

数字电视传输流 PCR 抖动分析及 MPEG II 解码器仿真测试

田 建柏

(罗德与施瓦茨中国有限公司 广播电视部 产品工程师)

摘 要: 在数字电视终端 MPEG II 解码器测试中, 解码能力测试是一个很关键的环节, 即验证在前端输入码流满足 TR 101 290 标准的前提下接收终端能正常解码, 输出同步的视音频模拟信号。PCR 抖动是影响接收终端解码的关键因素。本文深入探究了 PCR 的功能和物理意义, 并在分析 PCR 抖动原因及其测试参数的基础上, 讨论了基于波形、幅度和频率三个参数的 PCR 抖动仿真模型, 并且根据实际测试终端解码器的需要, 提出了具体的参数设置方法。

关键词: PCR Jitter; PTS; DTS; PCR_AC; PCR_OJ

PCR Jitter Analysis of TS in Digital Television and Simulation Test of MPEG II Decoder

Jambo Tian

(Rohde & Schwarz China, Beijing 100016)

Abstract: In DTV Receiver test and measurement, the decoding ability is important to make sure that it can decode and output the synchronous video and audio normally under the condition of right TS input, while the TS is in line with TR 101 290. PCR jitter is the key factor to influence the Receiver. Based on deep study of PCR physics, function and PCR jitter measurement, this paper analyzes the simulation method and module for receiver test. Waveform, Amplitude and Frequency are used to simulate. Also, the testing settings up are provided for practical DTV receiver test and measurement.

Keywords: PCR Jitter; PTS; DTS; PCR_AC; PCR_OJ

1 引言

数字电视技术发展迅猛, 涵盖了从信源编码、信道编码调制、射频传输以及终端解码的各个环节。技术发展的最终目的是推动一个产业的发展, 而数字电视终端接收产品是产业发展的一个重要组成部分, 相应地, 如何对数字电视终端产品进行测试也就成为一个必要的需求。在 MPEGII 数字电视终端测试中, 解码能力直接关系数字电视用户体验质量 (QoE)。如果要对终端做综合测试, 需要测试从射频解调到基带解码的各个环节, 甚至包括附加业务的处理, 本文暂且不讨论综合测试, 仅仅就基带解码部分做一探讨, 并且假设射频传输部分没有引入干扰并导致基带信号恶化。

需要指出的是, 目前数字电视信源编码标准很多, 本文仅仅探讨目前最普遍的 MPEG2 压缩编码标准, 在传输系统层面, 本文以 DVB 标准为讨论基础。若假设射频信道理想, PCR 抖动将是影响终端解码的关键因素, 这也是为何 TR 101 290 测试指导中针对 PCR 抖动做详细论述的原因。一个合格的 MPEGII 终端解码器应该至少适应 TR 101 290 容限的任何 PCR 抖动, 一个好的终端解码器还应有一定的余量, 即使

输入信号的 PCR 抖动偶尔超过了 TR 101 290 的容限范围，解码器仍然能够正常解码。为此，一个简单的测试平台可以如图 1 所示。利用标准的测试码流发生器做为信号源，利用视音频显示来做主观观测。

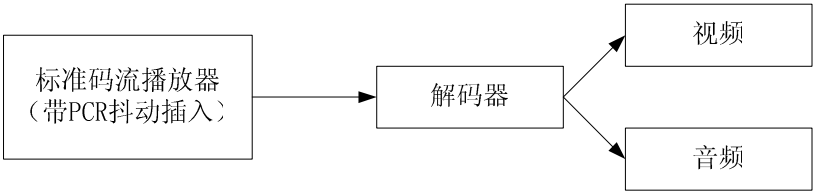


图 1 PCR 抖动适应性测试平台

该测试平台中的标准码流播放器为了满足 PCR 抖动适应性测试需要，应该具有如下的功能：1）能支持播放无缝循环码流，支持实时 PCR 修正；2）支持码流记录和重播功能，用于模拟再复用阶段的 PCR 抖动引入（后文会详细论述），重放时需要具有码率调整能力；3）带有特定标准的不同有效码率的动态 TS 流，用于测试不同比特率下终端的解码能力；4）带有 PCR 抖动插入功能，在忽略标准码流播放器本身引入的 PCR 抖动外，增强 PCR 抖动幅度和频率，用于测试终端解码器的 PCR 抖动适应性。

为了理解 PCR 抖动适应性测试的各个不同方面，需要首先了解 PCR 的功能，同时熟悉 TR 101 290 对 PCR 抖动的测试指导，进而深入理解 PCR 抖动如何仿真。

2 PCR 及其物理意义

2.1 PCR 简介

MPEG-2 的结构可分为压缩层和系统层。一路节目的视频、音频及其他辅助数据经过数字化后通过压缩层完成信源压缩编码，分别形成视频的基本流、音频的基本流和其他辅助数据的基本流；紧接着系统层将不同的基本流分别加包头打包为 PES 包。为了多路数字节目流的复用和有效的传输，又将 PES 包作为负载分割后插入传输包(TS 包)中。压缩以后的基本数据流如何转换成 TS 流？以视频数据为例，每帧图像经过压缩以后形成大小不一的访问单元 AU(Access Units)，其大小取决于不同的编码方式和编码难度，如图 2 所示。

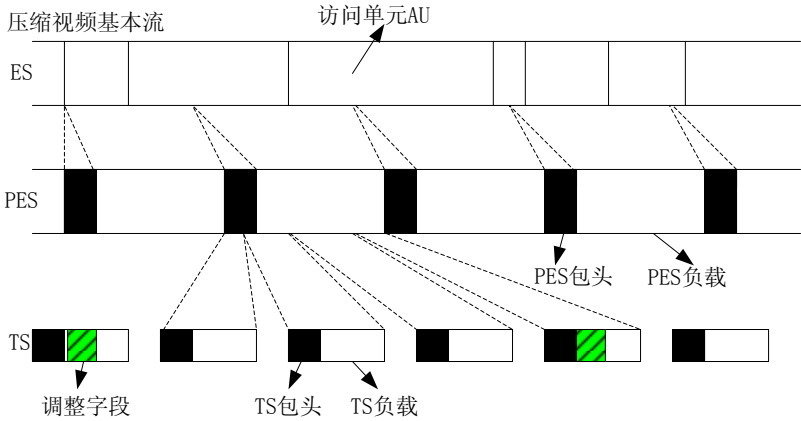


图 2 视频流封包流程

各访问单元组成基本数据流(ES)，ES 再通过加入 PES 头信息打包成(PES)，其有效负载为 ES 流的连续数据字节。再把一个 PES 包按照 188 B 的固定长度加上各种参数(如同步信息)分割成多个 TS 包。TS 包有固定的 4Byte 包头和可选的可变长的调整字段。TS 包包头都含有包标识(PID)域，用来标识包的类型(如视频、音频、节目指定信息 PSI 等)。当需要插入节目参考时钟 PCR 或其他包头信息时就要加入调整字段。

图 3 显示了 PCR 在 TS 流中的具体位置。

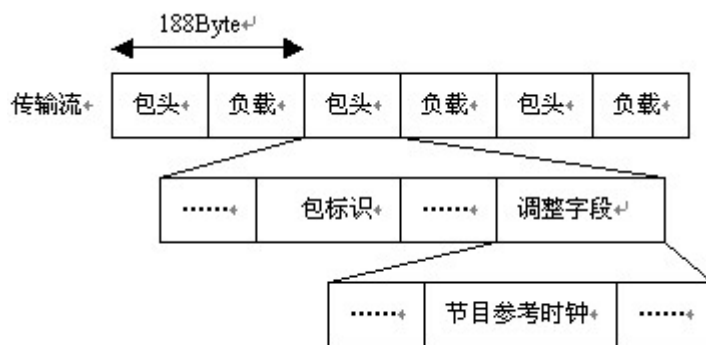


图 3 PCR 位置图示

PCR 非常重要，它以固定频率插入包头，表示编码端的时钟，并反映了编码输出码率。收端根据 PCR 可以用来调整解码端的系统时钟，以保证对节目的正确解码。如图 4 所示为编码器中 PCR 处理的框图。

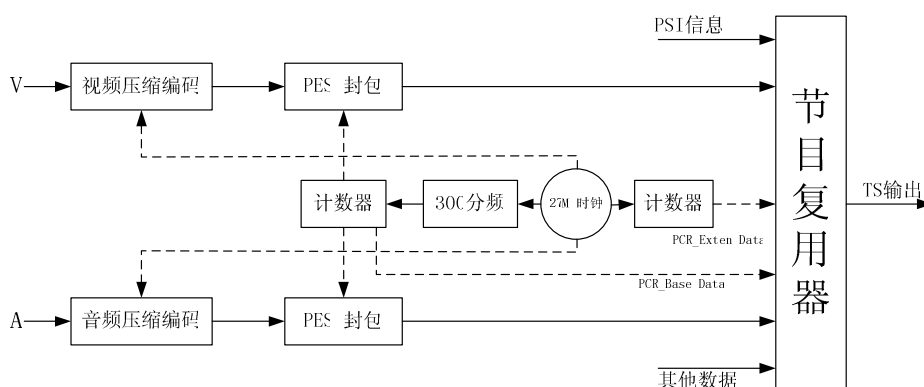


图 4 编码器中 PCR 处理

从图中可见，在 Mpeg-2 编码器中有单一的共同系统时钟（27MHz），此时钟用来产生指示音频和视频的正确显示和解码时序的时间标签，同时可用来指示在抽样瞬间系统时钟时间的瞬时值。正是编码器中共同系统时钟的出现，以及解码器中时钟的重新生成和时间标签的正确使用，才为解码器中操作的正确同步提供了基准。Mpeg-2 用于视音频同步以及系统时钟恢复的时间标签分别插在 ES，PES 和 TS 这 3 个层次中。在 ES 层，与同步有关的主要是视频缓冲验证(VBV)，用以防止解码器的缓冲器出现上溢或者下溢；在 PES 层，主要是在 PES 头信息里出现的显示时间标签(PTS)和解码时间标签(DTS)；在 TS 层中，TS 头信息包含了节目时钟参考(PCR)，用于恢复出与编码端一致的系统时序时钟(STC)。

从图 4,我们也可以看出传输流中的 PCR,PTS/DTS 等均为对系统时钟采样而获得。PTS/DTS 是 27MHz 系统时钟 300 分频后进入 33 位的计数器计数获得采样值，命名为 PCR_Base；PCR 自身直接进入 9 位计数器获得采样值，命名为 PCR_Extension。在 TS 包头的调整字段，共有 48bit 用于 PCR 值传输，包括 33 位的 PCR_base、6 位的预留和 9 位的 PCR_extension。PCR 有效位数为 42 位，如图 5 所示：

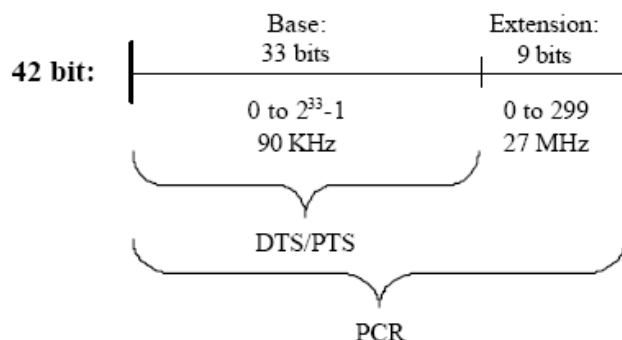


图 5 PCR 有效构成

2.2 PCR 插入机制及 PCR 调整

在图 4 中的节目复用部分，PCR 按照某种机制插入具体的计数器采样值。如图 6 所示，9 位的 PCR_extension 计数器和 33 位的 PCR_base 计数器一直在工作中，节目复用器的输出在码流速率控制模块的驱动下按照恒定比特率输出单节目码流（SPTS）。假设 SPTS 的码率为： $M \text{ bit/s}$ ，按照 MPEG 2 标准要求，每间隔 100ms 必须发送一次 PCR（如果是系统复用后，DVB 标准推荐为 40ms）。那么可以计算每间隔： $0.1 \times M \text{ bit}$ 就要插入一个 PCR。具体的插入步骤为：按照标准规定，PCR_extension 的最后一个 bit 作为时间基准，PCR 插入控制单元会不断以 $0.1 \times M$ 为递减计数标准，当该递减计数器变为 0 的一瞬间，复用器输出模块对 42 位的计数器采样，并且瞬时插入到该 TS 包的 PCR 调整字段。一个循环完成后，继续进行下一个循环。以上的插入机制是一个简单的描述，要注意的是，一般情况下，视频 TS 包占据码流大部分，因此 PCR 也一般插入在视频 TS 包中，视频 TS 包有特定的 PID，因此在计算 $0.1 \times M$ 个 bit 的时候，可能那个 TS 包并不是需要插入 PCR 的包，因此这种情况下，实际需要考虑的 PCR 插入条件变为两个：1) 输出的比特数目，用于控制 100ms；2) 在到达 100ms 的时候，寻找最合适的 PID。

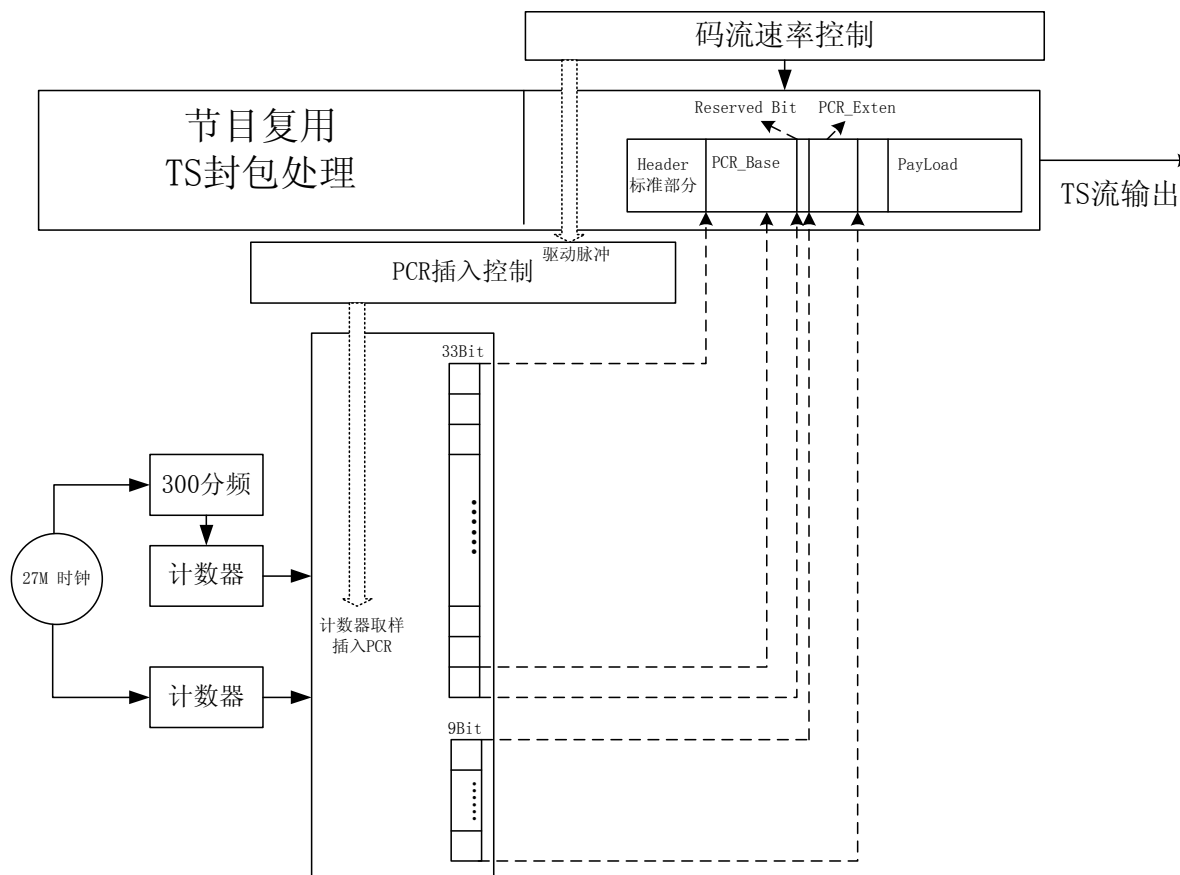


图 6 PCR 在节目复用阶段插入机制

基于 MPEG-2 传送流 TS 的多路节目复用，如图 7 所示，首先要对各路节目的 PID、PSI、PCR 等信息进行滤波，重新修改和整合为复用后新的 PSI 等信息，同时插入符合 DVB-SI 规范的业务信息，并在 TS 包（带有 PCR 标志位字段的特定 TS 包）在离开复用器时刻，校正或重新插入新的节目参考时钟值。

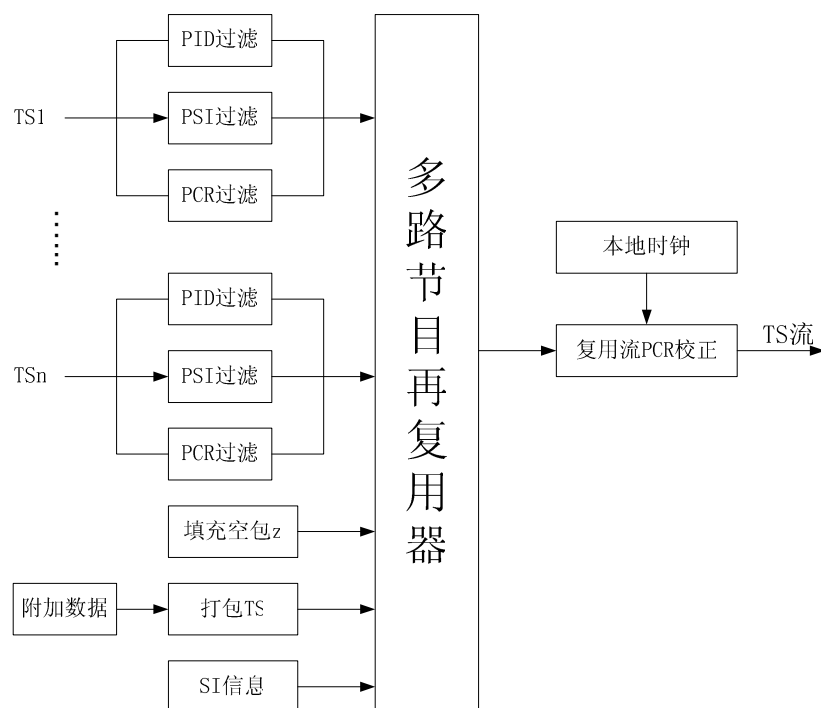


图 7 MPEG 2 TS 流复用

在节目复用时,由于要满足每隔 100ms 必须含有至少一个属于 PCR PID 的 PCR 字段的复用要求限制,因此依据该节目的传输速率计算出 100ms 时间间隔内需要传输的 TS 包,从而确定 PCR 的插入位置,但是在信道再复用,PCR 的实际数值要到信道复用才能确定。打包完成后,要进行系统复用处理:按各节目的传输速率,将各节目的 TS 包均匀地组合成新的信道传送流,在一定的时间内,各节目的传送流包的数目应与各自的传输速率成正比,按输入各节目的传输速率和输出码流的速率,确定需要插入的空包数目以及插入位置;根据各节目生成对应的 PSI 信息和 SI 信息,将其按照一定的时间间隔均匀地插入信道传送流中,还有一点就是在预留的 PCR 字段处填入适当的新的 PCR 值。PCR 的调整是所有复用器的关键技术之一。

PCR 调整的关键是要得到 TS 包在复用器停留的时间 ΔPCR 。一般而言,有如下的 PCR 调整方法: 1) 直接计算 TS 包在复用器停留时间,把 ΔPCR 信息置入 TS 流; 2) 利用本地 VCO 精确调整 PCR,需要预先识别输入 PCR,然后修改 PCR 值。3) 简单化处理,先利用本地 27M 进行本地 PCR 计数,当输入含有 PCR 域的 TS 进入复用器的时候提取原 PCR,用此 PCR 减去本地 PCR 计数值得到的结果更新一次 PCR 域;当此 TS 包输出时,再将更新后 PCR 加上此时本地 PCR 的值得到最后调整的 PCR 值。4) 更简单但是精度稍差的方法是采用虚填 PCR 技术:复用器工作时只保留原 TS 流的 PCR 值不变,先采用软件技术在 PCR 字段位置虚填一个特定的标志,而在输出接口的硬件中识别由软件虚填的 PCR 标志,并根据 27 MHz 的系统时钟在该位置填入实际的 PCR 值。由于基本数据中也可能出现此 PCR 标志,因此虚填 PCR 技术会导致一定的 PCR 错误。

2.3 PCR 在解码器端的工作原理

PCR/PTS/DTS 的核心作用就是使解码器的系统时钟 (STC) 能锁定于编码器,使得两个端点的时钟偏差不至于因为时间的积累而变化过大,导致解码器无法正确同步视音频解码,如图 8 所示:

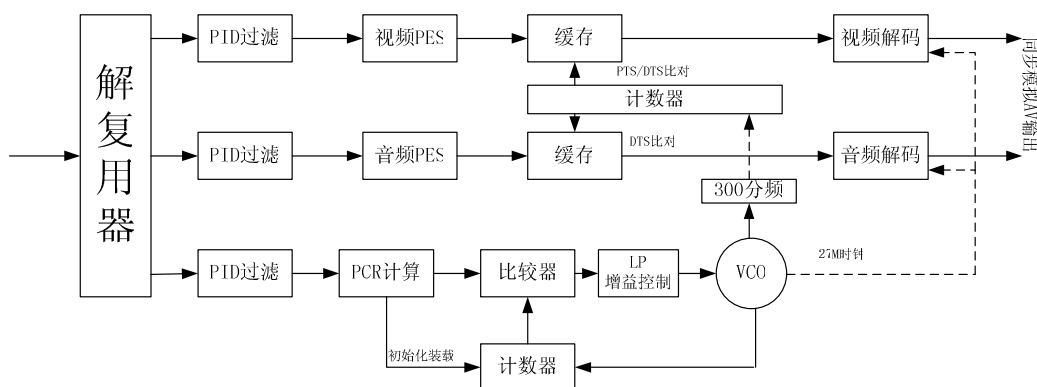


图 8 解码器 PCR 工作原理

当新节目的 PCR 到达解码器时，需要更新时间基点，解码器 STC（实际是计数器）就被置位。通常第一个从解复用器中解出的 PCR 被直接装入到 STC 计数器，其后 PLL 闭环操作。每当一个新节目的 PCR 到达解码器时，此值被认为是锁相环的参考频率，用来与 STC 的当前值比较，产生的差值经过脉宽调制后被输入低通滤波器并经放大，输出控制信号用来控制振荡器（VCO）的瞬时频率，VCO 输出的频率是在 27MHz 左右振荡的信号，作为解码器的系统时钟。27MHz 时钟经过波形整理后输入到计数器中，产生当前的 STC 值，其 33bits 的 90kHz 部分用于和 PTS/DTS 比较，产生解码和显示的同步信号。

PCR-Base 的作用是在解码器切换节目时，提供对解码器 PCR 计数器的初始值，以让该 PCR 值与 PTS、DTS 最大可能地达到相同的时间起点。PCR_extension 的作用是通过解码器端的锁相环电路修正解码器的系统时钟，使其达到和编码器一致的 27MHz。

2.4 PCR 的物理意义

PCR 在数字电视链路中有非常重要的作用，在物理意义上该如何正确地认识 PCR 是深入理解数字电视“实时”传输概念的关键点，而理解 PCR，第一个要点就是把握“实时”概念。PCR 仅仅在实时播出流中才有意义，即前端编码器实时编码或视频服务器实时播出，后端机顶盒实时接收的情况。对软件解码而言，PCR 毫无意义。

同时，要从物理本质上理解时钟概念，编码器中有一个 27M 的时钟，编码过程中不断读取硬件时钟放入 TS 中 PCR 字段；终端中也有一个 27M 的时钟，它根据 PES 中的 PTS，DTS 字段中指示的时间进行解码和显示。如果前端编码器的时钟与后端机顶盒中时钟“绝对”同步，那么 TS 中的 PCR 就没有任何意义了。为什么还需要 PCR？因为如果不进行时钟锁定，终端解码器的时钟频率 f_2 和编码器的时钟 f_1 之间存在微小误差，经过长时间的累积，机顶盒中解码器会因为自己时钟过快而造成缓存中没有数据，导致停顿，也会因为时钟过慢造成缓存中数据溢出，导致丢帧。

3 PCR 抖动测试

在 TR 101 290 测试指导中，提出了针对 PCR 抖动的测试内容，这些测试主要是测试前端网络发来的 TS 码流是否满足一定的精度。总体上可以分为 PCR 抖动检测部分和 PCR 抖动分析部分。一般的监测系统在 TR 101-290 第二优先级中，只是给出 PCR 的错误个数和出错 PCR 的 PID。而 PCR 分析包括 PCR 的精度分析和 PCR 的间隔分析。PCR 的错误范围是由允许偏离正确 PCR 值的最大值确定的，称为 PCR 精度，PCR 的间隔指两个连续的 PCR 之间最大的间隔时间，DVB 的默认值是 40ms，MEPG-2 的默认值是 100ms。

实际上，在 TR 101 290 里针对 PCR 的测试包括了 PCR 精度、PCR 总抖动、PCR 频率偏置和 PCR 漂移率。下面分别介绍：

3.1 PCR 精度 (PCR_AC)

PCR 精度 (PCR_AC) 是一个重要的 PCR 抖动测试指标。其含义是接收 PCR 中所含 27MHz 时钟的不准确度，但不包含任何传输定时损伤。测量时传输码流中 PCR 字节位置作为起点，计算出 PCR 到达时间。如图 9 所示，假设平均比特率为 M bit/s，Byte2-Byte2 指在该两处 PCR_base 的最后一个 bit 位之间传输的比特数目。

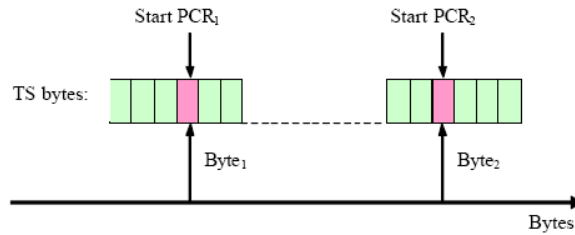


图 9 PCR_AC 测试

根据 PCR 的定义，图 9 中 PCR 到达的时间差为：

$$\text{Time}(\text{PCR2}-\text{PCR1}) = \{[\text{PCR_Base}(2)-\text{PCR_base}(1)] \times 300 + [\text{PCR_Ext}(2)-\text{PCR_Ext}(1)]\} / 27M \quad (\text{S})$$

按照比特率计算的 PCR 到达时间差为：

$$\text{Time}(\text{Bit}) = [\text{byte2}-\text{byte1}] / M \quad (\text{S})$$

PCR_AC 定义为：

$$\text{PCR_AC} = |\text{Time}(\text{PCR2}-\text{PCR1}) - \text{Time}(\text{Bit})|, \text{ 为时间 } t \text{ 的函数。}$$

可见影响 PCR_AC 的不包括传输定时损伤，测试的是编码器/复用器直接输出的 PCR 抖动性能。对 PCR_AC 造成影响的有：1) 编码器时钟不精确度（造成 PCR_base 和 PCR_Ext 值抖动）；2) 编码器复用 PCR 插入不精确度（PCR 插入时，取样有微小偏差）；3) 节目再复用器 PCR 修正不精确度（PCR 计算错误，修正时 PCR 插入带入不精确性）。

另外，需要注意的是，M 值本身是有微小波动的，该波动影响的是测量误差，而不是 PCR_AC。

3.2 PCR 总抖动(PCR_OJ)

PCR 总抖动考虑了传输定时损伤，测量的是 PCR 内所含 27MHz 时钟的高频变化，测量时以某一稳定外部基准作为参考，因此包含了任何传输定时变化。它是 PCR 测量中最重要的一项，是 PCR 中高频误差的总体测量并且还包括来自 PCR 发生和 PCR 再生的误差以及由传输损伤引起的到达时间误差。任何解码器均靠接收 PCR 以准确再生其节目时钟并提供稳定的视频输出。与此相同，任何再复用器均靠接收 PCR 以在其输出端精确地重新作出 PCR 标记。PCR 的到达时间是严格的；因此，测量包含有到达时间误差和精度误差的总抖动（PCR_OJ）就是非常必要的。

在理想运行系统中，传输损伤可以设计。然而在目前典型的分配网络中，包含有再复用器、ATM 层等各级链路，它们均会引入误差。PCR_AC 是在复用器输出端直接测量的数值，不过它在网络中的运行监视常会使人迷惑不解，因为按照定义，它应当消除一切传输损伤。如图 10 所示，利用一个外部独立的时钟参考源，可以来测试 PCR 总抖动。

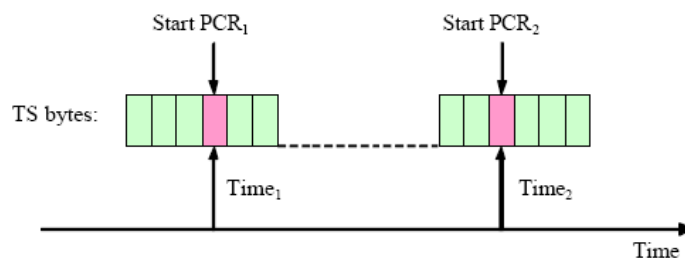


图 10 PCR 总抖动

$$\text{同样, } \text{Time}(\text{PCR2}-\text{PCR1}) = \{[\text{PCR_Base}(2)-\text{PCR_base}(1)] \times 300 + [\text{PCR_Ext}(2)-\text{PCR_Ext}(1)]\} / 27M \quad (\text{S})$$

$$\text{Time}(\text{bit}) = \text{Time2} - \text{Time1}$$

$$\text{PCR_OJ} = |\text{Time}(\text{PCR2}-\text{PCR1}) - \text{Time}(\text{Bit})|$$

实际测试中，Time2 和 Time1 的测量依赖于测试设备的时钟精度，其影响的是测量误差，而不是 PCR_OJ。

3.3 PCR 频率偏置(PCR_F0)

PCR 频率偏置测量的是 PCR 中所含 27MHz 时钟的频率偏置,测量时以某一稳定的外部基准作为参考。

假设在测量时刻 t_1 , 外部时钟计数器的两个部分分别为: $PCR_Base(refer,t_1)$ 和 $PCR_Ext(refer,t_1)$, 在测量时刻 t_2 , 外部时钟计数器的两个部分分别为: $PCR_Base(refer,t_2)$ 和 $PCR_Ext(refer,t_2)$,那么理想情况下:

$$[PCR_Ext(refer,t_2) - PCR_Ext(refer,t_1)] / [t_2 - t_1] = 27M \text{ Hz}$$

假设在测量时刻 t_1 , TS 包内 PCR 值分别为: $PCR_Base(real,t_1)$ 和 $PCR_Ext(real,t_1)$, 在测量时刻 t_2 , TS 包内 PCR 值分别为: $PCR_Base(real,t_2)$ 和 $PCR_Ext(real,t_2)$,那么实际的被测信号的频率与 27M 的偏差为:

$$[PCR_Ext(real,t_2) - PCR_Ext(real,t_1)] / (t_2 - t_1) - 27M \text{ Hz}$$

如果要更精确,则需要在计算 $t_2 - t_1$ 的时候, 计算 $PCR_base(refer,t_i)$, 其中 $i=1$ 或 2 。

3.4 PCR 漂移率(PCR_DR)

PCR 漂移率测量指的是 PCR 中的低频误差并计入了由 PCR 发生和再生引起的误差以及由传输损伤所引起的到达时间误差。即 PCR 内所含 27MHz 时钟的低频变化速率,测量时以某一稳定外部基准作为参考,因此包含了任何传输定时变化。

物理上, PCR 漂移率就是抖动的频率。解码器中的 VCO 输出端的信号频率应当跟踪输入信号频率,随着输入信号频率的变化, PLL 也随之作出响应,本地再生器将跟踪输入信号,随着输入信号变化速率的增加, PLL 的跟踪能力会有所降低,最后将导致本地发生信号失锁而丢失节目。数学上,可以近似为频率偏置函数对时间的一阶导数,即可求得任意时刻最大的抖动变化率。

4 PCR 抖动仿真

在按照图 1 测试数字电视终端设备时,需要产生仿真信号。根据第 2 部分和第 3 部分的分析,我们已经了解 PCR 抖动发生的位置以及测试参数,在模拟前端基带信号发生时,无怪乎是插入特有的 PCR 抖动,模拟节目编码器 PCR 插入误差、节目再复用器 PCR 调整误差以及多节目流传输过程中的传输损伤,这些损伤的发生最终反映在 PCR-AC、PCR_OJ 和 PCR_repetition(PCR 重复率)这几个指标上,用于测试解码器的 PCR 抖动适应性。

同时,在测试终端解码器过程中,我们需要提供测试解码器对 PCR_FO 和 PCR_DR 的适应性仿真码流,比如高频 PCR 抖动信号,检测解码器的 PLL 能否正常跟踪编码器时钟。在下面的仿真测试中,本文以罗德与施瓦茨公司的“数字视频分析系统 DVM400”作为仿真信号源,说明如何仿真出模拟前端的 PCR 抖动码流。需要解释的是, DVM400 满足引言中对基带测试信号源的所有要求,只有满足这些要求,才可以完成下面的仿真测试。

4.1 仿真信号源固有误差

任何一个测试设备都会带入测量误差,对于测试 MPEG II 解码器的仿真信号源而言,同样有这个问题。可以按照如下的步骤进行测试。启动 DVM400 的无缝码流播放功能,关闭 PCR 抖动设置,如图 11 所示:

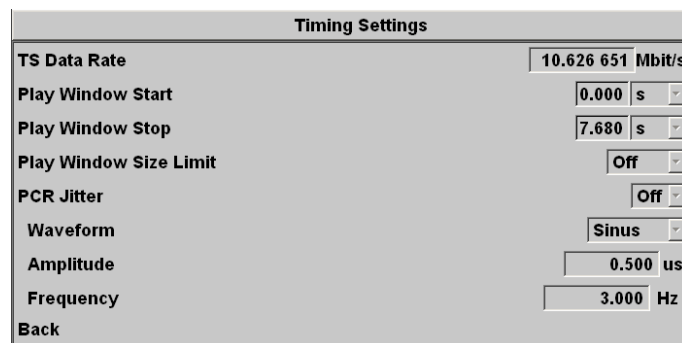


图 11 播放界面设置

利用线缆将码流播放输出接口环回到 TS 流分析输入接口,利用 DVM400 PCR_AC 测试功能,获得如图 12 所示结果:

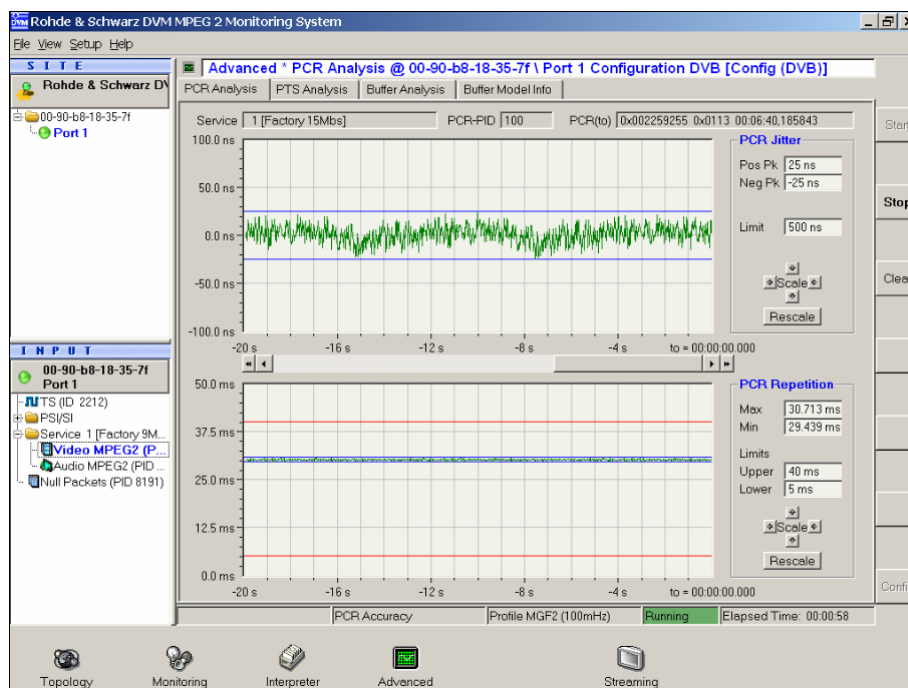


图 12 关闭 PCR 抖动仿真时系统实测 PCR 抖动

可见，仿真信号源由于自身原因引起的 PCR 抖动在 25ns 以内，该值跟实际网络的 PCR 抖动相比，可以忽略。

4.2 仿真信号参数：波形、幅度、频率

一般而言，PCR 抖动仿真可以对抖动的波形、幅度和频率做设置。在物理上，波形意味着不同的频率成分以及组合，幅度意味着抖动的最大范围，频率意味着抖动的频率。

DVM400 支持三种波形设置：正弦波、方波和三角波。正弦波频率成分最少，三角波次之，方波频率成分最多。设置不同的波形严格说没有什么特殊的物理含义，但是频率成分的不同影响的是终端测试设备的测试以及解码器的锁相环的工作。一般而言，解码器 PLL 的差值数据都会经过低通滤波器过滤。因此，一般而言，对此要求不高的话，可以任意指定一种波形，如果要检测 PLL 性能，可以设置方波。

DVM400 支持频率设置范围为：0.001Hz-100KHz。为何设置这个频率范围，是因为按照 TR 101 290 测试指导，具有 0.01Hz/0.1Hz/1Hz 的三个高通滤波器用于区分分析频率范围，因此频率设置应该支持 0.01Hz 及其以下的频率。至于高于 1Hz 的频率设置，没有明显的物理含义，仅仅用于测试解码器 PLL 对抖动频率的适应度。

DVM400 支持的抖动幅度范围为：100ns-1ms，按照标准，PCR_AC 的容限为 500ns，根据测试，测试系统自身引入大概 25ns 的误差，那么，可以根据测试需要灵活设置 PCR 抖动幅度。一般而言，可以直接在码流播放 PCR 抖动界面设置 500ns，这样，有些时候就可以达到 525ns，可以研究解码器是否满足要求。当然，如果要测试解码器的 PCR 抖动幅度的适应度，则需要加大抖动幅度，测量最大值。

4.3 PCR_AC 测试仿真信号发生

如果要发生 PCR_AC 测试仿真信号，检测解码器 PCR 抖动适应性，可以利用 DVM400 的码流播放器直接仿真（可以利用 DVM400 的 PCR 分析功能直接检测仿真效果）。根据上文论述的 PCR_AC 的影响因素，可以具体分为两类 PCR_AC 仿真信号：

1) 节目编码器/复用器 PCR_AC 仿真测试信号

首先，测试系统已经引入了 25ns 的极微小的 PCR 抖动（这个抖动一般情况可以忽略）。我们直接在播放器界面启动 PCR 抖动设置，选择方波和 500ns 参数，然后设置我们需要的频率，比如 0.5Hz。那么利

用 DVM400 PCR_AC 分析功能来测试，当选择 1Hz 高通滤波（MGF3）模型时测试的结果如图 13：

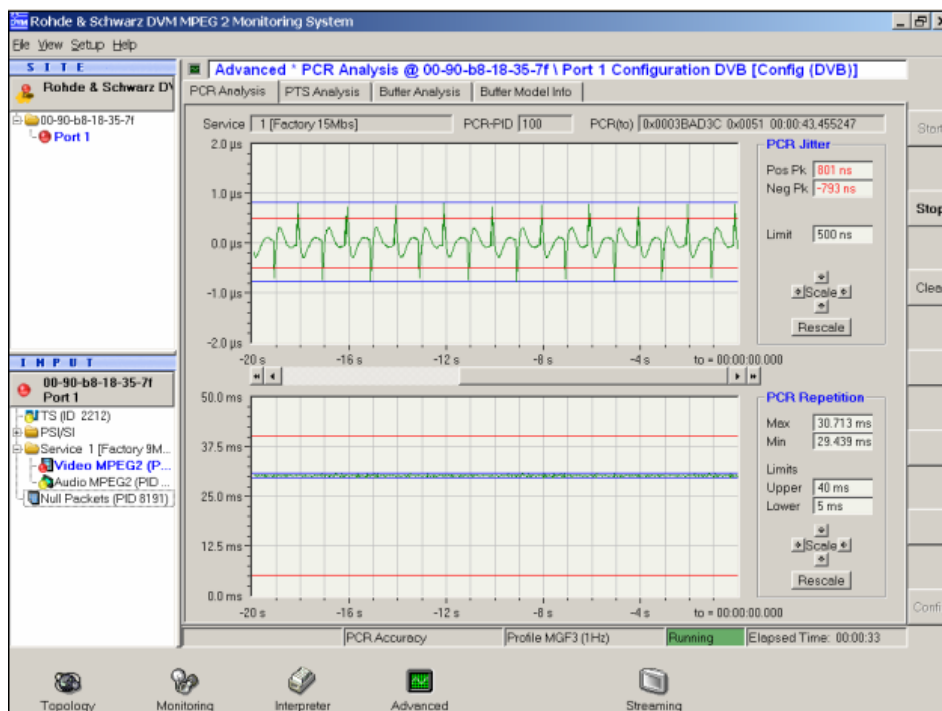


图 13 基于 1Hz 高通滤波器模型测试 PCR_AC

选择 0.1Hz 高通滤波（MGF2）模型时测试结果如图 14：

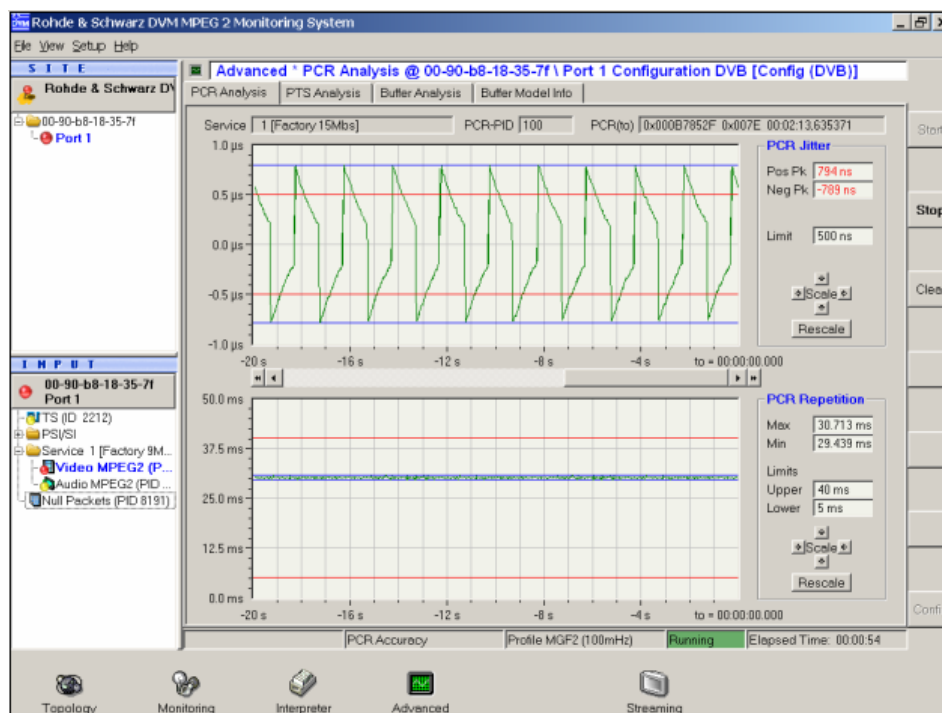


图 14 基于 0.1Hz 高通滤波器模型测试 PCR_AC

2) 再复用器 PCR_AC 仿真测试信号

要仿真数字电视链路再复用器的 PCR_AC 测试信号，则要稍微复杂一些。由于 DVM400 在播放特殊制作的 GTS 码流时，会根据输出码率自动更新 PCR 值，确保 PCR 正确，为了模拟再复用器的 PCR 修正错误，可以先利用 DVM400 的 GTS 播放器播放出正常的 TS 流，然后利用 DVM400 的记录功能同时记录该码流，假设记录的 TS 流马率为 M bit/s，然后利用 DVM400 的 TRP 播放器播放该码流，但是把播放码率设置为 $M+N$ bit/s。由于 TRP 播放器无法修正 PCR 值，因此可以仿真再复用器中 PCR 修正错误造成的

PCR 抖动。

4.4 PCR_OJ 测试仿真信号发生

尽管传输系统造成的传输损伤可以通过缓存再发机制屏蔽，但是对测试解码器功能，我们仍然要考虑这些损伤存在时，解码器能否正常工作，即便最主要的 PCR 抖动是 PCR_AC。但是由于测试设备一般都是高性能的，无法模拟传输损伤，因此特殊情况下可以利用一根较长的劣质线缆连接至 DVM400 的码流输出接口，以此来模拟产生一些传输损伤。同样，我们可以利用 DVM400 的 PCR_OJ 分析功能检测模拟发生的 PCR_OJ 信号。

仍然按照 4.3 所述设置，选择 DVM400 的 PCR-OJ 测试，并选择 1Hz 高通滤波器模型得到如图 15 所示结果：

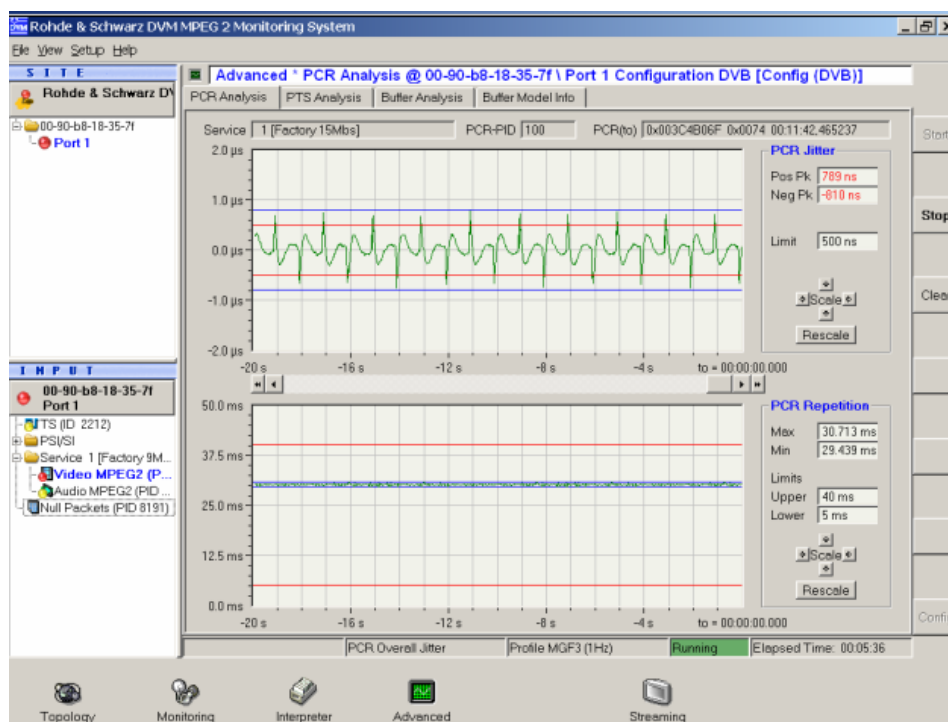


图 15 基于 1Hz 高通滤波模型测试 PCR_OJ

以上测试结果明显超过了 500ns 的范围，可以通过两种方式修改仿真信号来使 PCR 抖动降低，其一是调整抖动幅度，其二是改变抖动波形，减少抖动频率高频部分。

5 结语

本文详细讨论了数字电视传输系统中 PCR 的功能、产生机制、物理意义以及 PCR 抖动发生的原因和测试参数。详细分析了 PCR 抖动对接收终端 MPEGII 解码器造成的影响，基于数字视频测试系统 R&S DVM400 提出了 PCR 抖动仿真测试方法，并且分析了 PCR 抖动仿真测试需要的实验环境和设置技巧。值得一提的是，关于 PCR 抖动测试参数的分析不仅适合 MPEGII 终端解码器的仿真测试，也适合数字电视前端网络 PCR 抖动性能测试。

参考文献

- [1] 钟玉琢, 王琪, 赵黎, 等. MPEG2 运动图像压缩编码国际标准及 MPEG 的新进展 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002
- [2] 卢官明 宗昉 编著 [M]《数字电视原理》 北京: 机械工业出版社, 2004.1.1
- [3] 刘修文 编著 [M]《数字电视有线传输技术》 北京: 电子工业出版社, 2002.9