

# MPEG-4 视频无线传输的自适应 QoS 控制\*

王兵, 游敏惠

(重庆邮电学院, 重庆 400065)

**摘要:** 自适应 QoS 控制机制由优化模式选择和固定时延的混合自动请求重传组成, 优化模式选择在压缩层提供 QoS 支持, 固定时延的混合自动请求重传在链路层提供 QoS 支持。仿真结果显示给出的自适应 QoS 控制对 MPEG-4 视频在动态的无线信道上传输达到了满意的质量, 并有效地利用了网络资源。

**关键词:** MPEG-4 视频; 无线信道; 优化模式选择; 固定时延混合 ARQ

**中图分类号:** TN919.8      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1004-5694(2003)03-0030-04

## Adaptive QoS Control for MPEG-4 Video Communication over Wireless Channels

WANG Bing, YOU Min-hui

(Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, P. R. China)

**Abstract:** The proposed adaptive QoS control consists of optimal mode selection and delay-constrained hybrid automatic repeat request (ARQ). The optimal mode selection is employed to provide QoS support on the compression layer while delay-constrained hybrid ARQ is used to provide QoS support on the link layer. Simulation results show that the proposed adaptive QoS control achieves satisfactory quality for MPEG-4 video under dynamically changing wireless channel conditions and utilizes network resources efficiently.

**Key words:** MPEG-4 video; wireless channel; optimal mode selection; delay-constrained hybrid ARQ

## 1 无线信道上 MPEG-4 的视频结构

无线信道的噪声、多径和阴影衰减使得误码率很高<sup>[1]</sup>, 误码率对视频质量有破坏性的影响。这样, 无线信道中 MPEG-4 视频的鲁棒性传输是很关键的问题<sup>[2]</sup>。为解决这些问题, 引入了无线信道 MPEG-4 视频通信自适应 QoS 控制。给出的 MPEG-4 视频传输结构包括信源速率自适应、分包、自适应 QoS 控制、交织和调制。在像素级得出失真的量度, 应用反馈机制来处理无线信道时变的特征。延时的时变情况下, 采用限定时延的混合 ARQ 方案能达到很高的流量, 并能得到很好的视觉效果。

图 1 给出无线信道上点到点 MPEG-4 视频通信的结构。在发送端, 原始的视频流采用速率自适应的 MPEG-4 编码器编码; 然后, 对压缩的视频比特流分包, 送入 CRC&RCPC 编码器 (CRC 和 RCPC 用来检测和纠正误码); 接着, 交织使每个数据包的突发误码随机分布, 调制后的数据包才在无线信道上传输。在接收端, 视频序列将进行重构。

接收端有 QoS 监测, 根据到达的数据包推测信道的状态, 如链路层的误码比特, 时延, 压缩层的数据包错误率 (冗余数据包错误率)。使用混合的 ARQ 来判断链路层误码比特和时延, 决定是否发出重传请求。此外, 冗余数据包错误率 (RPER) 应周期地发

\* 收稿日期: 2002-05-08      修回日期: 2002-07-17

作者简介: 王兵 (1974-), 男, 重庆人, 重庆邮电学院硕士研究生, 主要研究方向为移动通信。

给信源;视频编码器根据返回的 RPER 进行最佳模式选择。考虑到无线链路的固定容量,使用速率自适

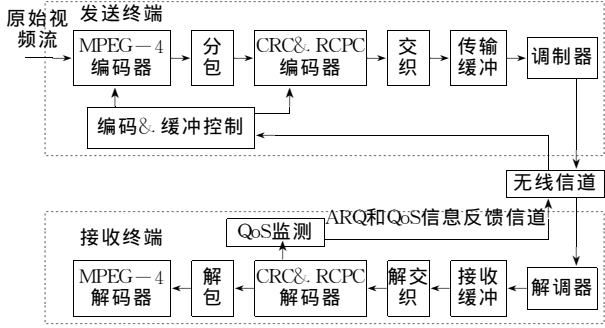


图1 无线信道MPEG-4视频结构

Fig.1 MPEG-4 Video Architecture over Wireless Channel

应MEPG-4 编码器,压缩的MPEG-4 视频速率能匹配无线链路上可获得带宽。可获得的带宽是链路的容量减去FEC 的冗余和重传的开销。

为了达到容错,尽可能把压缩的视频流划分为互相独立的数据包。每个数据包通常应有一个或多个完整的视频信息逻辑实体(如:MB)。这样,一个数据包的误码不会影响其它数据包。每个数据包的大小应在压缩效率和鲁棒性之间达到最好折衷。

分包方案采用了组块(GOB)或片结构。如GOB可行,选择一个完整的GOB为数据包的负荷。如GOB不可行,对于任意形状的视频对象(VO)选择一个完整的片作为数据包的负荷。片是GOB的一部分,两个VO就组成了GOB。经过分包,视频数据包送给链路层(CRC&RCPC 编码)。对每个数据包,CRC&RCPC 编码器用CRC/RCPC 编码产生链路层数据包。

## 2 优化模型选择

### 2.1 全局失真

标准的R-D 优化模式选择的问题是在约束条件下,对一给定的MB找到一模型能最小量化失真 $D_q$ 。标准的R-D 优化模式选择关于量化失真是优化的,那么在无线环境下,数据包由于不可恢复的误码被丢弃,标准的R-D 优化模式选择考虑到 $D_r$ 时不是优化的。 $D_r$  测量信源的MB和接收端重构的MB之间的差别。因为标准的R-D 优化模式选择不考虑信道特征和接收机的性能,这也影响了失真 $D_r$ 。

在无线环境下,失真 $D_r$  是一个随机变量,有2种

可能取值:① 量化失真 $D_q$  加上误码传输造成的失真 $D_{ep}$ ;② 由错误隐藏造成的失真 $D_c$ 。定义全局的失真 $D$ 是随机变量 $D_r$ 的数学期望值。

全局的R-D 优化模型选择的问题是在约束条件 $R_c$ 下,对给定的MB找到模型使全局失真 $D$ 最小化。根据绝对平均差(MAD),对帧 $n$ 位于 $i$ 处的MB, $F_i^n$ ,定义全局失真量度:

$$MAD(F_i^n) = \frac{E\{\sum |f_{ij}^n - \hat{f}_{ij}^n|\}}{256} \quad (1)$$

式(1)中, $f_{ij}^n$ 是在 $F_i^n$ (原始数据)的源值像素 $j$ 的值, $\hat{f}_{ij}^n$ 是接收端 $F_i^n$ 的重构像素值 $j$ 的值。全局失真主要受信源的性能、信道的特征、接收机的性能等3个因素的影响。量化、分包是信源的性能;信道的特征是冗余数据包丢失率 $p_d$ ;接收机的性能取决于错误隐藏方案。在给出的系统中,采用的错误隐藏方案是由运动矢量指定的先前帧的MB替代被破坏的MB。当可行时,被破坏的MB的运动矢量从它邻近的MB(上边或下边)拷贝过来,否则设置为0。

### 2.2 优化模型选择

基于图1给出的结构,可得出全局失真量度,位于帧 $N(N>0)$ 的 $s$ 处的MB的MAD由下式给出。

$$MAD(F_s^N) = \frac{\sum_{j=1}^{256} |f_{sj}^N - E\{\hat{f}_{sj}^N\}|}{256} \quad (2)$$

在MB帧内编码:

$$E\{\hat{f}_{ij}^n\} = (1 - p_d) \cdot \hat{f}_{ij}^n + p_d^3 \cdot E\{\hat{f}_{ij}^{n-1}\} + p_d \cdot (1 - p_d^2) \cdot (E\{\hat{f}_{ml}^{n-1}\}) \quad (3)$$

在MB帧间编码:

$$E\{\hat{f}_{ij}^n\} = (1 - p_d) \cdot \hat{e}_{ij}^n + E\{\hat{f}_{uv}^{n-1}\} + p_d^3 \cdot (E\{\hat{f}_{ij}^{n-1}\} + p_d \cdot (1 - p_d^2) \cdot E\{\hat{f}_{ml}^{n-1}\}) \quad (4)$$

式(3)和式(4)中 $\hat{f}_{ij}^n$ 是在编码端 $F_i^n$ 中像素 $j$ 的重构值; $\hat{e}_{ij}^n$ 是帧间编码 $F_i^n$ 中像素 $j$ 的重构预测误差; $\hat{f}_{uv}^{n-1}$ 是在 $F_u^{n-1}$ 中预测 $f_{ij}^n$ 重构像素 $v$ 的值; $\hat{f}_{ml}^{n-1}$ 是在 $F_m^{n-1}$ 中由于错误隐藏,像素 $l$ 替代 $\hat{f}_{ij}^n$ 重构值。在编码端中, $E\{\hat{f}_{ij}^n\}$ 用 $\hat{f}_{ij}^0$ 初始化。通过反复迭代式(3)和式(4)可得 $E\{\hat{f}_{ij}^n\}$ (对于帧 $n>0$ )。

全局R-D 优化模型选择的问题是在约束条件 $R_c$ 下,找到组合模型,最小化给定GOB或片的失真。这个约束性问题用公式表示为:

$$\min D[F_g^n, M_g^n] \quad \text{约束条件: } R[F_g^n, M_g^n] \leq R_c \quad (5)$$

对于特定组合模式  $M_g^n$  的  $F_g^n$  的 GOB 或片,  $D(F_g^n, M_g^n)$  和  $R(F_g^n, M_g^n)$  分别表示总的失真和比特的预算。

通过拉各朗日乘法把固定的最小化问题(5)式转化为非固定的最小化问题<sup>[3~5]</sup>。

$$\sum_{i=g}^{g+N_G-1} \min_{M_i^n} J(F_i^n, M_i^n) = \sum_{i=g}^{g+N_G-1} \min_{M_i^n} \{D(F_i^n, M_i^n) + \lambda R(F_i^n, M_i^n)\} \quad (6)$$

全局失真  $D(F_i^n, M_i^n)$  能用方程式(2)表示。 $N_G$  是一个 GOB 或片的 MB 的个数。 $g$  是 GOB 或片中第一个 MB 的位置。使用下面的方法得到  $\lambda$ 。在帧  $n$  的结尾, 调整帧  $n+1$  的  $\lambda$  (如  $\lambda_{n+1}$ ) 为:

$$\lambda_{n+1} = \frac{2 \cdot B_n + (\gamma - B_n)}{B_n + 2 \cdot (\gamma - B_n)} \cdot \lambda_n \quad (7)$$

式(7)中  $B_n$  是在帧  $n$  的末端当前缓冲区的利用率;  $\gamma$  是缓冲区大小。 $\lambda_n$  通过当前值  $\lambda_0$  初始化。式(7)的调整使缓冲区的利用率保持恰当的水平, 避免缓冲区溢出或利用不足, 即式(7)达到了客观的速率控制。

### 3 限时延的混合 ARQ

视频通信在链路层的 QoS 支持 FEC 和 ARQ 机制, 尽管 FEC 对视频通信能够达到有界的时延, 但不能提供自适应可变的无线信道; 另一方面, ARQ 提供自适应可变的信道, 但时延没有界。为了克服这些问题, 文献[6]给出结合 FEC 和 ARQ, 而提出简化的类型-II 混合 ARQ。简化的类型-II 混合 ARQ 对数据包的有界时延加了一个有限的最大重传次数。这个方案假设了重传的最大次数  $N_{\max}$  是固定的和预先知道的, 这不能反映出时延的时变特性。如果  $N_{\max}$  设置得太大, 重传的数据包相对于回放可能到达得太迟, 应该被丢弃, 这就浪费了带宽; 如果  $N_{\max}$  设置得太小, 由于不可恢复的误码又会使视频质量降低(这些误码本可通过多次重传纠正)。

给出的限时延的混合 ARQ 能达到有界时延、自适应性和高效性。采用 CRC-16 和 RCPC 作为 FEC 编码, RCPC 提供了可变速率自适应于时变的无线信道<sup>[6]</sup>。混合 ARQ 工作流程是当检测到接收到的链路层数据包有误码时, 接收端决定是否发送重传请求, 如果时延需求不能满足, 请求将不发送; 否则, 将发送重传请求给信源, 接收到重传请求后, 信源仅发送必要的增量冗余比特。

## 4 仿真结果

对图 1 描述结构进行仿真, 评估给出优化模型选择算法和限定时延的混合 ARQ 的性能。在源端, 编码器使用标准的原始视频序列“akiyo”的 QCIF 格式。编码器是采用速率控制, 保持恒定的速率是 64 kbit/s。帧率为 10 帧/s, 编码器使用矩形模型; 帧内的 VOP 更新周期为 50 帧,  $\lambda_0 = 1$ 。考虑 3 个不同的 MPEG-4 视频编码器, 即编码器 A, 标准的 R-D 优化模型选择方法; 编码器 B, 全局的 R-D 优化模型选择, 但没有考虑 RPER 的反馈; 编码器 C, 全局的 R-D 优化模型选择, 考虑 RPER 的反馈。仿真中采用二进制对称信道(BSC)作为无线信道模型, 假设反馈信道没有误码, ARQ 方案使用两组 RCPC 编码。从速率编码, 固定长度, 打孔周期产生这两组 RCPC 编码, 即 A 组的速率是 1, 5/20, 5/18, 5/16, 5/14, 5/12, 5/10, 5/9, 5/8, 5/6, 1/4; B 组的速率是 1, 5/16, 5/10, 1/4。在接收端, 如果误码的链路层数据包直到它的回放时间还不能通过 RCPC 恢复, 链路层数据包和重传的冗余将被丢弃。仿真时间为 100 s。

#### 4.1 优化模型选择的性能

在仿真中, 评估不同优化模型选择方案的性能(编码器 A, B, C)。编码器 B 的优化模型选择设置 RPER = 1%; 往返时间 RTT 设置为 0.01 s。限时延混合 ARQ 对 RCPC 编码使用 A 组的速率。图 2 给

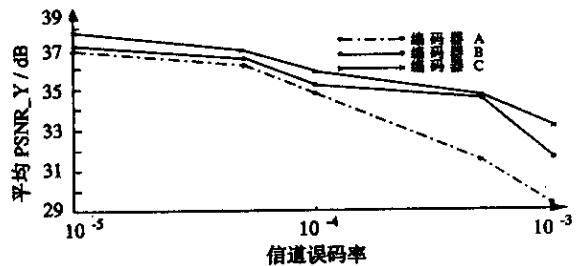


图 2 不同视频编码器的性能  
Fig. 2 Performance of Different Video Encoders

出在 BER 为  $10^{-5}$ ,  $5 \times 10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $5 \times 10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  时的平均 PSNR 的值。编码器 C 达到了最好的性能, 编码器 B 的性能次之, 编码器 A 的性能最差。也就是即使没有采用反馈机制, 给出的方法比标准的方法性能要好。基于反馈的方案(编码器 C)比没有反馈的性能要好(编码器 B), 因为编码器 C 比编码器 B 有更多信道的准确信息。

#### 4.2 混合 ARQ 的性能

为了比较简化的类型-II 混合 ARQ 和给出的限定时延的混合 ARQ,在这两种情形运行仿真程序中仅采用了编码器 C<sup>[6]</sup>。

在第一种情形中设置简化的混合 ARQ 的 RTT 为 0.01 s;最大重传数  $N_m=3$ 。简化的混合 ARQ 使用 RCPC 编码的 B 组的速率,给出的限定时延的混合 ARQ 使用 RCPC 编码的 A 组速率。图 3 给出限定时延的混合 ARQ 比简化的混合 ARQ 达到了更高的 PSNR,这是因为误码的链路层数据包在限定时延的混合 ARQ 下,可以重新传输 10 次而不超过延时界限,而简化的混合 ARQ 仅允许传输 3 次,将导致恢复的概率很低。

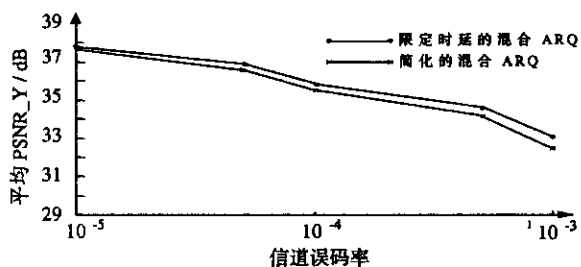


图 3 混合 ARQ 方案的 PSNR  
Fig. 3 PSNR for Hybrid ARQ Schemes

第二种情形中,设置简化的混合 ARQ 的 RTT = 0.03 s,最大重传数  $N_m=10$ 。这些混合的 ARQ 方案使用 RCPC 编码的 A 组的速率。图 4 给出限定时

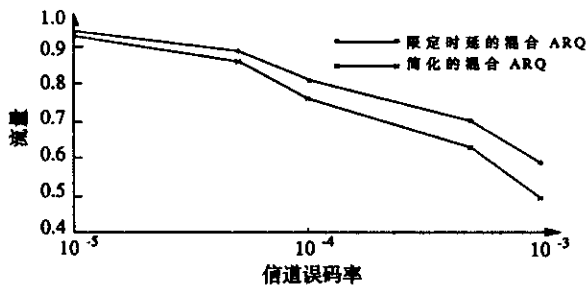


图 4 混合 ARQ 方案的流量  
Fig. 4 Throughput for Hybrid ARQ Schemes

延的混合 ARQ 比简化的混合 ARQ 的流量高些,因误码的链路层数据包在给出的限定时延的混合 ARQ 下重传 3 次,而不会超过延时界限;然而,简化的混合 ARQ 允许重新传输 10 次,错过了回放时间丢弃的数据包导致了带宽的浪费。图 4 的流量定义为压缩层数据包平均传输率比信道速率的比值。

## 5 总 结

对 MPEG-4 视频在无线网络中的鲁棒性传输给出了两种自适应 QoS 控制机制、优化模型选择、限定时延的混合 ARQ。优化模型选择算法提供了压缩效率和容错之间很好的折衷。限定时延的混合 ARQ 能提供压缩层的可靠性,保证限定的时延,达到很高的流量。通过结合信源编码的容错特性,FEC 和限定时延重新传输,给出的自适应 QoS 控制能达到限定时延、高可靠性、高效率,仿真结果表明给出的自适应 QoS 控制性能优于其它方法。

### 参 考 文 献

- [1] SKLAR B. Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems Part I: characterization [J]. IEEE Commun. Mag., 1997, 35:90-100.
- [2] ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11-1998. Information technology coding of audio-visual objects, part 1: systems, part 2: visual, part 3: audio[S].
- [3] LEE J. Rate-distortion optimized frame type selection for MPEG encoding [J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 1997, 7 (3):501-510.
- [4] RAMCHANDRAN K, ORTEGA A. Bit allocation for dependent quantization with applications to multiresolution and MPEG video coders [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1994, 37: 533-545.
- [5] SHOHAM Y, GERSHO A. Efficient bit allocation for an arbitrary set of quantizers [J]. IEEE Trans. on Acoust., Speech and Signal Processing, 1988, 36(9):1445-1453.
- [6] ZHANG Q. Hybrid ARQ with selective combining for fading channels [J]. IEEE J. on Selected Areas in Communications, 1999, 17 (5):867-880.

(编辑:龙能芬)