

# 多路视频信号的统计复用

蔡朝晖

门爱东 金子一

(上海电信技术研究所, 上海 200120)

(北京邮电大学多媒体中心, 北京 100876)

**摘要** 结合视频编码标准, 对视频编码器的 Buffer 控制及多路视频信号的统计复用进行了分析, 建立了一个控制模型。

**关键词** MPEG 统计复用 码率控制 复接

## 1 Buffer 控制策略

实际应用中, 通常在视频编码器和信道之间要放置一个缓冲器(Buffer)以平滑编码器产生的数据流, 为了保证 Buffer 不溢出, 必须把 Buffer 的状态反馈回编码控制器, 使码率控制单元能够控制编码的信息量。如图1所示。 $\Delta$  为从编码器输出至解码器输入端的系统延时。

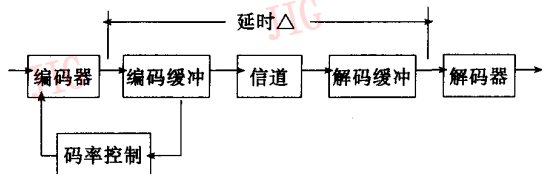


图1 系统模型

### 1.1 单视频编解码器

令  $B^e(t), B^d(t)$  为  $t$  时刻编、解码器 Buffer 的状态(存储的数据量),  $B^e(t)$  可由下式描述:

$$B^e(0) = 0; \quad B^e(t) = \int_0^t [e(s) - x(s)] ds \quad \forall t > 0 \quad (1)$$

式中  $e(t)$  为编码器输出至 Buffer 的速率,  $x(t)$  为信道的读出速率。

解码器的行为稍微复杂一些。解码器在开始解码之前必须先等待一段时间  $\Delta$ , 以使其 Buffer 有一定的数据; 而一旦解码开始, 其读出 Buffer 的速率便

与该数据写入编码器 Buffer 的速率一致。 $\Delta$  的值可在系统设计时确定。解码器 Buffer 状态  $B^d(t)$  的数学描述如下:

$$B^d(0) = 0; \quad B^d(t) = \int_0^t x(s) ds \quad t < \Delta$$

$$B^d(t) = \int_0^t x(s) ds - \int_0^{t-\Delta} e(s) ds \quad \forall t \geq \Delta \quad (2)$$

$$\text{由式(1), (2)可得: } B^e(t) + B^d(t + \Delta) = \int_t^{t+\Delta} x(s) ds$$

为保证2个 Buffer 不溢出, 必须满足条件:

$$0 < B^e(t) < B_{max}^e; \quad 0 < B^d(t) < B_{max}^d \quad (3)$$

式中  $B_{max}^e, B_{max}^d$  分别为编解码器的 Buffer 容量。

为便于分析, 需将上述各式离散化。离散化以未编码的一帧(Access Unit)周期为单元, 这样能有效地表示 Buffer 的状态。因为解码器的上溢出一般较容易控制, 而其下溢出则一般应同时有3种情况发生: 缓冲区空, 下一帧的帧存未满, 而且已经到了显示下一帧的时候。令  $E_i$  为视频信号的一个访问单元(一帧)所经历的时间  $T$  内编码器产生的信息量,  $X_i$  为该时间内信道读取的信息量:

$$E_i = \int_{(i-1)T}^{iT} e(t) dt, \quad X_i = \int_{(i-1)T}^{iT} x(t) dt$$

式(1)可写为

$$B_i^e = \sum_1^i E_j - \sum_1^i X_j \quad \text{即 } B_i^e = B_{i-1}^e + E_i - X_i$$

令  $\Delta = L \times T$ , 式(2)成为  $B_i^d = B_{i-1}^d + X_{L+i} - E_i$

$$\text{即 } B_i^d = B_0^d + \sum_{j=1}^i X_{L+j} - \sum_{j=1}^i E_j$$

由上两式即有

$$B_i^d = \sum_{j=i+1}^{i+L} E_j - (\sum_{j=1}^{i+L} E_j - \sum_{j=1}^{i+L} X_j) = \sum_{j=i+1}^{i+L} E_j - B_{i+L}^e \tag{4}$$

该式说明解码器的 Buffer 状态是过去 L 帧编码的数据量之和与编码器 Buffer 现在的状态之差。

对于 CBR 编码模式, 信道速率及编解码时延为定值。这时有

$$B_i^d = B_0^d + \sum_{j=1}^i X_{L+j} - \sum_{j=1}^i E_j = B_0^d + \sum_{j=1}^i X_j - \sum_{j=1}^i E_j = B_0^d - B_i^e \tag{5}$$

由于正常工作时  $B_i^e$  一直为正, 式(5)表明解码器的 Buffer 状态不会超出开始解码时的状态, 即解码器 Buffer 的容量可由系统所需的初始 Buffer 状态决定。由上式还能得出结论: 要使收端 Buffer 不下溢

出, 即  $B_i^d > 0$  则必须使  $B_i^e < B_0^d$ , 因此如果取  $B_{\max}^e = LRT$ , 并控制编码器使其不上溢出, 便能保证解码器的 buffer 不溢出。也就是说, 只要控制编码器的 Buffer 使其正常工作, 便能保证解码器的 Buffer 不溢出<sup>[1]</sup>。在我们设计的编码模型中<sup>[2]</sup>, 取  $B_{\max}^e = 768K$  字节, 即有  $L = B_{\max}^e / RT \approx 2$  帧。

### 1.2 统计复用

多路视频信号复接后在一个信道上传输时, 如果简单地采用恒定比特流复接, 会造成资源的浪费, 因为这样没有考虑各个独立视频信源的统计特性, 使得复杂节目可能一直以较低的质量传送, 而相对简单的信号则使其输出缓存利用率较低, 有时甚至处于填充(Padding)状态, 这样便使信道资源没有得到合理利用。

我们设计的统计复用模型如图2所示(假定四路视频码流复接至一个恒定速率信道, 图中有两路视频编码器未画出)。

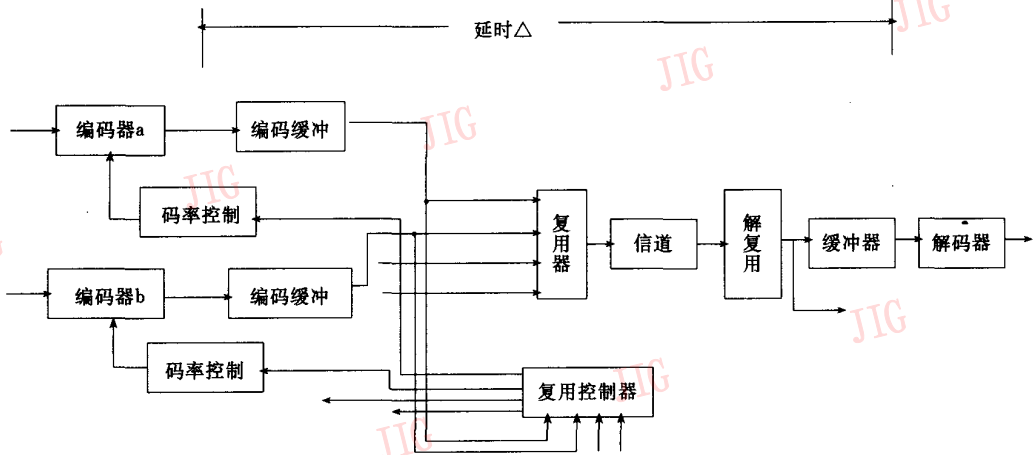


图2 统计复用系统(简图)

统计复用的控制策略一般有两种, 一是在编码过程开始前, 对将要编码的信号进行预测, 并结合各路缓冲器的状态决定每一编码器要输出的码速率, 以使所有经过编码的图象尽量达到一种用户可接受的质量。这种方法能很快地对图象的变化作出反应, 但需要专门的协处理器来进行预测。第2种则相对简单, 由编码器统计各帧编码后的比特数及其质量的好坏(这通常可由平均量化步长反映出来), 并把该信息送给复用控制器, 复用控制器则根据编码器送来的图象特性及各缓冲器的状态负责四路视频缓冲

器的读出控制。这种办法减少了硬件实现的复杂性, 但对图象瞬时变化的敏感程度不如第1种, 它通常要在几帧之后才作出反应。

在这里我们采用第二种策略。复用器在读各路信号的缓冲区以前, 先对这些 Buffer 的状态进行比较, 对其中最满的一路(假设为 a 路)读出, 直到其它一路(假设为 b 路)的 Buffer 比它满, 然后再读出 b 路。即较复杂的信号占用简单信号的带宽; 这种判断在每一次读缓冲区时都进行, 所以这种占用必然随各路信号的变化而变化(这是假定所有缓冲区都没

有溢出的情况)。复用器读缓冲区时是以信道帧为单元,读出速率是单支路速率的4倍。读出的数据帧必须贴上识别标签,即加上支路识别号(地址信息),以便在收端能正确同步。这些支路识别码可插在用户的数据区内传给收端。收端则是发端的逆过程。收端将收到的信号经过信道解码及码速调整后,通过分接器将四个支路的声音、数据和图象信息分离出来,然后根据分离的图象信息包头所携带的地址标识识别出该信息为哪一路图象信息,经过串并变换后写入该支路的缓冲区内。

此时各编码器 Buffer 的状态可描述为

$$B_i^j = B_{i-1}^j + E_i - X_i^j \quad j=0,1,2,3$$

其中  $X_i^j$  为  $i$  帧内  $j$  路缓冲器读出的数据量,  $j$  为视频信号的支路号。

$$X_i^j = \begin{cases} 0 & B_{i-1}^j \neq \max B_{i-1}^j \\ X & B_{i-1}^j = \max B_{i-1}^j \end{cases} \quad j=0,1,2,3$$

复用控制器必须防止编码器及解码器两端的缓冲器溢出。这可由下面较为简单的方法实现:由于编码器输出至解码器输入的延时是固定值  $\Delta$ ,也就是说,解码器在  $\Delta$  时间间隔内必须得到它所需要的数据流,否则该解码器的缓冲区将下溢出。所以复用控制器应保证编码器在时刻  $t$  编码的数据在  $t+\Delta$  时间之后必须被解码:复用控制器内对竞争失败的各路编码器缓冲区内的数据设有计时器,若某一路的数据在编码之后  $\Delta$  时间内还一直未竞争成功,则中断原来的判决,优先发送该路数据(这通常表示该路视频信号一直较其它的信号简单得多)。

## 2 仿真结果

### 2.1 传统的多路复用器

在传统的时分多路复用器中,每个低速信道固定对应高速复接信道的一个时隙,复接信道速率等于相同的低速信道速率之和加上复接所需的同步开销。每个低速链路占用相同的带宽,采用相同的率控制策略,即在复接器一般不考虑各视频缓冲器的状态,而只按照预先分配好的固定时隙均匀地读取各个缓冲器的数据,各编码器的率控制分别由自己的控制单元独立完成<sup>[3]</sup>。

现在把4路8Mbps的二次群图象信号<sup>[4]</sup>复接到34.368M的三次群信道上传输,分别采用标准测试信号(花园,挂历,电话,足球)作为输入。解码恢复图象的峰值信噪比(PSNR)如图3所示。

由图3的数据可以看出,采用传统的复用器时,由于复用器并不考虑每路信号的缓冲区的状态,这样就使得较简单的信号如电话序列等,有很高的PSNR,而且其输出缓冲器很多时候处于将近下溢出的状态,而对于那些较为复杂的信号,如花园、足球等,效果便不理想,在细节较明显或运动较剧烈时,能看见较明显的块效应和振铃(ringing)现象。这时的效果与单独传输每一路信号时是一致的。因此,这种简单的多路复用器不能有效地利用各路信号之间的差异,在各路信号的缓冲器之间进行一定的时隙平衡。

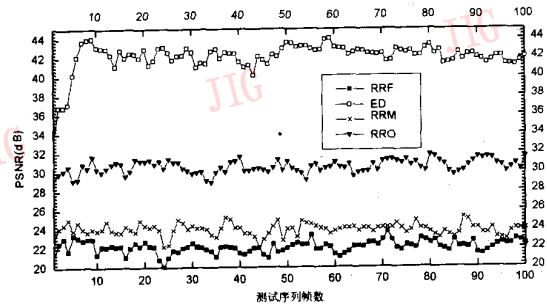


图3 采用传统的复用器时各路信号的 PSNR

### 2.2 动态分配带宽的多路复用器

统计复用器模型建立后,便可利用视频编码器对这个统计多路复用器模型对4路标准测试信号进行仿真。仍假定把同样的4路图象序列复用到34.368Mbps的3次群信道上传输,各路信号的输出缓冲区的大小仍然设为768K位,各支路信号的瞬时PSNR见图4。

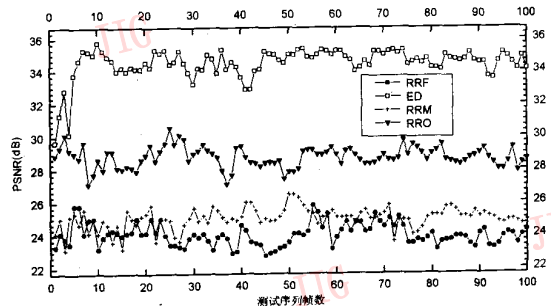


图4 统计复用器时各路信号的 PSNR

由图4可以看出,经过统计复接器的均衡后,各支路信号的 Buffer 状态相差不大,经判决后得出的量化因子也几乎一致,而且 ED 和 RRO 信号的 PSNR 较之原来有所下降(ED 信号的缓冲区没有出现原来的填充现象),但换来了 RRF 和 RRM 信号的 PSNR 值的增加。而且从主观上看,原来有较明显

块效应的序列 RRF 质量有较大的改善;同时原来质量很好的序列 ED 则只有稍微的主观影响(图象边缘偶尔有一些振铃),RRO 的主观评价则没什么变化。

### 3 结论

由上述两种复用器的实验结果可以看出,该统计复用器能给相对复杂的输入信号提供较宽的带宽,以提高恢复信号的信噪比;同时它对简单信号具有抑制作用,限制它的传输频带,使其信噪比恶化。这两方面是互相制约的,因为信道总带宽是固定不变的。但总体上看,信号的主观质量有较大的提高。由于实际信号的随机性,每个支路信号的瞬时复杂性差异很大,因此,这种统计复用器较为实用,特别是在信道资源较紧张的时候,更体现其优越性。较之原来的复用器,需要一些额外的判决逻辑,并需要占用数据区一些额外的比特来传送每路信号的识别信

息,但硬件实现并不十分复杂。

### 参考文献

- 1 Amy R. Reibman. Constraints on Variable Bit - Rate Video for ATM Networks. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 1992, 2: 361~372.
- 2 门爱东. 8M 数字电视帧间 DPCM. 第5届全国青年通信学术会议论文集, 1997, 506~510.
- 3 孙玉. 数字复接技术(修订本). 北京:人民邮电出版社, 1991.
- 4 《8Mbps 广播电视信号在公用网上传输的接入方式和接口参数(草案)》中华人民共和国通信行业标准, eqv ITU-T M. 1340~1995.



**蔡朝晖** 1998年9月毕业于北京邮电大学通信与电子系统专业,获博士学位。现工作于上海电信技术研究所。



**门爱东** 1994年毕业于北京邮电大学通信与电子系统专业,获博士学位。后留校任教,现为电信工程学院副教授。

**全子一** 北京邮电大学教授,博士生导师,主持科研任务多项,研究方向为视频/音频编码及传输。

## Statistical Multiplexing of Multiple Video Programs

Cai Zhaohui

Men Aidong, Quan Ziyi

(Shanghai Telecomm. Institute, Shanghai 200120) (Multimedia Center of BUPT, Beijing 100876)

**Abstract** Digital video has been transmitted using channels that have constant channel rate. Most video compression algorithms use MC and VLC to achieve compression, There always need a output buffer between the video encoder and the channel multiplexer when the encoder operates on the CBR mode. The normal mux. will always waste channel resources when simply combining the input CBR video. Here we give a new mux. module which is based on statistics. It can control the bitrate of every input dynamic.

**Keywords** MPEG, Statistical Mux., Rate control, Multiplexer