

传输流不等差错保护的研究

张一周军

(上海交通大学图像通信与信息处理研究所, 上海 200240)

(上海交通大学上海市数字媒体处理与传输重点实验室, 上海 200240)

摘要 就 DVB over IP 的网络电视传输, 提出了一种针对传输流的不等差错保护算法, 还提出了一种新的视频质量评估标准——预期受损条块数和基于该评估标准的一种数据交织策略, 实验结果表明, 该算法有效地提高了视频传输的可靠性, 减少了网络丢包对视频质量的影响。

关键词 不等差错保护 传输流 数据交织 网络电视 打包基本流 节目服务信息

中图分类号: TP393 TN911.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)10-1778-04

An Unequal Error Protection Method for Transport Stream

ZHANG Yi, ZHOU Jun

(Institute of Image Communication & Information Processing, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)
(Shanghai Key Laboratory of Digital Media Processing and Transmissions, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

Abstract In this paper a new unequal error protection method for IPTV transport stream is introduced. We also proposed a new evaluation standard (ENCS), and based on ENCS, a new interlacing strategy. It efficiently improved the transportation reliability over packet-loss network, and reduced the impact from packet loss on video quality.

Keywords unequal error protection (UEP), transport stream (TS), data interlace, IPTV, PES, PSI

1 引言

Internet 上的流媒体服务已经被广泛地使用, 近几年还出现了诸如网络电视 (internet protocol television, IPTV) 之类的新型网络直播与点播服务。但是由于 Internet 是一种“尽力而为”的传输网络, 网络状态会发生实时变化^[1], 包括端到端的可用带宽, 网络的丢包率等等, 它们对实时视频业务的 QoS (quality of service) 会产生重大的影响, 所以为提高 Internet 上视频业务的 QoS, 视频业务必须有较强的适应网络状态变化的能力。

网络丢包是影响视频业务 QoS 的重要因素之一。常用的丢包恢复方法包括数据重传和前向纠错 (FEC)^[1]。前者所造成的延时通常都较大, 所以相比之下 FEC 更适用于实时视频业务的丢包恢复。对于基于 DVB over IP 技术的网络电视业务, 其主要还是通过传输流 (TS) 进行传输^[2], 本文针对 TS 流

的特点, 就 TS 流在 IP 网络传输过程中的丢包问题, 提出了一种不等差错保护方法, 有效的提高视频传输的可靠性。

2 视频编码和不等差错保护

目前主流的压缩编码算法, 包括 MPEG-2/4、H. 263/4 等都是利用运动补偿和变换编码进行压缩的, 这种编码算法使各帧之间有很强的相关性, 从而产生了它们之间重要性的差别, 比如 I 帧比 P 帧重要, P 帧比 B 帧重要等。

不等差错保护 (UEP) 简单来说, 就是给码流中相对重要的数据更多的冗余度。在编码速率相同的情况下, 相对于等差错保护, 码流中重要的部分得到了更多的保护, 因而能够在恶劣的网络环境中提高视频传输的鲁棒性^[1]。

对于 TS 流, 由于其封装负载的重要性差别, 因此每个 TS 包也会有着不同的重要性, 比如一个包含

收稿日期: 2007-07-05; 改回日期: 2007-07-18

第一作者简介: 张一 (1982 -), 女。现为上海交通大学通信与信息系统专业硕士研究生。主要研究方向为网络流媒体、信道编码。
E-mail: zhang_yi@sjtu.edu.cn

打包基本流(PES)头的 TS 包要比一个普通视频负载包显得更为重要,在这种情况下,就有可能对 TS 流进行不等差错保护。

在评估标准上,目前普遍采用的是峰值信噪比(PSNR),虽然它能较好地评估视频质量,但是由于包含了复杂的参数估计过程,并且需要在确定保护策略的过程中反复解码,所以不适合实时业务。文献[3]中,用 ELEP(expected length of error propagation)作为性能评估标准,避免了 PSNR 的弊端。ELEP 是以受损帧数来评价视频质量的高低,受损帧数越少,视频质量越高,且 1 帧中只要丢失一个数据包,就认为该帧受到了损坏。事实上,在 MPEG-2 中,条块才是最小的同步单元,各个条块可以独立的解码,在这种情况下,一个条块的丢失和所有条块的丢失,给用户的视觉体验是有很大区别的,但这种区别并没有体现在 ELEP 的计算中,也使得对各个数据块重要性的衡量变得不精准。所以本文在 ELEP 的基础上,以预期受损条块数(expected number of corrupted slices, ENCS)作为评价视频质量的指标,取得了良好的性能。

不等差错保护虽然是网络流媒体传输常用的技术,但是目前却很少有针对 IPTV 传输流的不等差错保护技术,而且现有的 UEP 算法应用在 IPTV 传输流上也无法达到满意的效果,本文的主要贡献就在于将 UEP 应用到 IPTV 传输流上,并取得良好的实验效果。

3 系统设计方案

3.1 TS 流的结构特点和网络丢包影响

3.1.1 TS 流的结构特点

TS 流是一种面向传输的流格式,固定包长为 188B,底层可以封装多种格式的压缩数据,上层有其特定的语法结构,是一种适合有错环境的传输格式^[3]。TS 流的打包过程一般分为两步,首先将压缩后的视频数据打成 PES 包,然后再将 PES 打包成固定大小的 TS 包,最后加上一些节目服务信息(PSI),就成为通常见到的 TS 流。

3.1.2 网络丢包的影响

在视频传输过程中,丢包可能发生在任何位置,不同位置的丢包,对视频质量也会产生不同的影响。以 MPEG TS 为例,在视频传输过程中,对可能的丢包位置及其影响做一个归纳:

(1) PES 头的丢失

使整个 PES 无法解码,即损坏该 PES 中所有的条块;

(2) 图像头的丢失

使整个帧无法解码,同时在该帧是参考帧的情况下,还会产生误码扩散,影响到以他为参考的其他帧;

(3) 条块头的丢失

使该条块遭到损坏,但由于条块是 MPEG-2 编码标准中最小的同步单元,所以不会造成空间上的误码扩散,但参考帧内条块的损坏会在时间上产生误码扩散;

(4) 视频负载的丢失

这只会影响到所在条块的解码,同时也可能产生误码扩散。

3.2 系统结构

在网络传输的过程中,考虑到附加的协议头产生的传输效率问题,按 RFC2250 规范通常将 7 个 TS 包组成一个传输包(pack)进行传输,所以网络中的丢包单元也是以 pack 来计算的。

对于 MPEG TS 流而言,图像组(GOP)是独立的视频解码单元,所以 UEP 算法所要达到的目标是提高整个 GOP 的传输性能。算法的主要过程是:首先通过传输包打包器将各个视频流中各个 TS 包组织成 packs,然后通过包块组织器将一定数量的 pack 组成包块(block of packs, BOP),并确定每个 BOP 的重要性,最后通过 FEC 分配算法,为每个 BOP 分配一定数量的冗余包。

整个系统的框图如图 1 所示。

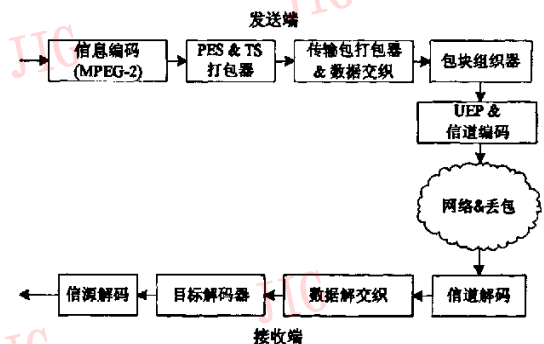


图 1 系统框图

Fig. 1 Block diagram of proposed system

3.2.1 传输包打包器

在传输包打包器中,首先将各个 TS 包组成 packs,并确定每个 pack 的重要性,这里重要性的定义为:一个 GOP 中,在所有其他数据包都正确接收的情况下,丢失这个数据包所造成的预期受损条块数 ENCS。

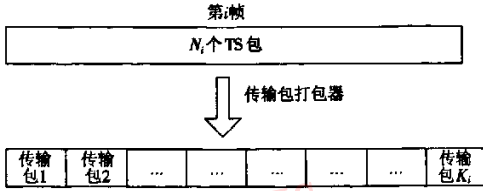


图 2 传输包打包器的打包过程

Fig. 2 Pack assembler process

具体打包方式和 ENCS 的计算过程如图 2 所示,在打包过程中,每个帧均被打包成一定数量 pack,最后一个 pack 若数据不足,以空包进行填充,则一个 GOP 总的 pack 数为

$$M = \sum_{i=0}^G K_i = \sum_{i=0}^G \lceil N_i/7 \rceil \quad (1)$$

G 为 GOP 的大小, M 为整个 GOP 的 pack 数, M_i 为每个帧的 pack 数, N_i 为每个帧的 TS 包数。

各个 pack 所代表的 ENCS 为

$$ENCS_j = ENCS(j) \times \alpha, 1 \leq j \leq M \quad (2)$$

$ENCS(j)$ 为不考虑误码扩散影响时,各个 pack 的 ENCS, α 为误码扩散影响因子,两者可以分别通过式(3)、式(4)计算:

$$ENCS(j) = \begin{cases} slice(pes), & \text{if } pes \text{ header in pack} \\ slice(frame), & \text{if } frame \text{ header in pack} \\ slice(pack), & \text{if } slice \text{ header in pack} \\ 1, & \text{if only payload} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \alpha_{i_frame} = G \\ \alpha_{p_frame} = G - index(P_frame) + N_{BP} \\ \alpha_{B_frame} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中, $slice(data)$ 表示 $data$ 中包含的条块数, $index(frame)$ 表示该帧在 GOP 中的帧序号, N_{BP} 为相邻两个 P 帧之间的 B 帧数目,如 $IBBP$ 的 N_{BP} 就为 2。

3.2.2 带交织的包块组织器^[4]

跨包的 RS 编码被广泛的应用于丢包网络,对于 (N, K) 编码方式,由 K 个数据包通过 RS 编码产生 $N-K$ 个冗余包,最终 N 个数据包组成一个 BOP,在网络传输过程中,在 N 个包中只要任意接收到 K 个包就可以完全恢复出原始数据。

包块组织器主要完成将各个 pack 以某种交织方式组织成多个 BOP,并确定各个 BOP 的 ENCS。

BOP 的格式如图 3 所示。

每个 BOP 的 ENCS 为该 BOP 中所有 pack ENCS 的总合。

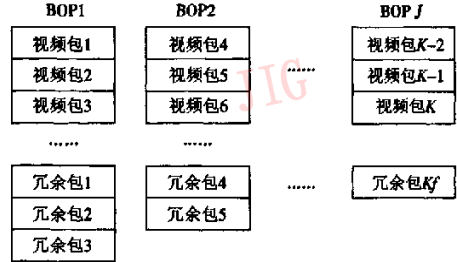


图 3 BOP 的结构

Fig. 3 BOP structure

$$ENCS_i^{BOP} = \sum_{i=0}^k ENCS_i \quad (5)$$

$ENCS_i$ 为该 BOP 中第 i 个 pack 的 ENCS, k 为该 BOP 中视频包的数量,以 pack 计。

3.2.3 FEC 分配算法

假设发送速率为 R_s (bps),信源码率为 R_c (bps),且 $R_s > R_c$,信道码率 R_e 为两者的差值。为方便起见,将 bps 转化为 packs/s,在得到信道码率 R_e (packs/s) 后, FEC 分配算法在给定网络状态的情况下,给每个 BOP 分配一定数量的冗余包,得到一个 FEC 的矢量 $F = (F_1, F_2, \dots, F_n)$,其中 n 代表 BOP 的个数, F_i 代表各个 BOP 冗余包的个数(pack)。

每一个 F 在给定网络状态的情况下都会得到一个对应 ENCS, FEC 分配算法需要找到使 ENCS 达到最小时的 F 。

具体的算法为

$$\min ENCS(F) = \sum_{i=0}^n ENCS_i \times PLR(N_i, K_i) \quad (6)$$

满足:

$$\text{If } ENCS_i^{BOP} > ENCS_j^{BOP}, \text{ then } F_i > F_j$$

$$\sum_{i=0}^n F_i \leq R_e \quad (7)$$

式中, $PLR(N_i, K_i)$ 是每个 BOP 损坏的概率,可以通过下式计算:

$$PLR(N_i, K_i) = \sum_{j=K_i+1}^n p(j, N_i) \quad (8)$$

式中, $p(j, N_i)$ 为 N_i 个数据包中任意丢失 j 个数据包的概率。具体的分配过程采用的是局部搜索算法^[4]。

3.2.4 数据交织

算法中数据交织的目的是使各个 BOP 的重要性相对分散,尽量充分利用优先级高的 BOP 的冗余数据包。比如,所有 BOP 中优先级最高的是包含 I 帧头及其对应 PES 头的 BOP,所以该 BOP 的冗余度

也是最高的,容易理解,在该 BOP 中尽量存放重要的视频信息要比存放次要的信息对接收端重建视频更有帮助,因为前者在恢复 I 帧头的同时也恢复了其他相对重要的视频信息。

具体的交织策略为:在传输包打包器中,根据每个 pack 的 ENCS 进行由高到低的排序,然后从头至尾将每个 pack 对应到各个 BOP 中,这种交织方式可以将重要性接近的 pack 组织到一个 BOP 中,使各个 BOP 的重要性相对分散,在进行码率重分配的时候,可以给重要性高的 BOP 以更多的码率,并可以更充分地利用重要性高的 BOP 的冗余度。

4 仿真结果及分析

本实验采用网络仿真工具 GTNets,测试序列为一个 IPTV 节目流,格式为 MPEG-2 TS 流,帧率为 25 帧/s,信源码率 R_1 为 5Mbps,信道编码后的总码率 R_2 为 6.5Mbps,GOP 大小为 12 帧,GOP 结构为 IBBPBBPBBPBI,仿真拓扑结构如下:

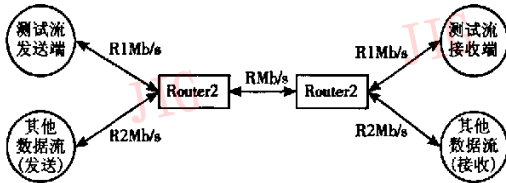


图 4 仿真拓扑结构

Fig. 4 Simulation topology

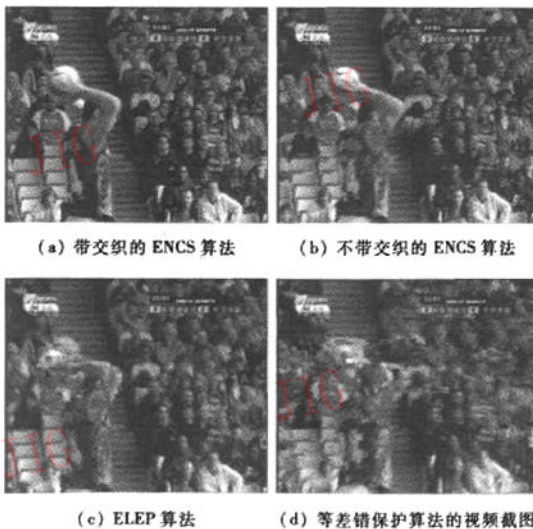


图 5 20% 丢包率下使用

Fig. 5 Snapshot of the video sequence at loss rate 20% using

实验过程中,采用了文献[5]中的信道状态估计方法,进行信道状态的预测,实现了动态的不等差错保护。

在高丢包率的情况下,本算法把不等差错保护同时应用到了帧层面和帧内具有不同重要性的各个 pack 上,主要体现为重点保护了各种头信息,使各个头信息被正确接收的概率变大了,从而提高了视频的质量;而 ELEP 只是根据各帧在 GOP 中的位置,在帧层面上进行了不等差错保护,并不考虑帧内头信息与其他视频负载的区别;等差错保护 (EEP) 则连各帧之间的区别都不加以考虑,对各帧进行同等力度的保护。

实验比较了带交织的 ENCS 算法、不带交织的 ENCS 算法、ELEP 算法和 EEP 的性能,在高丢包率的情况下,本算法明显提高了视频传输的质量。

5 结论

本文针对 TS 流的特点,提出了一种自适应的不等差错保护算法,算法中涉及到一种新的视频质量评估标准 ENCS 和基于该标准的数据交织策略,实验结果表明,本文算法可以在高丢包率的情况下有效地提高视频传输的可靠性。

参考文献 (References)

- 1 Cheng Lian-Ji. On image transmission based on joint source-channel coding [D]. Shanghai: Institute of Image Communication & Information Processing, Shanghai Jiaotong University, 2003. [程连冀. 分级编码视频网络传输及数字电视多节目复用技术研究 [D]. 上海:上海交通大学图像通信与信息处理研究所,2003.]
- 2 Hoffman D, Fernando G, Goyal V. RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video[S]. RFC 2250, January, 1998.
- 3 ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11. Generic coding of moving pictures and associated: system[S]. ISO/IEC 13818-1, ISO/IEC, 1994.
- 4 Yang X K, Zhu Ce, Li Z G, et al. Unequal loss protection for robust transmission of motion compensated video over the internet[J]. Image Communication, 2003, 18(3): 157 ~ 167.
- 5 Ma Zhong-hua. Study on error robustness of low bit rate video stream [D]. Shanghai: Institute of Image Communication & Information Processing, Shanghai Jiaotong University, 2002. [马仲华. 低码率视频流误码鲁棒性的研究 [D]. 上海:上海交通大学图像通信与信息处理研究所,2002.]