

基于主动抛弃的 MPEG-2 TS 流速率控制算法

刘 强 李凤亭 薛永林

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘 要 在网络传输能力不足以实时传输 MPEG-2 码流时,接收端的图象恢复质量会因为在网络传送中不可避免的、随机的数据丢失而严重下降. 为了解决这一问题,提出了一种基于主动抛弃的 MPEG-2 TS 流速率控制算法,即在原始码流输送到网络前,根据预测的网络传输阻塞状况,预先主动抛弃部分不太重要的数据,从而使实际输出码率与可用网络带宽匹配,以保护重要数据和改善接收端的图象恢复质量,并提高网络带宽的利用率. 经实验测试证明,此算法简单、实用、有效,且接收端的图象恢复质量比任凭网络随机丢失的情况有明显改善.

关键词 MPEG-2 TS 流 速率控制

中图法分类号: TN911.73 TN915.04 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)03-0297-05

Rate Control of MPEG-2 TS Stream Based on Active Packet Discarding

LIU Qiang, LI Feng-ting, XUE Yong-lin

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Because there may be bit error and packet loss in network transmission, the network between an real-time MPEG-2 encoder and decoder would bring impairment to the bitstream especially when the network is heavily loaded. The video quality would be degraded when the bitstream is corrupt or broken. In this paper, a MPEG-2 TS stream rate control algorithm based on active packet discarding is proposed to resolve this problem. It test the network traffic by monitoring MPEG-2 stream transmission buffer, and discards some not-so-important TS packet of the MPEG-2 bitstream actively according to the test result to reduce bit rate before pouring data into network. When data loss is inevitable, the difference between active discarding and data loss in the network is that we can control which part of data should be lost under active discarding, and we can't know which part of data will be lost if we leave the loss control to network. Experiment results demonstrated that this algorithm is simple, useful and resultful for real-time MPEG-2 TS stream transmission in network. It is adaptive to network traffic, the receiver end video quality is improved obviously, especially when the network is heavily loaded.

Keywords MPEG-2, TS stream, Rate control

0 引 言

实时媒体数据,特别是视频数据的网络传输研究是近年来的热门课题,其典型应用有会议电视、高清晰度电视、VOD、远程教育、远程医疗、分布式游戏等^[1]. 在宽带网络传输中,MPEG-2 是被广泛使用的视频压缩标准,因它使用混合编码,故在视频方面得到了较高的压缩率,但是由于 MPEG-2 使用了预测编码,使得传输中发生数据错误或丢失,因此容易

造成大量后续数据的无效^[2],例如,如果 I 帧数据丢失,其后续的 B 帧和 P 帧都会受到影响,而当 I 帧的头信息发生错误或丢失时,则整个 GOP 都被破坏,这甚至会使解码器无法继续工作. 本文提出了基于主动抛弃的速率控制算法,即在网络传输能力不足以实时传输 MPEG-2 码流时,根据网络带宽的实际情况,主动抛弃部分对图象质量影响小的数据,通过调整发送端码流的发送速率,使之与可用网络带宽匹配,从而使传输过程中发生数据丢失的概率大大降低,以改善接收端的图象质量.

1 MPEG-2 码流结构概述

MPEG-2(ISO/IEC 13818)标准可以生成4~10 Mbps 的高质量码流^[3]. MPEG-2 视频压缩可同时去除或降低视频信号中的空间冗余和时间冗余信息,而且生成的帧可以分为如下 3 种类型:

- (1) I 帧 帧内编码,不依赖于其他帧的内容.
- (2) P 帧 帧间预测编码,依赖于前一个 I 帧或 P 帧的内容.
- (3) B 帧 双向帧间预测编码,依赖于前面和后面的 I/P 帧的内容.

在码流中,I 帧必须每隔一段时间就出现一个,因为后续的 P 帧和 B 帧的解码要用到该帧的信息,而且在收到 I 帧之前,解码是不能开始的.一般来

说,每 0.5s 就会有一个 I 帧.典型的 MPEG-2 帧序列是 I-B-B-P-B-B-P-B-B-P,即一个 I 帧后面跟有 4 个 P 帧和 8 个 B 帧.

MPEG-2 的 ES 流被打包,同时加入时间标记,构成 PES 流.视频和音频 PES 流,再被复接为一个单一的流,以用于存储或传输,该流中包含有使视频和音频同步的语法信息.最后复接成的流有 PS 流和 TS 流两种,其中,PS 流使用长的可变长度的包,而 TS 流使用短的固定长度的包;PS 流主要用于存储,而 TS 流则主要用于传输.本文研究的是 TS 流.

TS 流的固定包长为 188 字节(Bytes),如图 1 所示.这 188Bytes 中,至少有 4Bytes 是头信息,其他字节则包含视频或音频等有效荷载^[4].头信息中有包序号、同步信息、包传输优先级、包标识等.

MPEG-2 TS 包(188Bytes)									单位:Bytes
同步信息	传输错误指示	净荷单元起始指示	传输优先级	包标识 PID	扰码控制	调整段控制	包序号循环计数	调整段数据	PES 数据
8	1	1	1	13	2	2	4		
TS 包头(4Bytes)									净荷

图 1 MPEG-2 TS 包语法结构

2 IP 网络对传输 MPEG-2 码流的影响

MPEG-2 的码流速率一般为 4M~10Mbps,对于目前的 Internet 来说,尚难于满足如此高码率的需求.一般来说,MPEG-2 码流只适于在高速网络或局域网中传输.当网络传输能力不足以进行实时传输或因为网络实际情况发生变化造成可用带宽波动时,则会出现数据丢失^[5].另外,网络传输中发生的错误也会造成数据丢失(被高层抛弃).

大家知道,网络传输中少量不太重要的数据丢失对恢复图象质量所造成的影响可能是很小的,比如图象中的一个宏块解码失败,只造成某一块变成了颜色块;但是如果丢失的数据比较重要,其影响就可能是很大的,比如 picture header 丢失,该帧就完全不能解码.如果一个 I 帧不能解码,那么即便是后续的 P 帧和 B 帧数据都能正确传送到接收端,也不能解码,因为它们的解码需依赖于前一帧的数据^[6].这种数据丢失可能造成的影响有:出现颜色块、黑屏、不正常的运动、长时间的图象暂停、声音畸变、声音中出现咯嗒声、颜色紊乱、视频和音频失去同步(口型对不上)等^[7].

从另一个角度来看,当数据丢失造成图象帧解码失败时,该帧在传输中没有丢失的数据也变成了无用数据,但是它们还是占用了本来就很紧张的网络带宽,这对网络资源来说是浪费.

对于由较少的对位置不敏感的数据丢失所造成的图象解码错误,接收端可以用错误隐藏的办法来改善图象质量^[8],比如可用前一帧同一位置的宏块或同一帧相邻位置的宏块来代替解码失败的宏块,而对于运动矢量的丢失,也可以用周围的运动矢量的平均值来代替,如果整个帧解码失败,还可以用前一帧图象来代替.

如果网络带宽与实时传送 MPEG-2 码流的要求相差过大时,则数据丢失会比较严重.这种情况下,一方面进行错误隐藏的难度会增加,同时错误隐藏对图象质量的改善也会减弱;另一方面敏感数据丢失的可能性也会大大增加,从而造成严重的质量下降.这时有必要在发送端采取措施,即根据实际的可用网络带宽来控制输出码流的速率^[9].

在实时的可变码率编码器中,可以通过改变视频编码中的一些参数,如量化步长、运动补偿门限等来控制输出的码率,还可根据编码器实时监测网络发送情况,或者根据从接收端得到的反馈信息来计算出合

适的参数值,从而达到实时控制码率的目的^[10]。

但是在许多实际应用(如 VOD 等多媒体交互式信息检索业务)中,使用的是已经编码的 MPEG-2 码流,它无法用上述方法来动态地调整其发送速率。这种情况的直接解决办法是在发送端加上一个编码转换器,用它先对码流进行解码,再根据网络实际情况重新编码,以产生所需码率的码流,但是这种方法的运算量太大了,要实时地对 MPEG-2 码流进行解码,编码已经超出了目前最强大的 PC 机的能力,而且由于要解码和重新编码,这种方法会带来不可避免的延时。

本文提出一种比较简单的方法,即在网络带宽不够时,通过在发送端主动抛弃部分 TS 包来降低码率,使其与实际的可用网络带宽进行匹配。这种主动抛弃与网络传输中的数据丢失的根本差别是后者是随机的、无法控制的,而前者则可以控制数据“丢失”的位置。问题在于,不得不丢失数据时,应该抛弃哪些数据?

3 基于主动抛弃的速率控制算法

当不得不丢失数据时,首先应该抛弃那些对图象质量影响最小的数据。大家知道,I 帧数据要比 B 帧数据重要,因为丢失一个 B 帧的数据对它前后的帧都没有影响,而丢失一个 I 帧的数据则会影响它后面所有的 P 帧和 B 帧,所以应首先抛弃 B 帧数据,然后是离 I 帧较远的 P 帧,再次是离 I 帧较近的 P 帧,最后才是 I 帧数据。同时考虑到一个图象帧,如果因为有数据丢失而解码失败,那么该帧其他正确传送的数据也成为无用数据,所以可在选择抛弃一帧的数据时,抛弃该帧的所有 TS 包,这样做可以提高网络带宽的利用率。当然,如果该帧抛弃的数据不在敏感位置,仍然可以发送该帧的其他 TS 包数据,这样在接收端还可以用错误隐藏的手段来对该帧被抛弃的数据进行恢复或替代。

与可变码率编码器类似,抛弃数据的程度可以由网络情况及其他因素决定,如将它们构成一个闭环反馈,以便实时地改变向网络发送的输出码率^[11]。另外,也可在码流输出与网络之间设置一个 FIFO 缓冲区,将码流先输出到该 FIFO,然后由该 FIFO 输出到网络。其中,FIFO 带有一个过滤模块(如图 2 所示)。

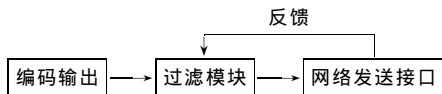


图 2 过滤模块示意图

传输时,过滤模块根据网络情况及其他因素来决定是否把编码输出的 TS 包写入 FIFO,如果不写入,就是抛弃了该 TS 包。这种 FIFO 过滤模块可以利用的参数有码流输出的原始码率、监测到的实际网络发送速率、FIFO 中的数据量等。因为 FIFO 中堆积的数据量的大小能间接地、动态地反映网络发送速率和编码器输出速率的差异,即当网络带宽充裕时,原始码率和网络速率基本上是一致的,此时 FIFO 中的数据量可维持在一个较低的水平;当可用网络带宽减小时,网络速率将小于原始码率,于是 FIFO 中的数据量会随之增加,此时可以通过对 FIFO 中存储的待发数据量设置几个门限值,以用于过滤模块检测 FIFO 中的数据堆积量,根据达到的门限,从低到高分别决定抛弃 B 帧、P 帧以至 I 帧的 TS 包,以使 FIFO 输出的码率与网络速率相匹配。当可用网络带宽逐渐增大以后,FIFO 中的数据量又会逐渐降下来,当 FIFO 中数据堆积量分别降至这些门限以下一定量时,则停止相应帧的包抛弃,使 FIFO 输出的码率逐渐增加,仍然与实际的网络速率匹配。

MPEG-2 TS 包头带有足够的信息,以用来判断该包是视频数据,还是音频数据,如果是视频数据,又可以判断该 TS 包是否是一个图象帧的第 1 个 TS 包;如果是一个图象帧的第 1 个 TS 包,还可以判断该帧的类型,即判断是 I 帧、P 帧,还是 B 帧。这样只要用一个状态变量来记录第 1 个 TS 包的帧类型,就可以判断后续的视频帧的类型。

在极端情况下,即当网络速率与原始码率相差极大时,过滤模块会发现必须要抛弃部分 I 帧(即整个 GOP)才能匹配网络速率。这时对应位置的音频帧也应该被抛弃,否则会造成接收端口型对不上。当然出现这种情况时,图象质量也必然会严重下降。

图 3 是一个简单化了的抛弃算法流程图。

从图 3 可以看到,与使用编码转换器的方法来控制输出到网络的码率相比,本文采用的抛弃算法是非常简单的,它带来的处理延时几乎为 0。

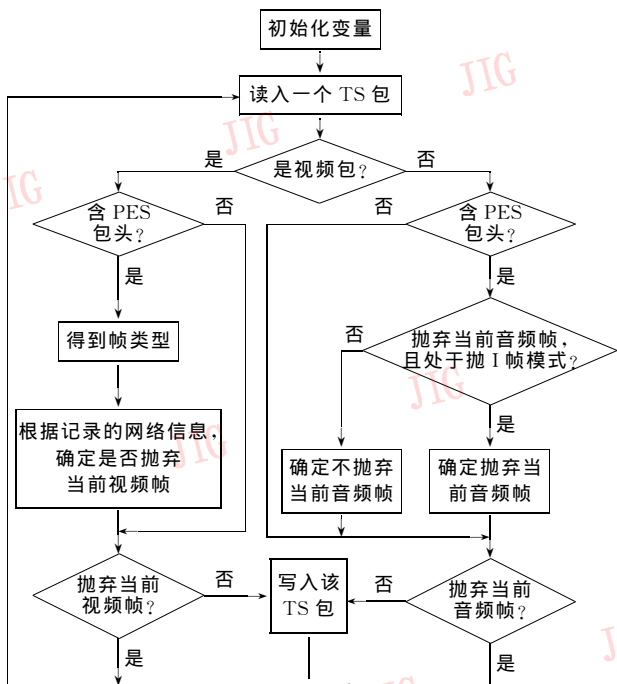


图 3 抛弃算法流程图

4 试验结果

本文对基于主动抛弃的速率控制算法进行了测试. 使用的 MPEG-2 码流为 CBR 的 4M~10Mbps 码流, 帧模式为 I-B-B-P-B-B-P-B-B-P, 表 1 列出了 2 个典型码流的帧属性参数.

以表 1 中的码流 1 为例, 据粗略的估计, 如果抛弃一半的 B 帧, 则实际码率为原始码率的 79%; 若抛弃所有 B 帧, 则实际码率变为原始码率的 58%; 若抛弃后两个 P 帧和所有 B 帧, 则实际码率变为原始码率的 40%; 若抛弃所有非 I 帧, 则实际码率变为原始码率的 21%.

该试验在完全相同的网络工作状态下, 当设置编码器实时输出码率大于或等于估算出的网络传输带宽时, 观察在使用和不使用本文提出的主动抛弃算法, 其接收端解码恢复的视频图象质量. 由试验结果可以看到, 该算法明显有效.

表 1 典型码流的帧属性统计信息

	时间(s)	GOP 数	I 帧		P 帧		B 帧	
			平均 TS 包数	总 TS 包数	平均 TS 包数	总 TS 包数	平均 TS 包数	总 TS 包数
码流 1	30	46	371	17 073	129	29 592	73	33 740
码流 2	63	109	411	44 906	127	69 254	70	76 401

因为很难控制网络, 以使可用带宽成为试验需要的值, 所以本文另外采用软件模拟的办法进行了相对定量的比较. 这里, 需要说明的是, 该方法只有相对的和比较上的意义, 并不具有真正定量上的意义. 本文把由编码器按照规定的码率编出来的 TS 码流文件, 分别利用本文提出的抛弃算法和用按一定的概率随机抛弃的办法来抛弃 TS 包, 首先得到码率相同, 但等效码率降低了的两个新的 TS 码流文件; 然后用同一个播放器播放这两个 TS 码流文件, 观察其播放效果. 本文以码率降低的百分比来反映网络速率和原始码率的差. 这个百分比也就是丢包的目标概率. 由于考虑到网络出现阻塞是随机的和突发的, 而网络自然丢包主要是由此产生的发送端缓冲器溢出所造成, 因而对网络丢包的模拟是选择一个具有该目标概率 $1/n$ 概率的随机事件的发生来作为触发, 即每触发一次, 丢 n 个包. 实际情况是, n 可能远大于 1, 但本文的实验中仅选了 1 (大于 1 的情况将更糟). 对本文所提丢包 (主动抛弃) 算法的模拟是采用同样的触发机制, 只是对触发的响应应该遵循该算法, 并且要以达到目标码率为依据. 本文

分别做了降低码率 1%、5% 和 20% 的试验. 使用的解码器有, 基于 Microsoft 的 Direct Media 的软件解码器和基于 IBM 的 MPEG-2 解码芯片的硬件解码器. 试验结果如下:

当网络速率为原始码率的 99% 时, 若图象不用抛弃算法进行传送, 则开始有较长时间的颜色块, 且图象跳动; 而用抛弃算法进行传送, 则基本没有影响.

当网络速率为原始码率的 95% 时, 若图象不用抛弃算法进行传送, 则开始出现大面积的颜色块, 甚至出现黑屏、死锁; 而用抛弃算法进行传送的图象, 只是出现跳动, 但无严重的质量下降.

当网络速率变为原始码率的 80% 以下时, 图象用抛弃算法进行传送, 仍然可以播放, 只是有较大的跳动, 而不用抛弃算法进行传送, 则已经不能正常播放这种很差的码流.

试验结果表明, 在网络传输能力不足时, 使用基于主动抛弃的速率控制算法, 能使接收端的图象质量得到较大的改善.

5 结 论

目前,MPEG-2 是被广泛使用的高质量视频压缩标准,但在网络传输应用中,数据丢失会对接收端的图象质量产生影响.虽然可以用错误隐藏的方法来减小数据丢失对图象质量的影响,但当网络传送能力与 MPEG-2 码流速率相差较大时,大量的数据丢失仍然会造成图象质量的严重下降,因为网络中的数据丢失是随机的,它可能发生在 I 帧数据,也可能发生在帧的画片头(picture header)等敏感位置.本文提出的基于主动抛弃的 MPEG-2 TS 流速率控制算法可以在数据发送到网络之前,控制数据的丢失位置,使输出速率与网络可用带宽匹配,以保护较重要的数据.试验结果表明,该算法在网络带宽不足时,可以改善实时传输 MPEG-2 码流的接收图象质量.与编码转换方法相比,本文算法运算量少,处理延时非常小.该算法的原理也可以在其他图象传输应用中使用.

参 考 文 献

- 1 Leonardo Chiariglione. MPEG and multimedia communications [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology, 1997,7(1):5~18.
- 2 Reha M. Civanlar, Glenn L. Cash. A practical system for MPEG-2-based video-on-demand over ATM packet networks and the WWW[J]. Signal Processing: Image Communication, 1996,8(3):221~227.
- 3 ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11. Generic coding of moving pictures and associate audio information[S]. Part 1: System, Part 2: Video, Part 3: Audio, CD 13818, May 1995.
- 4 Profumo A, Venieris I S. Comparative analysis of MPEG and ATM multiplexing functions for multimedia interactive services [J]. Computer Communications, 1997,20(2):106~114.
- 5 Robert Swann, Nick Kingsbury. Bandwidth efficient transmission of MPEG-II video over noisy mobile links [J]. Signal Processing: Image Communication, 1998, 12 (2): 105~115.

- 6 Inwhee Joe. Packet loss and jitter control for real-time MPEG video communications [J]. Computer Communications, 1996, 19(11):901~914.
- 7 Gringeri S, Khasnabish Bh, Lewis A *et al.* Transmission of MPEG-2 video streams over ATM[J]. IEEE Multimedia, 1998, 5(1):58~71.
- 8 Wang Yao, Zhu Qin-fan. Error control and concealment for video communication: A Review[J]. Proceedings of The IEEE, 1998,86(5):974~997.
- 9 Sun Yeali S, Tsou Fu-ming, Chen Meng Chang. A buffer occupancy-based adaptive flow control and recovery scheme for real-time stored MPEG video transport over internet[J]. IEICE Transactions on Communications, 1998, E81-B (11): 1974~1987.
- 10 Lakshman T V, Antonio Ortega, Amy R Reibman. VBR Video: Tradeoffs and potentials[J]. Proceedings of The IEEE, 1998, 86(5):952~973.
- 11 Naobumi Kanemaki, Fumio Kishimo, Katsutoshi Manabe. A multi-media teleconference terminal controlling quantity of flow in packet transmission [J]. Proceedings of SPIE on Visual Communications and Processing IV, 1989,1199:259~266.

刘 强 1974 年生,1996 年获北京大学电子学系学士学位,1999 年获清华大学电子工程系信息与信号处理专业硕士学位.主要研究方向为图象处理、多媒体通信及计算机网络.

李凤亭 1946 年生,清华大学电子工程系图象图形研究所副教授,1970 年毕业于该系并留校从事通信及图象系统研究工作.现重点从事视频编码、信号处理及网络多媒体通信技术与系统方面的研究工作.

薛永林 1965 年生,现为清华大学电子工程系图象图形研究所讲师.1989 年获清华大学电子工程系工学学士学位,1992 年于中科院空间中心获硕士学位.目前研究方向为图象/视频信号压缩、数字电视.