某个业务进行解扰的信息，携带了用户订购节目信息，制定了用户对业务的授权等级。

4、解扰过程

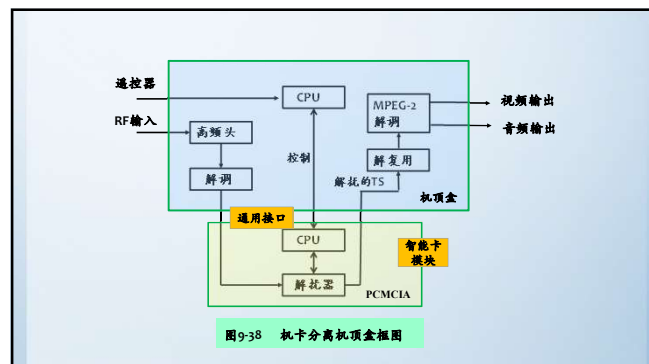
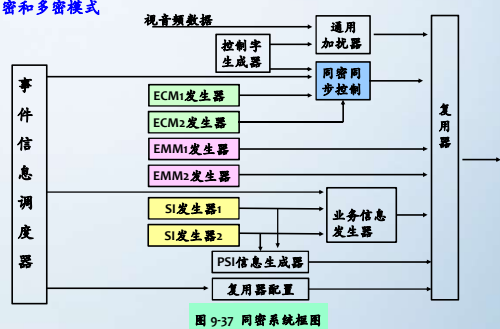
在数字接收机端，为了再生出解扰随机序列，需要获取条件接收控制信息，过程如下：

- (1) 数字机顶盒根据PMT和CAT中的CA_Descriptor，获得EMM和ECM的PID
- (2) 从TS中过滤ECM和EMM
- (3) 从智能卡读取用户个人分配密钥PDK，并用它对EMM解密，取出SK
- (4) 利用SK对ECM进行解密，取出CW，并将CW通过智能卡接口送给解扰模块
- (5) 解扰模块利用CW将已加扰的传输流进行解扰。

数字电视条件接收系统采用多重加密，使整个CA系统安全性得到多重保护



9.5.2 同密和多密模式



THANK YOU