

适应调频同步广播的 MPEG-2 再复用器 PCR 修正算法

贺玉才, 杨洋

湖南文理学院, 湖南常德 415000

摘要 节目参考时钟(PCR)是 MPEG-2 系统中音视频解码的时间基准, MPEG-2 解码器利用 PCR 时间信息控制 MPEG-2 视频解码、显示时间及音视频同步。PCR 修正是 MPEG-2 再复用器设计的关键技术之一。对目前再复用器实现中的 PCR 修正算法及 MPEG-2 标准传输流中 PCR 进行分析研究, 提出了一种新的 MPEG-2 再复用器 PCR 修正算法。采用该修正方法, 可以避免再复用器在再复用过程中对 MPEG-2 信号进行缓冲后 PCR 包中标识的 PCR 值和解码器实际接收到 PCR 包时的时间值不一致情况的发生; 解决了 MPEG-2 解码时由于不一致引起的 PCR 抖动和缓冲区溢出问题; 使解码器可以利用该 PCR 信息恢复出编码端的时钟, 保持编、解码器时钟同步。采用该修正算法修正的再复用器的音频信号可满足对时间要求更苛刻的调频同步音频广播的要求。

关键词 调频同步广播; 复用器; PCR 修正; PCR 抖动

中图分类号 TN48.4

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)15-0045-04

A PCR Correction Method of MPEG-2 Re-multiplexer Adapted for FM Synchronous Broadcast

HE Yucui, YANG Yang

Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, Hunan Province, China

Abstract The Program Clock Reference (PCR) is the time base of decoding video and audio in MPEG-2 system. A MPEG-2 decoder uses the PCR to control the decode time and the present time of video and to realize the synchronization of video and audio. The PCR correction is one of the key technique for the MPEG-2 remultiplexer design. This paper proposes an improved and practical method of the PCR correction for the design of MPEG-2 remultiplexer through analysis of problems in the PCR correction method currently used in MPEG-2 remultiplexer. With the correction method, the re-multiplexer can solve the problem that the timing of the PCR value described in the PCR field is not in accord with the timing of the decoder received in the PCR field in the packet, due to the buffering of the MPEG-2 signal in the processing of remultiplexing, therefore, it can solve the problems of PCR jitter and buffer overflow in the processing of MPEG-2 decode, which would happen with a wrong PCR correction method. A decoder can reconstruct the clock signal of the encoder from the PCR value, and keep the clock in synchronization between decoder and encoder. Furthermore the audio signal after re-multiplexer with the new PCR correction method can meet FM synchronous broadcast requirements for a more accurate time.

Keywords FM synchronous broadcast; re-multiplexer; PCR correction; PCR jitter

0 引言

调频同步广播^[1]是使用同一载波频率、同一节目源, 按需小功率多布点的方法实现广阔地域无缝隙同步覆盖的广播技术。调频同步广播的实施可以使有限的调频频率资源得到充分利用, 频谱利用率大大提高。同步广播使用单一频率大

范围广播覆盖, 便于听众收听, 特别是为公路、铁路交通线路上的移动收听用户带来极大的方便, 能够从根本上解决以往靠高塔大功率来实现覆盖所造成的弊端, 极大地降低了大功率发射产生的交调互调杂波对其他通信系统的干扰, 降低了环境的电磁污染, 减轻了电磁波多径干扰, 减少了阴影区, 提

收稿日期: 2010-06-02

作者简介: 贺玉才, 工程师, 研究方向为数字电视广播传输及嵌入式系统应用, 电子信箱: yucaih@21cn.com

高了广播质量和覆盖率。

基于 MPEG-2 压缩方式的调频同步音频传输方案,采用节目参考时钟(Program Clock Reference,PCR)进行音频信号的同步,不需要专门的全球定位系统(Global Position System, GPS)同步时钟。该传输方案占用带宽少,音频信号可以作为数字电视的伴音信号进行传输,不需要架设专门的传输线路,因此在调频同步广播中得到了广泛的应用。

目前的再复用器中所使用的 PCR 修正处理算法有很多种。采用 PCR 修正算法时,由于 MPEG-2 系统本身对参考时钟的要求比较严格,再复用器同其他前端设备之间的参考时间偏差很小,解码时引起的缓冲区溢出问题在 MPEG-2 系统中因发生频率较低而往往被忽略,但是在对时钟要求比较高的调频同步广播系统中这种溢出会频繁出现。本文提出了一

种新的 PCR 修正方法,运用该 PCR 修正算法的再复用器,能够满足调频同步广播中音频同步接收的要求。

1 MPEG-2 系统中 PCR 实现同步的原理

1.1 MPEG-2 系统编解码的时间模型

一般情况下,编码器和解码器的系统时钟及延时不一致等问题容易导致在解码器输出端引起溢出。为了解决同步及溢出等问题,MPEG-2 标准在系统层语法中给出了一个系统编解码的时间模型^[2](图 1)。模型要求端到端延时,即从信号进入编码器、经过编码缓冲、多路复用器、传输或存储、解复用器、解码缓冲,最后到解码器解码的整个过程中总延时时间应为一常数。

该模型中,虽然信号通过每个编码器、解码器缓冲区的延

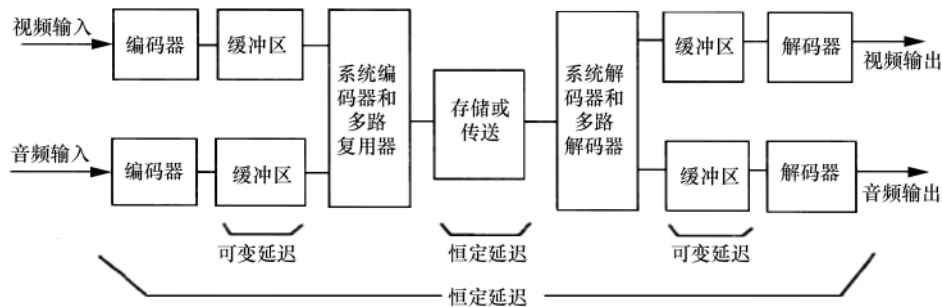


图 1 MPEG-2 固定延时模型

Fig. 1 MPEG-2 constant delay model

时是可变的,且未对信号传输过程中延时时间的长短做出任何限定,但是要求信号在整个传输过程中保持一个恒定的延时。MPEG-2 系统未对系统内各设备的具体实现方法进行规定,但要求各设备在实现过程中必须保证 MPEG-2 码流在设备内的传输时延固定。只要满足该时间模型,即保证端到端的延时恒定,MPEG-2 系统就可以保证解码过程中的视音频同步以及解码器解码过程中不会溢出。

1.2 MPEG-2 系统中编码端 PCR 的生成

在 MPEG-2 系统中,定义了一个公共的参考时钟(MPEG-2 标准规定系统时钟频率为 27MHz)为系统时序时钟(System Time Clock,STC),该时钟用来产生指示音频和视频的显示时间标签(Presentation Time Stamp,PTS)和解码时间标签(Decoding Time Stamp,DTS)。通常情况下,编码器和解码器的系统时钟会有一些偏差,因此解码器通常需要从 MPEG-2 码流中提取编码器编码时的时钟信息,并在解码端通过锁相环来恢复编码端的系统时钟,以达到同步的目的。解码端系统时钟的恢复是通过对 PCR 的处理实现的^[3]。

在 MPEG-2 系统的定义中,PCR 值是指在 PCR 字段的最后一个字节离开复用器时系统时钟的值(以 27MHz 时钟为单位的计数值),同时把该系统时钟的采样瞬时值作为 PCR 字段插入到相应的 PCR 域。27MHz 时钟经波形整理后分两路,

一路是以 27MHz 时钟为单位的经一个 9b 计数器生成扩展域 PCR_ext,长度 9b;另一路经过一个 300 分频器后的 90kHz 脉冲送入一个 33 位计数器生成 90kHz 基值,列入基值域 PCR_base,长度 33b,用于和解码时间戳/显示时间戳(PTS/DTS)比较,产生解码和显示所需要的同步信号。这两部分被置入 PCR 域,共同组成了 42 位的 PCR。

以 $t(i)$ 表示第 i 个包含 PCR 字段的最后一位字节离开复用器的时间。PCR 具体编码方式如下^[2]:

$$\text{PCR_base}(i) = ((\text{系统时钟频率} \times t(i)) / 300) \% 2^{33}$$

$$\text{PCR_ext}(i) = (\text{系统时钟频率} \times t(i)) \% 300$$

$$\text{PCR}(i) = \text{PCR_base}(i) \times 300 + \text{PCR_ext}(i)$$

MPEG-2 系统规定 PCR 在指定的 TS (Transport Stream) 流适配层中进行传送。每隔 100ms 传输一次,解码器就是通过锁相环跟踪该时钟信息,保证解码器系统参考时钟同编码器系统参考时钟的同步。PCR 实际上传送的就是 MPEG-2 系统同步参考时钟。

1.3 解码端系统时钟的恢复

解码端系统时钟的恢复是 MPEG-2 解码的关键。在实际中,编码器和解码器均有各自的参考时钟源,且各参考时钟源频率不可能完全一致,因此在解码器端需要利用接收到的 PCR 的值来使解码器时钟与编码器的系统时钟同步^[3]。通常

的方法是在解码端用一个锁相环电路,利用解码端定时发送(100ms 发送一次)的 PCR 作为参考时钟,将解码端时钟锁定到与编码器时钟同步(图 2)。当解码器第一次接收到 PCR 时,以该 PCR 值作为计数器的计数基点,该计数器用来对解码器系统时钟进行计数,以后每接收到一个新的 PCR 的值,其与计数器的差 e 经过脉宽调制后输入到低通滤波器并放大为控制信号 f 来调整压控振荡器(VCO)的瞬时频率输出,使解码器 VCO 产生一个约 27MHz 同步于编码器系统参考时钟的输出时钟,作为解码器的系统时钟。

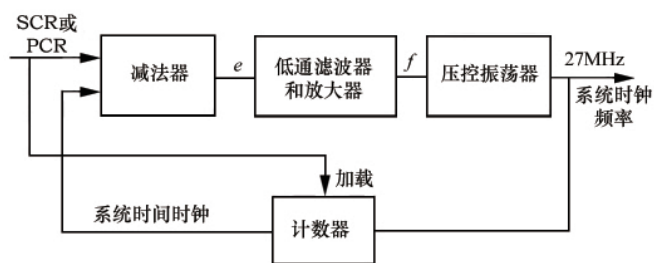


图 2 STC 恢复原理示意图
Fig. 2 Schematic diagram of STC recovery

2 复用器中 PCR 的修正

2.1 复用器的原理

MPEG-2 传输流包括单载波单节目 (Single Channel Per Carrier, SCPC) 和单载波多节目 (Multiple Channels Per Carrier, MCPC) 两种模式。MCPC 模式 MPEG-2 传输流的复用过程可以分为 2 个层次,打包后的音视频数据流合成一个单节目的传输流及多个单节目的 TS 流合成一个新的包含多个节目信息的传输流。在第一个层次,通过对来自一个或多个打包的基本数据流 (Packetized Elementary Stream, PES) 的传输包进行复用^[4],形成单个节目的传输流。构成一路节目传输流的条件是要求构成该节目的基本流拥有共同的时间基准,在第二个层次,对多个节目的传送流进行重新组合,以构成一个包含多个节目的传输流,其体系结构是可分级的,多路节目的 TS 流也以同样方式复合构成更高速率的传输流。通常对于第一层次的复用称为节目复用,第二层次的复用称为传输流复用^[4]。对于节目复用,整个传输流共用同一个时钟源,即传输流中各种节目信息具有共同的时钟参考;而对于再复用的传输流,由于各节目是从不同的传输流通过重新分配的方式获得,其节目来源于不同的传输流中,因而其包含的多节目有可能各自有自己独立的时钟参考系统。传输流再复用原理如图 3 所示。

2.2 再复用器对 PCR 的影响

在 MPEG-2 系统的编解码时间模型中^[2,5],编码器将 PCR 作为单一的系统时钟参考,PCR 字段的值在离开编码器(节目复用功能在编码器中实现)后通过延时恒定的传输信道直接连接到解码器。如果从编码器输出的信号经过了再复用器,由于再复用器实现过程中需要对所参与复用的码流进

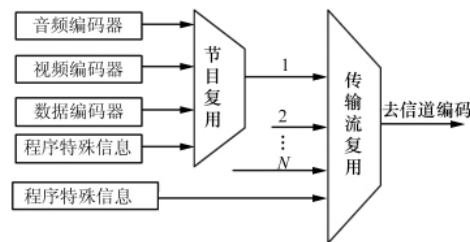


图 3 传输流再复用原理框图
Fig. 3 Schematic diagram of transport stream re-multiplexer

行存储转发,各传输码流在再复用器中的延时不具有确定性,使得编码输出到解码器这段时间的延时不恒定,因而再复用器中需要对传输码流的 PCR 进行重新调整^[6],以满足 MPEG-2 的编解码时间模型关系。

根据 MPEG-2 标准中对 PCR 的定义,PCR 插入的必须是 PCR 字段的最后一个字节离开编码器时系统时钟的值,之后经过固定的延时到达解码端。再复用器中对 MPEG-2 码流传输包进行了存储,由于码流传输包的延时时间不固定,相当于码流传输包经过再复用器后在 PCR 中引入了抖动;根据再复用器实现方法,其缓冲时间差别最大可达一个传输包的时间,因此,以通常节目速率 5Mb/s、传输包长 188B 为例,引入的抖动可达 300 μ s,大大超过 MPEG-2 规定的 PCR 抖动容忍度(500ns),因此需要对再复用器中的 PCR 进行重新修正。

2.3 不同的 PCR 修正算法存在的问题

目前,对于再复用器中 PCR 的修正有以下两种方法。

1) PCR 重新标记。该方法是复用器本地时钟对 PCR 进行重新插入。按照该方法进行 PCR 处理,在解码器恢复出来的系统时钟是再复用器的参考时钟,不是编码器的参考时钟。这种方式能够保证解码后的音频和视频播放保持同步,但是再复用器的参考时钟不等于编码器的参考时钟,如果再复用器的参考时钟比编码器的参考时钟快,解码器的解码速度就要比编码器的编码速度快;加之时钟偏差具有累计效应,虽然解码器中通常有一定的缓冲区,但是由于编码器从缓冲区读数据的速度大于缓冲区从编码器收到数据的速度,经过一定时间的积累后,缓冲区很快就会空,产生缓冲区的下溢;缓冲区空时,解码器暂时停止解码,重复播放上一次解码的结果,等待新的视音频数据,会产生一种停顿的现象。相反,如果再复用器的参考时钟比编码器的参考时钟慢,解码器的解码速度就要比编码器的编码速度慢,经过一定时间的积累后,会出现解码器缓冲区上溢,这时解码器就会丢掉接收到的数据包,解码后播放会出现跳帧现象。

2) 时钟跟踪法。该方法是根据 MPEG-2 信号中的 PCR 时间信息,在再复用器中恢复出编码器的时钟,然后利用该时钟进行 PCR 重新插入,该方法的问题在于再复用器是对不同码流中的节目进行复用,各个节目都有各自的参考时钟,而再复用器只能跟踪一路节目的参考时钟。这样,对于被跟踪的节目,可以在解码端正常解码,不会引起缓冲区溢出的

问题;对于不同于该时钟参考源的其他节目,则会产生同第一种复用方法一样的问题。

再复用器与编码器参考时钟的偏差及再复用器缓冲区的大小共同决定了缓冲区上溢或下溢引起的停顿或跳帧现象的发生频率。如果再复用器与编码器参考时钟的偏差不大,用户正常收看时不会有很明显的停顿或跳帧感觉,而对一些专业的应用会产生很大的影响。本文作者在开发专业的同步音频接收机时,就发现由于这种不正确的 PCR 修改方式,使得同步音频接收机频繁地产生失步(即产生了缓冲区的溢出)的现象。

2.4 新的 PCR 修正算法

对于多节目多时钟参考源的再复用器进行 PCR 的处理,较好的方法为只对 PCR 的值进行修改,不重新插入新的值。方法如下:①在再复用器中利用本地 27MHz 时钟对进入再复用器的每一个 PCR 包在再复用器内的缓冲时间进行计数,以获得每一个 PCR 包在再复用器中的延时;②根据该延时来修正 PCR 域,即在原来 PCR 值的基础上加上包含该 PCR 域的传输流包在本复用器中实际缓冲的时间,即为新的 PCR 值。新的修正算法原理如下:

$$PCR_{new}=PCR_{old}+PCR_{out}-PCR_{in}$$

其中,PCR_{new}为调整后的 PCR 值,PCR_{old}为原 PCR 的值,PCR_{in}为 TS 包中 PCR 域刚进入复用器时本地计数值,PCR_{out}为 TS 包中 PCR 域离开复用器的本地计数值。对于复用器来说,其输出速率必须大于各输入节目速率之和,因此对于各输入码流来说,其在复用器中缓冲的时间以包(Packet,每个包为 188B)为基本单位,因此以通常节目速率 5Mb/s,传输包长 188B 为例,一个包含 PCR 信息的包在复用器中的延时可达 300 μ s,对于高速率的节目源来说,其停留时间更短。

该方法虽然也会因本地再复用器与编码器的参考时钟不一致而引入一些偏差,影响 PCR 的精确度^[6],但其偏差只是 PCR 包在再复用器中缓冲的一段时间的偏差,因而很小,不会对解码器恢复系统时钟产生影响;最主要的是该时间偏差只与该 PCR 包在再复用器中缓冲时间相关,不具有时间累积效应,因而引入的抖动很小,在标准允许的范围内。

按照 MPEG-2 标准的要求作为编码器或再复用器等前端设备的频率精确度应该在 ± 540 Hz 之内,以缓冲一个包为单位计算,则修正后的 PCR 对系统引入的抖动 ΔPCR 的算式为 $\Delta PCR = |\Delta f_2 - \Delta f_1| \cdot t / f_{src} \leq |540 - (-540)| \times 0.0003 / 27000000 = 12ns$ 式中, Δf_1 为编码器与 27MHz 的频率差, Δf_2 为再复用器与 27MHz 的频率差, t 为 PCR 包在复用器中的时延,一般为 300 μ s, f_{src} 为 MPEG-2 标准时钟。该方案引入的抖动远小于 MPEG-2 规定的 PCR 抖动容忍度,因此以该方案实现的再复用器完全可以满足 MPEG-2 标准及系统时间模型的要求。

3 结论

本文描述了 MPEG-2 的编码时间模型以及 MPEG-2 中

编、解码器如何通过 PCR 实现时钟的同步。分析了目前再复用器中常用的两种 PCR 进行修正的方法。对再复用器中的两种不同 PCR 修正方法,分别描述了 MPEG-2 信号在经过该复用器后对同步音频接收机同步接收可能引起的问题。针对上述问题,提出了新的 PCR 修正算法,可解决调频同步广播系统中常见的音频无法同步接收或同步后经常失步的问题^[7],实现了音频接收的同步。

参考文献 (References)

- [1] 王季平. 调频同步广播技术的最新发展及应用 [J]. 广播与电视技术, 2005(9): 73-76.
Wangjiping. *Radio & TV Broadcast Engineering*, 2005(9): 73-76.
- [2] 国际标准化组织(ISO), 国际电工委员会(IEC). 运动图象及其伴音通用编码国际标准 MPEG-2 [M]. 钟玉琢, 乔秉新, 祁卫, 译. 北京: 清华大学出版社, 1997: 19-33, 108-118.
International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission. Generic coding of moving pictures and associated audio international standard MPEG-2[M]. Zhong Yuzhuo, Qiao Bingxin, Qi Wei, trans. Beijing: Tsinghua University Press, 1997: 19-33, 108-118.
- [3] 吴军. MPEG-2 传输流的定时和同步 [J]. 西部广播电视, 2003(10): 16-19.
Wujun. *West China Broadcasting TV*, 2003 (10): 16-19.
- [4] 陈辉, 王养利. MPEG-2 的传输流多路复用算法 [J]. 微机发展, 2005, 15(3): 130-134.
Chen Hui, Wang Yangli. *Microcomputer Development*, 2005, 15(3): 130-134.
- [5] 杨德鹏, 邹伦开, 徐亮, 等. MPEG-2 节目复用器的关键技术及其实现 [J]. 现代电视技术, 2006 (1): 92-94.
Yang Depeng, Zou Lunkai, Xu Liang, et al. *Advanced Television Engineering*, 2006(1): 92-94.
- [6] 杜邓宝, 潘长勇. 数字电视传输系统中 PCR 抖动的校正分析与实现 [J]. 电视技术, 2005(7): 47-50.
Du Dengbao, Pan Changyong. *TV Engineering*, 2005(7): 47-50.
- [7] 查小亚, 张树春. 传输流中 PCR 的抖动原因及解决方案 [J]. 卫星与网络, 2006(9): 44-46.
Zha XiaoYa, Zhang Shuchun. *Satellite & Network*, 2006(9): 44-46.

(责任编辑 刘志远)

本期好玩的数学——方格填数答案

5	6	4	1	9	8
1	3	8	4	1	2
6	5	3	8	3	0
5	0	8	6	1	4
1	9	7	2	5	0
2	7	4	6	9	1