

一种适用于 DVB Over IP 的传输流传送方法

平亮 孙军 周军

(上海交通大学图像通信与信息处理研究所, 上海 200240)

摘要 对 DVB Over IP 应用来说,如何传送给可变比特率(VBR)压缩的 MPEG-2 传输流格式的视频是一个重要的问题。其中以传统的恒定速率(CBR)方式传送 VBR 视频时,接收端需要较大的缓存和开始延时时间;而另一种新的采用 PCR 协助的恒定速率(PCBR)传送方式,则是以较高的传输速率和以牺牲码率的稳定性来减少缓存需求。为了平衡传输速率和接收端缓存需求,在 PCBR 基础上,提出了一种称为 IPCBR 的改进的视频流传送方法。通过实验证明,该新方法与传统 CBR 传送方式相比,不仅可降低缓存需求,而且与 PCBR 方式相比,又具有较高的稳定性和带宽利用率,并克服了 PCBR 丢包率较高的问题。同时由于该算法特别针对 DVB Over IP,具有较强的实用性,且有利于 Internet TV 业务拓展。

关键词 DVB Over IP 可变比特率 MPEG-2 传输流 网络电视

中图分类号: TN919.85 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)11-1520-04

An Algorithm of Transmitting Transport Streams for DVB Over IP

PING Liang, SUN Jun, ZHOU Jun

(Institute of Image Communication & Information Processing, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240)

Abstract For application of DVB Over IP, one important issue is about how to transmit compressed variable bit rate(VBR) MPEG-2 transport stream video. Transmitting compressed VBR video with traditional constant bit-rate(CBR) service requires a large buffer at the end. Another new transmission schemes called PCR-assist CBR which reduces the buffer requirement at the cost of higher transmission rate and low stability. To balance the transfer rate and the need for buffer in receiver, this paper presents an improved algorithm of transmitting transport streams called IPCBR which is based on PCBR. Experiments show that compared with traditional constant bit-rate service, the algorithm reduces the buffer requirement, provides high stability and high use of bandwidth as well as overcomes the problem of packet loss. Besides, the algorithm focuses on DVB over IP, so it has high practicability and also is valuable for developing new operation of Internet TV.

Keywords DVB over IP, variable bit rate(VBR), MPEG-2 transport stream, internet TV

1 引言

目前在 IP 网络上开展的 Internet TV 业务主要有两种方式:一种是面向计算机视频点播的,其直接采用压缩后的视频流进行传输,以 Microsoft 的 ASF (advanced streaming format)、Real Networks 的 Real Media 和 Apple 的 Quick Time 格式为主;另一种是面向数字电视广播的,其是采用标准 MPEG-2 TS(transport stream)格式进行 IP 网络传输,即所谓 DVB over IP 技术。

所谓 DVB over IP 技术,就是将 DVB (digital video broadcast)中 MPEG-2 格式音/视频流转换成 IP 流,以便在网络上进行传输。DVB over IP 技术的核心是实现数字电视传输协议转换和业务模式转换。DVB 从 2000 年 10 月成立了 IPI(IP infrastructure)特别工作组,并由该工作组制定基于 IP 及相关网络协议的数字电视业务实现方案。其中一个成果草案为 RFC2250 推荐的一种 MPEG1 和 MPEG2 用 RTP(real transfer protocol)传输的 DVB Over IP 方案^[1]。

该草案的核心是先通过 RTP 协议封装 TS 包,然

基金项目:国家“863”高技术研究发展计划项目(2005AA103310);国家发改委 CNGI 项目(CNGI-04-15-2A)

收稿日期:2006-06-28;改回日期:2006-08-03

第一作者简介:平亮(1981~),男,2004 年获中国科技大学工学学士学位,现为上海交通大学硕士研究生。主要研究方向为网络多媒体。E-mail:pingge9163@sjtu.edu.cn

后再承载在 UDP(user datagram protocol)上,最后通过 IP 层打包发送出去。之所以采用 RTP 协议,是为了有效防止网络抖动。为了保持系统时间同步,RFC2250 草案规定 RTP 包头的时间戳域中利用 90kHz 精度的节目时钟参考(program clock reference, PCR)作为基准。同时为了有效利用 IP 包的载荷容量,RFC2250 草案建议每个 RTP 封装 1~7 个 TS 包。

2 现有传送方法

为了充分有效地利用带宽进行服务,目前基于 DVB Over IP 的 VOD(video on demand)点播业务,多采用传统的恒定比特率(constant bit rate, CBR)方式传送用可变比特率(variable bit rate, VBR)压缩的 MPEG2 格式视频。其方法是把固定带宽分配给每一个输入码流。当输入码流的比特率比带宽窄时,则将一些虚设数据包加进输出码流,以维持分配所得到的 CBR 带宽。然而,研究发现,采用传统的 CBR 方式传送 VBR 编码的 MPEG-2 传输流需要很大的缓存和较长的开始延时时间^[2]。文献[2]给出了采用 CBR 方式传送 VBR 压缩视频时,基于缓存需求和传送速率的一个基本关系。假设定义从开始传送到开始播放之间的时间为开始延时时间,则可以通过分析得出开始延时时间、传送速率、终端缓存需求大小的关系。

假设网络延时是恒定的,并且解码器是实时解码,则解码器所需缓存的数据可以由缓存曲线(如图 1 所示)表示,也就是下列点的集合:

$$M = \{ (n \times t_{\text{frame}}, A_n), ((n+1) \times t_{\text{frame}}, A_n) | 1 \leq n \leq N \} \quad (1)$$

其中, t_{frame} 是每一帧的传输时间, N 是所有帧的数据总和, A_n 是终端在 $[1, n]$ 帧时间内缓存的数据总和,即

$$A_n = \sum_{i=1}^n S_i \quad (2)$$

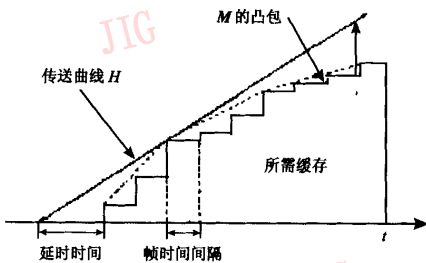


图 1 缓存需求和传送速率的基本关系

Fig. 1 Relationship between buffer need and transfer rate

其中, S_i 是第 i 帧的大小。 M 的凸包可由贾维斯的步进算法^[2]得到。

对于给定的延时时间,可以得到一条与 M 的凸包相切的曲线,称为传送曲线 H 。而终端所需的最小缓存,则可以由传送曲线和终端缓存数据曲线的最大差值决定。

通过分析,采用 CBR 方式传送 MPEG-2 压缩流需要很大的缓存和较长的开始延迟时间,尤其是对于 VBR 编码的视频来说更是如此^[2]。由于客户端通常只有有限的缓存,因此使得用 CBR 方式传输在实际应用中有很多的困难。国内外一些学者考虑了采用分段 CBR 的方法^[3]来降低对缓存的需求和等待时间,但也没有取得很好的结果。

同时,由于 CBR 算法是把固定带宽分配给每一个输入码流,这样,当输入码流的比特率比所分配给的带宽宽时,就会产生帧延时或数据包的丢失,从而严重影响节目显示的质量。相反,当输入码流的比特率比带宽窄时,由于一些虚设数据包要加进输出码流,以维持分配所得到的 CBR 带宽,从而使要使用的实际有效带宽小于所分配的带宽,这就严重影响了带宽利用率。

文献[4]提出了一种新的方法,称为 PCBR (PCR-assist CBR) 这种方法是利用 MPEG 编码时嵌入的节目时钟参考去调整传送速率,减少客户端的缓存需求。它主要是通过 PCR 值来限制传送包的传送时刻,进而调节传送速率。

该算法的具体步骤是,记通过分析第 i 个 PCR 值得到的应当发送时间为 t_i^{PCR} , t_i 为检测到的第 i 个 PCR 出现的当前时间。在准备发送时,如果检测到 $t_i^{\text{PCR}} < t_i$,则说明当前时间落后于应当发送时间,这时应该立即发送。反之,如果检测到 $t_i^{\text{PCR}} > t_i$,则说明当前时间早于应当发送时间,此时应停止发送数据直到 $t_i^{\text{PCR}} = t_i$ 。在这段时间内,发送处于空闲中,这样做的目的是为了减少接收端所需的缓存空间。

文献[3]的仿真试验结果证明,采用 PCBR 方法相对 CBR 方法的确减少了终端缓存的需求但是却增加了传送速率的要求。在这种方法中,实际的传送速率要高于平均速率并出现速率脉冲现象,不仅影响网络传输的稳定性,而且会造成终端回放的延时与抖动。

同时,因为是对单个 PCR 进行验证,可能会因为系统时延而造成误差累积,所以无法适应 PCR 非常规变化的情况。另外就是该方法没有很好的结合 RTP 打包的

特点,效率不高。基于以上考虑,本文在文献[4]提出方法的基础上,结合 DVB Over IP 的打包特点,提出了一种改进的传送方法 IPCBR(improved PCR-assist CBR)。

3 本文提出的算法 IPCBR

MPEG2 系统层^[5]规定,PCR 作为最基本的同步信息存在于传输视频流中。解码器可通过 PCR 的到达时间重建系统时钟。

PCR 字段存在于传输视频流的自适应字段中,它的取值记录了 PCR 字段最后一个字节发出时,编码器内 27MHz 系统参考时钟计数器的值。PCR 字段又可分为以下两段:一部分是以 90kHz 时钟为单位、33bits 长度的基值 $V_{\text{PCR_base}}(i)$;另一部分为以 27MHz 时钟为单位、9bits 长度的扩展值 $V_{\text{PCR_ext}}(i)$ 。PCR 值定义如下:

$$V_{\text{PCR}}(i) = V_{\text{PCR_base}}(i) \times 300 + V_{\text{PCR_ext}}(i) \quad (3)$$

码率可用下式求出:

$$R(i) = \frac{((i_1 - i_2) \times f)}{V_{\text{PCR}}(i) - V_{\text{PCR}}(i_1)} \quad (4)$$

其中, i_1 、 i_2 为与相邻的 2 个 PCR 基域最后一个比特对应的字节,其对应的 PCR 值分别为 $V_{\text{PCR}}(i_1)$ 和 $V_{\text{PCR}}(i_2)$ 。 f 是系统时钟频率, f 为 27MHz。

通常 PCR 字段都是用于解码端恢复系统同步时钟,但同样我们也可以利用 PCR 字段提供的时间信息来动态地调整传送速率,进而在有效控制传送速率的同时,减少客户端的缓存需求。本文在此基础上,通过结合 DVB Over IP 的打包特点,提出了一种改进的传送方法 IPCBR(improved PCR-assist CBR),该方法的具体步骤为:

(1) 用如下公式计算每个 TS 包的延时:

$$\Delta t_{\text{TS}} = \frac{V_{\text{PCR}}(i_1) - V_{\text{PCR}}(i_2)}{(P_{\text{Count}}(i_1) - P_{\text{Count}}(i_2)) \times f} \quad (5)$$

其中, $P_{\text{Count}}(i)$ 表示到 i 字节为止的 TS 包的总数。

(2) 记最近一次算出的 TS 包应当延时的估计值为 $\Delta \hat{t}_{\text{TS}}$,通过以下公式可算出当前 TS 包应当延时的估计值:

$$\Delta \hat{t}_{\text{TS}} = \Delta t_{\text{TS}} \times W + \Delta \hat{t}_{\text{TS}} \times (1 - W) \quad (6)$$

这里定义权重 W 为 0.5,即由上次的 TS 包延时估计值和新的 TS 包延时值取平均值作为新的 TS 包应当延时的估计值。这样做的好处是可以平滑传送速率,避免因出现速率脉冲以及误差累积而影响网络传输的稳定性,从而造成终端回放的延时与抖动。

(3) 算出要发送的 RTP 包延时估计值(单位:ms):

$$t_{\text{RTP}} = N_{\text{TS}} \times (\Delta \hat{t}_{\text{TS}} \times 1000000) \quad (7)$$

其中, N_{TS} 是一个 RTP 包包含的 TS 包数,按照 RFC2250 方案建议值应取为 7。

将算出来的这个值与从上次发送包到当前经过的时间(记为 T)进行比较,以决定是立即发送还是延迟再发送。如果 $t_{\text{RTP}} < T$,则说明当前时间落后于应当发送时间,这时应该立即发送。反之,如果检测到 $t_{\text{RTP}} > T$,则说明当前时间早于应当发送时间,此时应延时 $t_{\text{RTP}} - T$ 时间再发送,以便可以减少接收端所需的缓存空间。

4 实验结果和分析

为了评价本文提出的 IPCBR 算法的性能,本文在 Internet TV 业务关键设备 DVB-IP 网关^[6]中的业务板上,基于 Wind River 的实时操作系统 VxWorks,通过分别用 CBR 算法,PCBR 算法和本文提出的 IPCBR 算法对 MPEG-2TS 流进行了 DVB Over IP 传输实验,并对结果进行比较,结果证明,本文方法与 CBR 方式相比,由于降低了客户端对终端缓存的需求,同时与 PCBR 方式相比,还较好地利用了带宽,从而大大降低了传送速率。

实验中采用预先录制的 CCTV2(VBR)和 CCTV4(VBR)标清的数字电视节目作为数据源,具体参数如表 1 所示。

表 1 实验数据源格式

Tab.1 Experiment data format

参数	CCTV2	CCTV4
文件格式(type)	MPEG2(TS)	MPEG2(TS)
级别(Profile level)	Main: Main	Main: Main
帧率(fps)	29.97	29.97
平均比特率(bps)	6 118 695	6 118 695

4.1 开始延时时间比较

定义从开始传送到开始播放之间的时间为开始延时时间,以秒(s)为单位。分别采用 CBR、PCBR 和本文提出的 IPCBR 算法进行传输,得到平均开始延时时间值如表 2 所示。

表 2 采用不同方法进行传输的延时比较

Tab.2 Duration of different transfer methods

算法	CCTV2	CCTV4
CBR	4.3	4.5
PCBR	2.3	2.4
IPCBR	2.5	2.5

由表 2 可见,PCBR 算法和本文提出的 IPCBR 算法相对于 CBR 算法,因为减少了对缓存的需求,所以相应地减少了开始的等待时间。

4.2 码率稳定性比较

采用 PCBR 方法虽可以有效减小缓存需求和开始延时时间,但常常由于在码率调整过程中出现速率脉冲现象,而影响网络传输的稳定性,从而造成终端回放的延时与抖动。而本文提出的 IPCBR 算法则由于引入了平滑机制,从而大大增强了码率的稳定性,即减少了传送过程中的抖动。图 2 是分别采用本文提出的 IPCBR 算法和 PCBR 算法对 CCTV4 文件进行传输,并在接收端根据收到的实际码率变化情况进行稳定性分析。图 2 为分别用 IPCBR 算法和 PCBR 算法进行传输,接收端码率(bps)变化的比较。

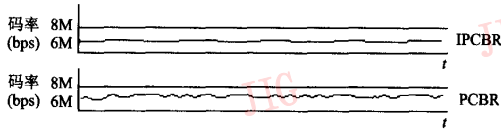


图 2 接收端码率变化比较

Fig. 2 Comparison of rate change on receiver end

由实验结果可知,由于本文提出的 IPCBR 算法相对于 PCBR 算法,在借助 PCR 调整码率的同时,还能通过平滑码率的策略使输出具有更加稳定的码率,不仅减少了传送过程中的抖动,保证了数据的平稳传送,而且其码率稳定性更加接近 CBR 算法。

4.3 带宽利用率和丢包率的比较

CBR 算法是把固定带宽分配给每一个输入码流。而当输入码流的比特率比所分配给的带宽宽时,就会产生帧延时或数据包的丢失;相反,当输入码流的比特率比带宽窄时,则一些虚设数据包将加进输出码流,以维持分配所得到的 CBR 带宽,由此可见,要使使用的实际有效带宽小于所分配到的带宽。PCBR 算法由于有较大的码率抖动,其所要求传输带宽必然比 CBR 算法的要大,从而也降低了带宽利用率。而本文提出的 IPCBR 算法相对于 CBR 算法由于可以根据 PCR 自动调节码率,因此既防止了帧延时或数据包丢失,也防止了因加入虚设数据包而影响带宽利用率。同时,又由于 IPCBR 算法采用了平滑策略,其在码率抖动幅度和程度上都小于 PCBR 算法,因此可降低对带宽的需求。表 3 是对 CBR 算法,PCBR 算法和本文提出的 IPCBR 算法在带宽利用率方面的比较。

表 3 采用不同算法的带宽利用情况和丢包率

Tab.3 Comparison of band use and packet loss

算法	CCTV2. ts			CCTV4. ts		
	最大传输速率 (bps)	平均传输速率 (bps)	丢包率 (%)	最大传输速率 (bps)	平均传输速率 (bps)	丢包率 (%)
CBR(7M)	7 034 173	6 996 154	<0.1	7 047 235	6 999 944	<0.1
CBR(6.5M)	6 557 634	6 514 324	1.3	6 583 524	6 512 344	1.4
PCBR	7 507 125	6 947 456	0.3	7 503 239	7 030 771	0.2
IPCBR	7 145 424	6 713 324	<0.1	7 162 432	6 863 223	<0.1

由表 3 可知,当采用 CBR 算法传输时,只要分配的带宽小于输入码流的比特率时,就很容易发生丢包现象。这也就是为什么实际应用中的 CBR 算法传输都要采用比平均码率高得多的速率进行发送的原因。这无疑大大降低了带宽利用率。而 PCBR 算法要求的带宽又大大高于 CBR 算法,这无疑是对带宽的极大浪费。另外由于 PCBR 算法还有码率脉冲现象,也导致其丢包率比较高,从而无法应用于实际。而本文提出的 IPCBR 算法则在降低带宽需求的同时不仅也保证传输的稳定性,并可减少丢包率。

5 结 论

本文提出了一种称为 IPCBR 方法的适用于 DVB Over IP 的压缩视频流传送方法,通过实验证明,IPCBR 方法与传统的 CBR 方法相比,不仅降低了客户端对终端缓存的需求,同时与 PCBR 方法相比,还较好地利用了带宽,不仅大大降低了传送速率,并且具有更高的稳定性,可见具有较好的应用前景。

参考文献 (References)

- 1 Draft of the DVB/ETSI Ad-Hoc Group. Transport of DVB services over IP-based networks[S]. RFC2250. ref IPI2001 016, 2001-10.
- 2 McManus J M, Ross K W. Video-on-demand over ATM: Constant rate transmission and transport[J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1996, 14(6): 1087 - 1098.
- 3 Karlsson G. Asynchronous transfer of video [J]. IEEE Communications Magazine, 1996, 34(8): 118 - 126.
- 4 Hong Fei, Wu Zhi-mei. Revised PCBR transmission of pre-recorded MPEG-2 transport stream [A]. In: Proceedings of IEEE SOFTCOM 2001[C], Split, Croatia, 2001: 45 - 51.
- 5 ISO/IEC. Coding of moving pictures and associated audio[S]. ISO/IEC 13818-1. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, 94.11.