

## 4.4 传输码流及节目时钟基准

### 4.4.1 节目码流

节目码流(Program Stream)是将一个或几个具有公共时间基准的 PES 组合成的复合流。所有的基本码流就像单个节目码流一样同步解码。PS 流比较适用于相对误码率小的存储环境中,如交互式多媒体环境和媒体存储管理系统。PS 流的数据包长度相对比较长,并且是可变的,其数据结构如图 4-10 所示。

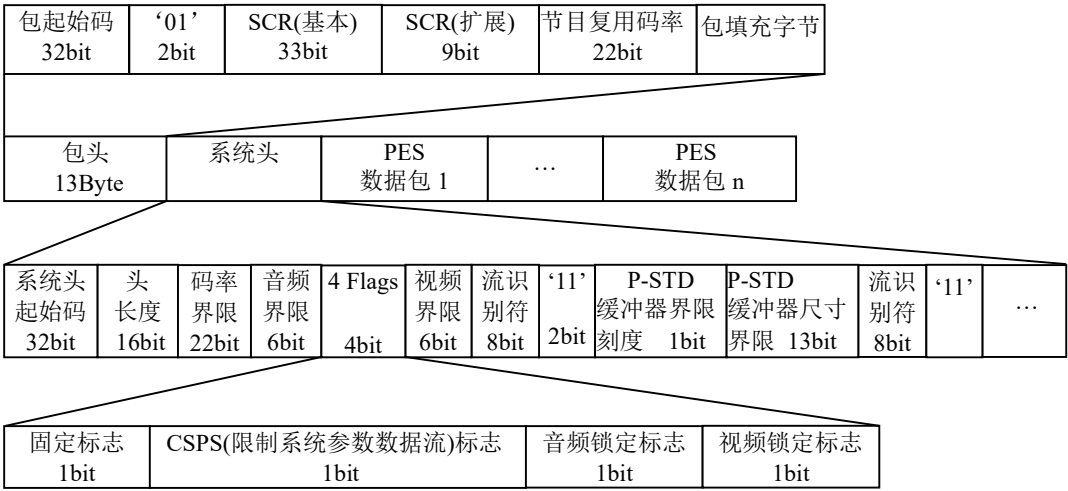


图 4-10 PS 数据包的结构

PS 由两层组成,即系统层和压缩层。系统层由包头(pack\_header)组成,包头中的包起始码(pack\_start\_code)的编码规则类似 PES 头信息中的包起始码,采用连续 23 个 0 和 1 个 1 组成同步头加一个字节的类型码,其十六进制值为 0x00 00 01 BA。SCR(System Clock Reference)为该比特流的系统时钟基准,是 27MHz 系统时钟计数的取样值,所有的基本流利用它做时钟的同步。SCR 共由 42 比特组成,其中前 33 比特为 SCR\_base,后 9 比特为 SCR\_extension。在系统头(system\_header)中包含了节目码流的复用信息,给出了节目流中包含的基本码流及属性。系统头起始码为 0x00 00 01 BB。压缩层包含了各个 PES 数据流。

### 4.4.2 传输流

传输流是由一个或几个不同的 PES 经传输流打包后组成的复用流。传输流利用节目专用信息表管理码流中各个 PES 的关系及其信息。如图 4-11 所示,传输流的数据包为固定长度的结构,有效数据长度为 188 字节,适合在存在干扰或误码环境传输。



图 4-11 传输数据包结构及长度

传输流的数据包分为包头数据(Header)和有效净荷(Payload)。每个传输包必定存在包头

数据，但可以不存在净荷数据，无净荷数据的传输包为空传输包。传输包包头数据包括包头的基本信息和自适应数据部分。

1. 包头数据

包头的基本信息是传输包的重要部分，包含了一个传输包的基本特性和一些重要标志。传输数据包的包头数据结构如图 4-12a 所示。

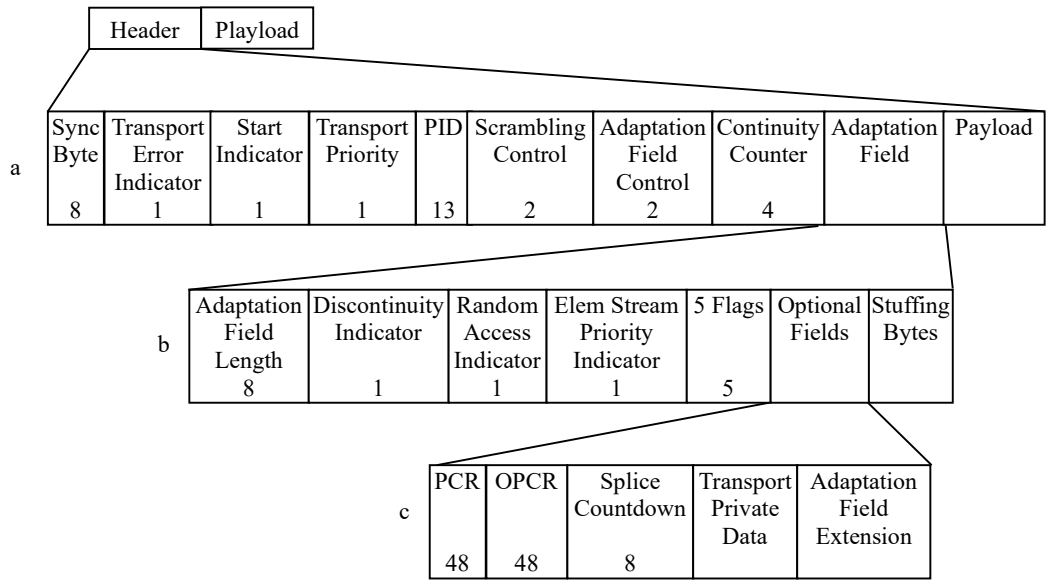


图 4-12 传输数据包头结构

- ① 同步字节（Sync Byte），该字节由解码器识别，可以用于寻找每个传输包的起始字节，长度为 8 比特，固定数值为 0x47。
- ② 传输误码指示标志（Transport error indicator），当传输层上面的误码校正层遇到无法纠正的原始数据误码时才设定该指示器。该值为 1 时表示数据包中存在无法纠正的误码，反之没有。
- ③ 净荷单元起始标志（Payload unit start indicator），指示当前传输包中的净荷数据的起始状态。当传输包数据净荷为 PES 分组数据时，该指示标志为 1 表示该包中的数据净荷部分将以 PES 分组的第一个字节开始，也就是说该包中的数据净荷是一个 PES 包的开始。指示标志为 0 表示不是一个 PES 包的起始。
- ④ 传输优先级标志（Transport priority），用于指示该传输包在具有相同 PID 的数据包中的传输优先级。置 1 表明为高优先级。
- ⑤ 包识别码（PID），由 13 比特组成的识别码，表示当前传输流数据包净荷数据的类型。解多路复用器依据 PID 来区别不同类型的数据。通过使用视频、音频和图文数据的相关的 PID 便可选择这个节目的数据。只要数据包与其从属的传输流正确关联，那么解多路复用器就能正确地选择数据包。解多路复用器通过节目专用信息（PSI）获取正确的 PID 来完成任务。
- ⑥ 传输加扰控制标志（Transport scrambling control），2 个比特信息，指示当前传输流数据包净荷数据的加扰状态。传输包的包头数据和自适应部分不能被加扰。对于未加扰净荷以及空数据包，该字段置为 00。

⑦ 自适应区域控制标志 (Adaptation scrambling control), 2 个比特信息, 用于指示当前数据包数据的组成情况。

⑧ 数据连续计数器 (Continuity counter), 每次发送含有相同 PID 的新数据包时, 编码器便递增这个计数器的数值, 用来判断是否有数据包丢失、重复或次序发生变化。

## 2. 自适应区域

在某些情况下, 需要更多的包头信息, 就需要设置自适应区域控制比特来指出包头信息比常规的要大。图 4-12b 显示在这种情况下额外包头长度由适应头长度编码来表达。包头延伸时, 有效负载就变小, 以保持数据包的长度固定。

自适应区域是一个可变长度的域, 它在 TS 包中是否存在由包头中的自适应区域控制来标识。自适应区域提供基本比特流解码所需的同步及时序等功能, 以及剪接码流所需的各种机制, 如本地节目插入等。自适应区域的结构如图 4-12b、图 4-12c 所示。

自适应区域提供的主要功能有:

### ① 视频音频编解码器的系统时钟同步

为了解决保持编解码器的系统时钟同步, 每隔一定的时间间隔, 在特定的 TS 包的自适应区域中插入一个系统时钟 27MHz 的计数抽样值, 传送给接收机作为解码器的时钟基准信号, 称为节目时钟基准(PCR: Program Clock Reference)。

### ② 压缩比特流随机进入机制

经过编码的视频音频码流具有规定的格式, 尤其是视频码流中, 存在着 I、P、B 三种编码帧类型。其中只有 I 帧编码数据是可以独立进行解码的, P 帧和 B 帧数据的解码必须依靠邻近的 I 帧或 P 帧解码图像。因此数字电视信号不能在任意帧处进行剪切、插入或节目切换, 只有在某些特定位置上, TS 包中携带的数据才可以独立进行解码, 才允许对节目进行调整和切换, 这样的位置称为“随机进入点”。自适应头中的“随机进入指示”(Random Access Indicator)就是表明随机进入点的位置的。当“随机进入指示”设置为“1”时, 说明从该 TS 包开始, 可对编码码流进行节目调整和节目切换。随机进入点与视频音频的 PES 包的起始保持一致, 通常为 I 帧前面的视频序列头信息的起始位置。

### ③ 本地节目插入机制

在电视广播中, 常需要进行本地节目(如紧急告警等)和广告的插入, 在 MPEG-2 传输系统中是使用 TS 包头自适应区域中的一些标志来支持上述功能。在进行本地节目插入时, 插入节目的 PCR 值与插入前节目的 PCR 值是不同的, 因此需要有指示信息通知解码器 PCR 值将发生变化, 以便解码器能够及时改变时钟频率和相位, 与插入节目尽快建立同步关系。在自适应区域的“不连续指示标志”(Discontinuity Indicator)就是通知解码器 PCR 值将从某一个 TS 包开始发生间断, 即与前一个 TS 包的 PCR 值相比将发生变化, 不再是与其连续的下一个值。“剪接点到计数器标志”和相应的“剪接点计数器”共同决定从哪一个 TS 包开始 PCR 值发生变化。

节目插入点一定是随机进入点, 但并不是所有的随机进入点都适合作为节目插入点, 主

要限制在于将要插入的比特流的长度，应使节目前后缓冲的容量保持一致，同时在节目插入开始时缓冲器的容量应保证不致使解码端缓冲器出现上溢或下溢。

此外，自适应区域还可传输一些辅助信息：“自适应区域长度”(Adaptation Field Length)通知解码器自适应区域的长度，单位是字节。只要传输包中存在自适应区域，最少应具有两个字节的的基本长度。当自适应区域被扩展时，通过这个长度信息可以知道扩展的长度。OPCR 标志—原始节目时钟参考，用于指示单路节目在解码器中 OPCR 的最后一个比特的理想到达时刻。这个域在传输过程中不发生变化，而且可用于单路节目的存储和回放。解码器在解码过程中并不使用 OPCR。“传送私有数据标志”(Transport Private Indicator)表明在扩展适应头中是否传送私有数据。这种机制为传送条件接收中的密钥提供了一种可能，当然，也可以传送用户定义的其它私有数据。

### 3. 净荷

TS 包的净负荷传送的信息包括三种类型：视频、音频的 PES 包以及辅助数据和节目专有信息(PSI)。有关 PSI 传输格式和相应的功能将在下一节介绍。

## 4.4.3 节目时钟基准

视频压缩编码技术使得多路电视节目可以复用在同一传输流里进行传输，压缩视频流失去了传统视频信号的同步特性。在 MPEG 系统中采用一种不同与传统方法的同步机制来接收节目，其原理是通过发送节目时钟基准(PCR)实现同步。

压缩视频码流利用两个信号进行同步：压缩前原始视频信号所用的取样时钟；一帧或一场视频图像的显示时间。这两个信号分别嵌入在 TS 包头和 PES 包头中，节目时钟基准(PCR)主要用于恢复取样频率；显示时间标记(PTS)提供视频帧同步。

### 1. PCR 的计数方式

在传输码流中，节目时钟基准插在特定类型的传输包的自适应区域。由于节目时钟基准是间隔插入的，当自适应区域中的节目时钟插入标志(PCR flag)设置为 1 时，指明该传输包的自适应区域中包含有 PCR 字段。PCR 是以频率为 27MHz 的系统时钟为基准得到的计数值，字段长度为 42 比特，由两个部分组成：33 比特的 PCR 基值(PCR\_base)和 9 比特的 PCR 扩展(PCR\_extension)。9 比特的 PCR 扩展是以系统时钟频率为单位进行计数得到的计数值，产生 PCR 扩展的计数器每计满 300 清零并产生一个进位。33 比特的 PCR 基值则是以 PCR 扩展计数器产生的进位脉冲为单位进行计数得到的计数值，每计数一次相当于 300 个系统时钟频率脉冲。因此，PCR 对系统时钟频率的实际计数值等于 PCR 基值乘 300 加上 PCR 扩展值。

### 2. PCR 插入 TS 流的方式

由系统时钟频率计数得到 PCR 值，这个值是以一定的间隔嵌入到传输流中的 PCR-base 和 PCR-extension 的两个区域，DVB 推荐的间隔不能大于 40ms，MPEG 标准建议的间隔不能大于 100 ms。PCR 值指示了 PCR 基值的最后一个比特在到达目标解码器时的系统时间值。

在一个 TS 流中至少需要为每个节目提供两个独立的时钟：与节目相关的 PCR 值和 TS 流的码率。在接收端要获得 TS 流数据需锁定 TS 流码率，为了重建视频信号解码器应与 PCR 值锁定。

通常 27MHz 时钟是从 27MHz 或 270MHz 数字分量信号或复合模拟视频信号的副载波中提取。图 4-13 显示了对 601 数字视频信号进行编码时，产生和插入 PCR 值的过程。我们可以看到在相应的 PCR 区域编码的 PCR 值是从输入的视频信号本身提取，没有使用稳定的主时钟基准。实际上，为了保证解码和显示信号的同步特性与输入视频信号的同步特性相一致，从输入视频信号中提取时钟基准，接收端的解码器必须准确地锁定这个信号。

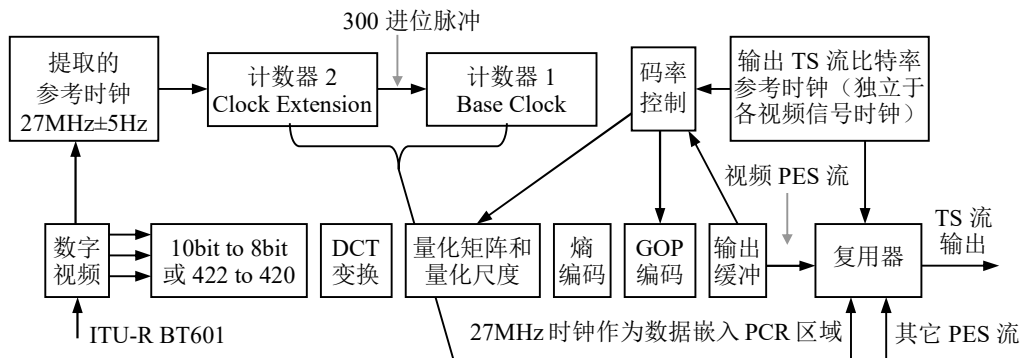


图 4-13 从 601 数字视频信号中产生 PCR 值

### 3. 解码器利用 PCR 重建系统时钟频率

在解码过程中，要做到与编码端同步，就需要编码端的系统时钟作为参考。传输码流中的 PCR 是编码端的系统时钟计数的取样值，解码端利用这些取样值恢复出锁定编码端的系统时钟，使得所有的解码端和编码端拥有共同的时钟基准。

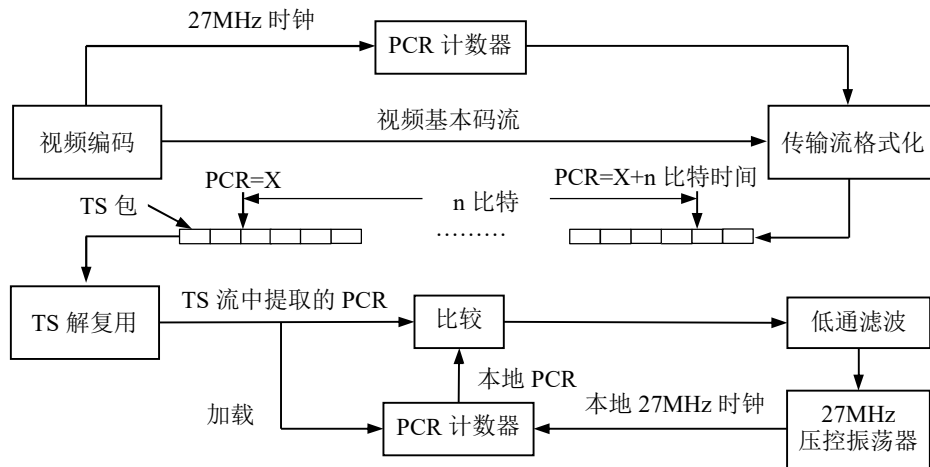


图 4-14 解码端 PCR 重建的锁相环框图

在 TS 码流中，每个 PCR 到达解码器的精确时间由 PCR 值指示，这个值就是 PCR 被发送时编码端的系统时钟值。如果解码端和编码端的时钟频率严格同步，那么一旦根据 PCR 设定的一次解码端的本地时钟，以后解码端和编码端的系统时钟就能一直保持同步。实际上，各个系统时钟的频率之间总存在一些差异，且时钟频率并不稳定，而是在中心频率附近随机

抖动，要严格实现系统时钟的同步是不可能的。ISO/IEC 13818 系统层标准规定系统时钟频率保持在 27MHz±810Hz 之间。为了做到解码端系统时钟与编码端系统时钟保持在锁定范围内，解码端需要不断地按照随码流到达的 PCR 来修正本地时钟。图 4-14 显示了解码端如何利用锁相环路重建本地系统时钟。当第一个 PCR 到达时，PCR 被直接载入系统时钟计数器；此后本地系统时钟不断计数，直到下一个 PCR 值达到，此时对本地系统时钟计数值和 PCR 值进行比较得到误差值，对误差值低通滤波后去控制压控振荡器使本地系统时钟计数值逐渐接近达到的 PCR 值，最终使锁相环路达到锁定状态。如果由于节目的插入使得码流中的 PCR 值的连续性发生改变，解码端可以通过识别码流中的不连续指示标志，重新在本地时钟计数器中载入新的 PCR 值，可以有助于解码端快速锁定新的时钟基准。

4. 传输流中 PCR 的获取及计算

正如本小节第二部分介绍,当自适应区域中的节目时钟插入标志(PCR flag)设置为 1 时,在传输流中传输 PCR 的传输包的包头自适应扩展域中会包含一个 42 比特长度的 PCR 字段。考虑到传输包数据结构的完整性,实际上是用一个 48 比特长度(即 8 个字节长度)来承载 PCR 信息。如图 4-15 所示,一个传输包包头区域的十六进制格式数据,前 4 个字节“47、00、A1、35”为传输包的包头。第 5 个字节“07”为自适应扩展区域长度,指明其后 7 个字节“10、C7、E5、28、2D、FE、72”为自适应扩展区域数据。“10”字节的第四个比特位置 1,其余比特位为 0,表明自适应扩展区域数据为 6 字节长度的 PCR 字段(C7、E5、28、2D、FE、72)。这 6 个字节分为前 33 比特的 PCR\_base 和后 9 比特 PCR\_extension,中间 6 比特为固定的二进制数值 1。经转换可得到以秒为时间单位的 PCR 值,如式 4-1 所示。

$$\begin{aligned} \text{PCR\_value} &= (\text{PCR\_base} \times 300 + \text{PCR\_extension}) / 27 \times 10^6 \text{Hz} \\ &= (6707368027 \times 300 + 114) / 27 \times 10^6 \text{Hz} = 74526.31 \text{ S} \quad (\text{式 4-1}) \end{aligned}$$

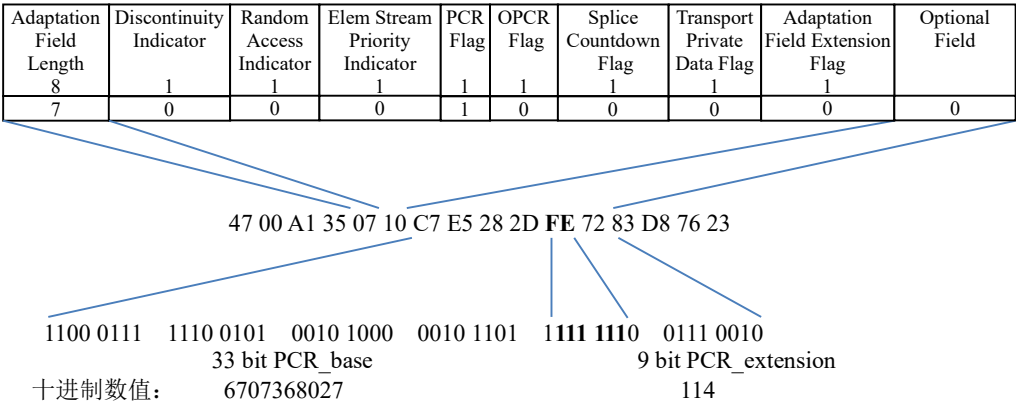


图 4-15 传输包包头自适应扩展区域中的 PCR 信息