

视频通信中的选择性重传技术

宋彬, 李子诺, 秦浩

(西安电子科技大学通信工程学院, 710071, 西安)

摘要: 针对视频通信中差错控制方法的研究热点——选择性重传技术, 着重在重传决策的位置、重传数据内容的划分、网络状态对重传的影响以及支持选择重传的传输协议等 4 个方面进行讨论, 给出了 3 个使用选择性重传的视频抗误码系统. 在混合自动重传技术的研究基础上, 提出了用于视频传输的混合自动选择重传方案. 该方案可以灵活调整校验数据和重传数据占整个传输数据的比例, 在冗余开销和重传时延之间得到更好的权衡. 最后, 指出了视频通信中选择性重传的主要研究方向, 包括视频内容分类、选择重传的准则和时机, 以及可用于实际视频通信的低复杂度、易实现的选择性重传方案.

关键词: 视频通信; 选择性重传; 混合自动重传

中图分类号: TN919.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)06-0082-06

Selective Retransmission Technology in Video Communications

SONG Bin, LI Zinuo, QIN Hao

(School of Telecommunications Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: The selective retransmission technology is a research hotspot in error control methods for video communications. Four aspects of the technology are discussed, including the location of retransmission decision, the retransmission contents classification, the impact of network states on the retransmission, the transport protocols supporting selective retransmission. Then, three error resilient systems using selective retransmission are described. Based on the hybrid automatic repeat request technology, a hybrid automatic selective repeat request scheme is presented for video transmission. The scheme can flexibly adjust the proportion of the check data and the retransmission data to the whole transmission data, which may lead to a better tradeoff between the redundancy cost and the retransmission delay. In addition, the main research directions of the selective retransmission in video communications are pointed out, including video content classification, the criteria and timing for selective retransmission, and selective retransmission schemes with low complexity, easy implementation for practical video communications.

Keywords: video communication; selective retransmission; hybrid automatic repeat request

随着宽带无线通信和 IP 网络的迅速发展, 视频通信正逐步成为通信网络的主要业务之一. 高效的视频压缩技术, 如 H. 264^[1] 虽然大大提高了视频传输效率, 但压缩以后的数据对误码非常敏感, 会造成恢复图像质量严重下降.

Wang^[2] 和 Dempsey^[3] 等人总结了视频通信的

多种差错控制方法, 主要有开环和闭环 2 种方式. 其中开环方式不需要反馈信息, 如前向纠错(FEC), 因此时延较小, 在一定条件下可以有效提高数据传输质量, 但会引入较大的开销和较高的计算复杂度, 且算法灵活性差. 闭环方式则利用反馈信息进行自适应错误控制, 主要方法有自动请求重传(ARQ), 虽

然该方法会增加传输时延,但它只需要较小的带宽和处理代价就能有效恢复丢失数据,而且不会给网络增加过多负担.另外,结合 FEC 和 ARQ 算法优点提出的混合自动请求重传(HARQ)技术^[4-7],已用于第3代移动通信中数据传输的差错控制.近年来,人们在视频通信中又提出使用选择性重传方法^[8-13].该方法只选择重传部分丢失数据包,不仅节省了带宽资源和运算处理代价,且降低了传输时延,成为视频差错控制算法中的研究热点.

本文在 Grinnemo 等人^[13]研究的基础上,对选择性重传方法从重传决策的位置、重传数据内容、网络状态对重传的影响,以及利用传输协议的重传方法等4个方面进行了讨论.然后,给出选择性重传方法在视频抗误码系统中的应用,并结合选择性重传的算法特点,提出进一步保证视频通信质量的视频通信混合自动选择重传(HASRQ)方案.最后,指出了视频通信中选择性重传技术的主要研究方向.

1 基于视频通信的选择重传方法

传统的重传技术大多是重传所有丢失数据包来提供传输的可靠性,这种以时延为代价的方法显然不适合实时多媒体业务.因此,人们提出重传部分丢失数据包的算法,即选择性重传方法来保证视频传输的实时性和数据的有效性.选择性重传方法根据视频信号的特点,只选择重传一部分丢失数据包,一方面可以恢复丢失部分的重要视频数据,防止错误扩散来提高恢复视频质量,另一方面接收端不需要等待所有丢失数据的重传,从而不会影响视频通信的实时性.以下从4个方面分别讨论基于视频通信的选择重传需要研究的问题.

1.1 选择性重传的决策位置

按照决策位置的不同,选择性重传技术可分为3类方法:接收端决策、发送端决策以及收发端联合决策.接收端决策选择性重传主要用于降低重传请求包的数量.接收端需要反馈额外的消息,如否定应答(NACK)或重传请求包等给发送端以实现信息的交互,利用传输往返时间(RTT),选择重传那些能在其播放时刻及时到达接收端的数据包^[14].发送端在发送每个数据包的同时要发送其相似检验函数,然后在接收端比较收发两端的相似检验函数来判断数据的失真程度,以实现数据的选择重传^[15].使用接收端决策方法,能够提高视频传输质量,降低网络拥塞,并且可以根据用户需求及时调整反馈信息和传输内容.

在发送端选择性重传决策中,接收端只要检测到丢包,就向发送端反馈 NACK 信息,由发送端决定重传哪些数据包,何时重发. Huszák^[9,16]在发送端利用数据报拥塞控制协议(DCCP)^[17]提供的信息,如序列号、确认(ACK)报告及其拥塞控制算法管理的 RTT 等,提出不同的选择重传方法. Hagi-no^[10]提出面向播放时间和数据重要性的发送端决策选择重传方法,发端接收重传请求包,通过检测该包是否为重要数据包以及是否能在其播放时刻前到达接收端,来决定是否重传该包,以保证媒体流的传输质量.发送端决策重传算法的主要目的是避免无效重传.

收发端联合决策方法利用优先选择重传机制,在接收端根据 RTT 和包的播放时刻决定是否请求重传,在发送端选择重传影响值较高的丢包^[18],其中数据包的影响值预先计算并存储在发送端.该算法在接收端发现有丢包时,若满足条件 $T_{\text{cur}} + T_{\text{rtt}} + D_s < T_d(P)$ 则发送重传请求包,其中 T_{cur} 为发现丢包的时间, T_{rtt} 为该丢失包的估计 RTT, D_s 为缓冲时间, $T_d(P)$ 为丢失包 P 的播放时刻.当发送端接收到一个重传请求包时,比较丢失数据包 P 和发送数据包 P' 的影响值,选择影响值较大的包进行传输.图1为收发端选择重传方法的决策过程.

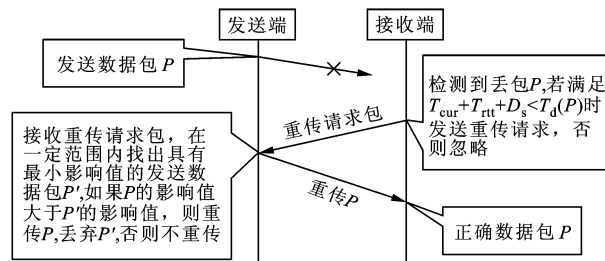


图1 收发端选择重传的决策过程

1.2 选择重传数据的内容划分

对视频数据进行压缩编码后,不同内容编码数据的丢失对恢复视频的质量影响不同,因此人们提出基于视频数据内容划分的选择性重传方法.

视频数据内容划分的方法有:在 MPEG-2/MPEG-4 视频编码压缩应用中^[8,11], I-frame(帧内帧)重要性最强, P-frame(预测帧)重要性次之, B-frame(双向运动预测帧)重要性最弱;在 H. 264 编码标准中^[1],最重要的是序列参数集、图像参数集等头信息,其次是帧内预测编码数据,然后是不重要的帧间预测编码数据;H. 264 的数据分割还可以将视

频数据分为 A、B、C 3 个重要程度依次降低的数据内容;通过计算丢失包对后续帧误码扩散影响来分配数据优先级,并结合播放时间限制进行选择重传^[18];联合主观视觉和时延重要性来决定丢失包的优先级实现选择重传^[19]。

1.3 网络状态对选择性重传的影响

传输网络的性能变化可能导致时延变大或者丢包率增加等,严重影响接收数据的恢复质量,尤其在视频通信中,可能导致视频质量严重下降。

根据多媒体应用最大允许时延和最大允许丢包率而设计的选择重传协议(SRP)^[20]包括均衡丢包时延(ELL)和最佳质量(OQ)2种决策算法。当接收端检测到一个丢包时,ELL和OQ算法分别依据式 $\Delta = |r_{\text{loss}} - r_{\text{latency}}|$ 和 $\Delta = r_{\text{loss}}^2 + r_{\text{latency}}^2$ 进行判决,其中 r_{loss} 表示当前丢包率和最大允许丢包率的比值, r_{latency} 表示当前传输时延和最大允许时延之比,利用上式分别计算重传和不重传2种情况下的 Δ 值,选择其较小值判定是否重传丢失包。SRP协议克服了用户数据报协议(UDP)丢包率高和传输控制协议(TCP)时延大的不足,在丢包和时延之间进行权衡控制。

针对多媒体流传输,提出了一种面向播放时间的重传决策方法^[10],如图2所示。当满足条件 $T_{\text{cur}} + R_{\text{rtt}} + d < T_{\text{deadline}}$ 时,重传该丢失数据包,其中 T_{cur} 是检测到丢包的时刻, T_{deadline} 是该包的播放时刻, d 是收发两端总的处理时延。这种基于时延的选择重传方法要求重传包要在其播放时间前到达接收端,避免了无效重传。

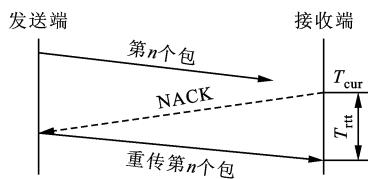


图2 面向播放时间的重传决策方法

联合误码掩盖和信道状态条件选择重传丢失数据包方法^[21],能够有效提高恢复视频的质量。其中,如果误码掩盖后图像质量低于特定门限值且信道状态很差时,不需要重传,否则重传丢失数据包。

1.4 支持选择性重传的传输协议

基于TCP/IP的视频通信通常使用RTP/UDP协议实现,然而UDP协议本身不提供重传控制功能,因此需要研究如何对实时传输协议(RTP)进行扩展,使其适用于丢失数据包的选择性重传^[22]。选

择重传高优先级RTP分组的机制^[12],在一个RTP流的发送端标记其中部分数据包为高优先级可恢复包,当这些包丢失时,接收端要对高优先级的数据包请求重传。基于MPEG-4的编码特性和RTP实时传输数据的特点,人们设计了选择可靠性实时传输协议(SR-RTP)^[8],该协议在RTP载荷头添加了帧信息字段和优先级字段,以实现丢包检测和选择重传重要的数据包。

作为UDP的替代协议,DCCP能够提供如序列号、ACK报告、拥塞控制算法维护的RTT等信息以及部分校验功能,可以利用序列号检测丢包和部分校验功能,检测重要的I帧数据包并重传严重出错的I帧数据包,以实现重要数据包的选择重传^[23]。SCSR算法^[9,16]利用序列号、ACK报告和RTT等信息实现面向播放时间的选择性重传,只重传那些能在播放时间前到达接收端的丢失包,实验结果表明,该算法能够有效改善恢复视频的质量。

2 基于选择重传的视频抗误码系统

在视频通信系统中,如何正确使用前面给出的多种选择性重传方法,也是设计视频抗误码系统的关键问题,下面给出3种典型的系统设计方案。

图3为基于MPEG-2视频信号的选择重传方案^[24],该系统中引入虚拟缓存的概念跟踪丢包的误码扩散范围,确定丢包是否可以恢复,从而实现选择性重传。该系统增加了重传信道和虚拟缓存,其中重传信道用来传输丢失数据包,以及包的大小类型等信息,而虚拟缓存存放的是发送端发送的有关已编码图像的大小和类型等信息,以便接收端决策选择性重传。

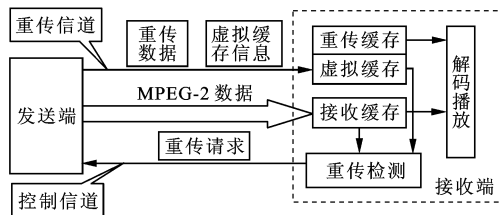


图3 基于MPEG-2的选择重传方案

在图3中,接收端每次检测到丢包时,先比较接收缓存和虚拟缓存来定位丢包类型、大小及误码扩散范围,如果是B帧丢失则忽略,否则根据播放时间限制计算其重传恢复的可能性,并相应地在控制信道上反馈重传请求,发送端在重传信道上选择传

输丢失的重要数据包. 该方案适用于丢包对服务质量(QoS)影响严重的多媒体中.

图 4 为在 Internet 上具有传输可靠性和带宽适应性的 MPEG-4 媒体流选择重传方案^[11]. 在该方案中充分利用 MPEG-4 的编码码流特点,当客户端检测到丢包时,判断该包是否为重要数据包来实施选择性重传. 图 4 中的服务端和客户端使用实时流协议(RTSP)建立会话,然后通过 RTP/UDP 传输数据流. 客户端利用实时传输控制协议(RTCP)报告和丢包检测方法,得到丢包和 RTT 信息,然后通过发送 RTCP 报告丢包、RTT 和重传请求等反馈信息给服务器,以实现选择性重传,而服务器端则通过拥塞管理(CM)模块,自适应地调整输出媒体流的码率^[11].

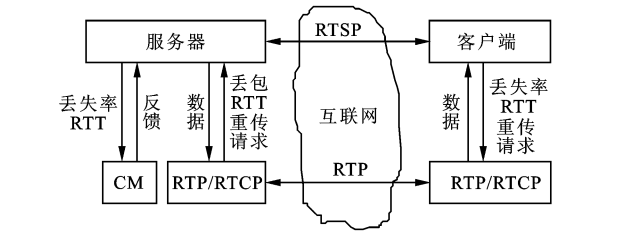


图 4 MPEG-4 媒体流的选择重传方案

在无线瑞利衰落信道上,为实现低码率实时视频通信,提出联合使用低时延交织技术,以及基于信道状态和误码掩盖的选择性重传方法,传输 H. 263 视频压缩码流的系统框图^[21]如图 5 所示. 发送端在收到重传请求后,计算解码出错帧与前一帧数据的均方误差(MSE),从而得到由误码掩盖引入的失真 D_{CE} ,然后结合给定的门限值 T 和信道状态等条件,来比较决定是否需要重传丢失的数据包. 其具体过程是:先在已传输的 N 个编码帧内,计算重传比特数和平均传输比特数的比值,如果比值高于经验值 H ,则认为信道状态差,当 $D_{CE} < T$ 且信道状态差时不重传,其他情况均需重传丢失包.

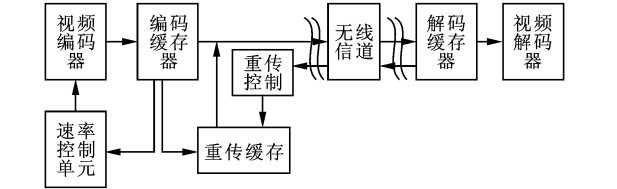


图 5 基于选择性重传的无线视频系统

在图 5 中,编码缓存器对输出的视频码流进行整形,防止瞬时码率超出信道带宽限制而造成数据

丢失. 已经发送的数据包存放在重传缓存中,当发送端收到接收端反馈的重传请求时,利用重传控制模块判决是否需要重传和重传相应数据包^[21].

本文在表 1 中对上述 3 种重传系统进行了比较. 由表 1 和第 1 节给出的多种选择重传方法可以看出,基于选择性重传的视频抗误码系统设计需要考虑多种因素,如重传数据包对恢复视频质量的重要性,丢失数据包的播放时间,网络传输时延、可用带宽资源和实际丢包率,以及用户对视频质量的要求等.

表 1 3 种选择性重传系统的比较

	应用网 络环境	视频编 码方法	重传决 策位置	重传决 策方法
图 3 系统	ATM 网络	MPEG-2	接收端	播放时间 限制以及 重要数据
图 4 系统	互联网	MPEG-4	接收端	重要数据
图 5 系统	无线瑞利衰 落信道	H. 263	发送端	带宽条件及 视频质量

3 混合自动选择重传方案

通信系统中常用的差错控制方法主要有 FEC 和 ARQ,其中 FEC 是通过额外传输冗余校验信息来纠正出错的数据,而 ARQ 则是重新传输出错的数据包. 这 2 种方法各有不足之处:FEC 方法不必要的开销会增大网络传输负担,且大大增加了解码系统的复杂性,而 ARQ 方法则有传输时延较大和对编解码缓存要求高的缺点. 因此,在第 3 代/4 代移动通信的数据传输中提出了采用 HARQ 技术进行差错控制的方法. 该方法结合了 FEC 和 ARQ 方法的优点,在发送端使用一定强度的 FEC 保护,在接收端先进行 FEC 解码,如果不能完全正确恢复数据,则要求发送端重新发送出错或丢失数据.

HARQ 技术利用 FEC 保护和数据重传来提高数据传输的有效性,且不必重传整个数据包,能够大大增强系统的鲁棒性和网络带宽的利用率. 根据其重传内容的不同, HARQ 基本可分为 Type-I HARQ、Type-II HARQ 和 Type-III HARQ 这 3 类.

(1) Type-I HARQ 是简单地将 ARQ 与 FEC 技术结合,对于收到的数据包先进行解码纠错,若能

纠正其中的错误则接收此包,否则丢弃此包并向发送端请求重发该数据包。

(2)Type-II HARQ 的特点是重传的数据与正常传输的数据不同,它只包含 FEC 编码的校验冗余数据,不包含信息数据,在接收端保存出错的数据包并与重传的冗余校验数据进行合并解码。

(3)Type-III HARQ 是指重传的数据包包含与原数据包相同的信息数据和不同 FEC 编码的冗余校验数据,每次重传的数据包可直接解码,如果不能正确解码,则与先前传输的出错数据包合并成一个具有更大冗余度的数据包进行解码。

鉴于视频通信对实时性要求高、对网络丢包敏感等特点,有必要研究适合视频通信的 HARQ 技术,而目前这方面的研究还比较少见。

为了将 HARQ 技术应用于视频通信业务,本文提出混合自动选择重传(HASRQ)方案,如图6所示。该方案利用 FEC 保护传输的数据包,在解码端,如果丢包超过其纠错能力,则根据视频内容的特点选择重传部分丢失数据包。在图6中:视频编码模块对传输数据进行内容重要性划分,根据每个宏块被后继帧参考的重要程度^[25]区分数据重要性,并将重要数据放入重传缓存;RTP 封装模块利用 RTP 协议扩展^[26]实现视频数据不同重要性的封装,并设计适合选择重传的数据包封装格式;FEC 独立成层模块^[27]对 RTP 包进行保护,并结合信道状态对不同重要性的视频数据进行不等保护;视频解码模块检测丢包情况和评估传输视频质量^[28],并与编码端联合决策进行选择重传控制,决定是否需要重传以及重传的具体内容等。

根据视频信号的特性,HASRQ 技术可以灵活地调整 FEC 校验数据和重传数据占整个传输数据的比例,在冗余开销和重传时延之间得到更好的权衡,并能有效地提高视频传输质量,适用于高误码率无线环境下的视频通信。

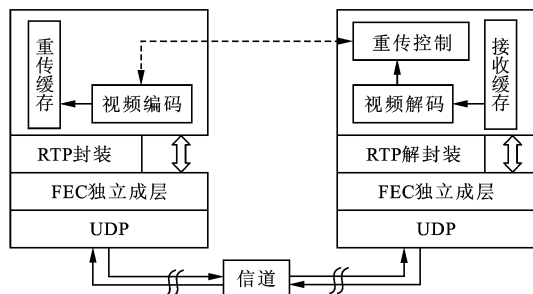


图6 视频传输的 HASRQ 技术方案

4 结 论

本文综述了近年来选择性重传技术在视频通信差错控制方法中的研究,其中主要从4个方面对选择重传进行讨论,并给出了3种基于选择性重传的视频抗误码系统。依据视频传输的特点,提出 HASRQ 重传方案,可保证无线信道下的视频通信 QoS。

目前,视频通信中选择性重传方法的主要研究方向有:在发送端研究有效划分视频内容重要性的方法;在接收端研究重传部分数据的准则和重传时机;在收发两端结合时变网络状态和恢复视频质量等因素,研究并设计复杂度低、易于实现的选择性重传方案,以用于实际视频通信产品。

参考文献:

- [1] ITU Telecom Standardization Sector of ITU. ITU-T recommendation H. 264: advanced video coding for generic audiovisual services [S]. Geneva, Switzerland: ITU, 2003.
- [2] WANG Yao, ZHU Qinfan. Error control and concealment for video communication: a review [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(5): 974-997.
- [3] DEMPSEY B J, LIEBEHERR J, WEAVER A C. Retransmission-based error control for continuous media traffic in packet-switched networks [J]. Computer Networks and ISDN Systems, 1996, 28(5): 719-736.
- [4] SHEA J M. Reliability-based hybrid ARQ [J]. IEE Electronics Letters, 2002, 38(13): 644-645.
- [5] KIM H, SHEA J M. New turbo-ARQ techniques based on estimated reliabilities [C]//Proc 2003 Wireless Communications and Networking Conference. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 843-848.
- [6] ROONGTA A, SHEA J M. Reliability-based hybrid ARQ using convolutional code [C]//Proc 2003 IEEE International Conference on Communication. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 889-8893.
- [7] ZHANG Qinqing, KASSAM S A. Hybrid ARQ with selective combining for fading channels [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(5): 867-880.
- [8] FEAMSTER N G. Adaptive delivery of real-time streaming video [D]. Cambridge, Massachusetts, USA: Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- [9] HUSZK A, IMRE S. Source controlled and delay sensitive selective retransmission scheme for multimedia streaming [C]//Proc 12th IEEE Symposium on Computer and Communication. Piscataway, NJ, USA;

- IEEE, 2007: 191-196.
- [10] HAGINO H, MIYAZAKI Y, ONOE Y, et al. A playout time oriented retransmission scheme for multimedia streaming systems [M]. Berlin, Germany: Springer, 2003: 406-415.
- [11] FEAMSTER N, BALAKRISHNAN H. Packet loss recovery for streaming video [C]//Proc 12th International Packet Video Workshop. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2002: 1-11.
- [12] LENNOX J. Marking and selectively retransmitting high-priority packets in the real-time transport protocol (RTP) [EB/OL]. (2006-06-01) [2008-12-26]. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-lennox-avt-recoverable-packets-00.txt>.
- [13] GRINNEMO K J, GARCIA J, BRUNSTROM A. Taxonomy and survey of retransmission-based partially reliable transport protocols [J]. Computer Communication, 2004, 27(4): 1441-1452.
- [14] PAPADOPOULOS C, PARULKAR G. Retransmission based error control for continuous media applications [C]//Proc 6th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 1996: 5-12.
- [15] LAM T T, KARAM L J, BAZZI R A, et al. Reduced-delay selective ARQ for low bit-rate image and multimedia data transmission [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2005: 309-312.
- [16] HUSZK A, IMRE S. Source controlled semi-reliable multimedia streaming using selective retransmission in DCCP/IP networks [J]. Computer Communications, 2008, 31(11): 2676-2684.
- [17] KOHLER E, HANDLEY M, FLOYD S. RFC4340 datagram congestion control protocol (DCCP) [S/OL]. (2006-03-05) [2008-12-26]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4340.txt>.
- [18] WEI Hsiao Cheng, TSAI Yuhchou, LIN Chiawen. Prioritized retransmission for error protection of video streaming over WLANs [C]//Proceedings of the 2004 International Symposium on Circuits and Systems. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2004: 65-68.
- [19] BUCCIOL P, DAVINI G, MASALA E, et al. Cross-layer perceptual ARQ for H.264 video streaming over 802.11 wireless networks [C]//Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2004: 3027-3031.
- [20] PIECUCH M, FRENCH K, OPRICA G, et al. A selective retransmission protocol for multimedia on the internet [C]//Proceedings of SPIE International Symposium on Multimedia Systems and Applications. Bellingham, WA, USA; SPIE, 2001: 79-90.
- [21] ARAMVITH S, CHIAWEN L, SUMIT R, et al. Wireless video transport using conditional retransmission and low-delay interleaving [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(6): 558-565.
- [22] SCHULZRINNE H, CASNER S, FREDERICK R, et al. RFC 3550. RTP: a transport protocol for real-time applications [S/OL]. (2003-07-01) [2008-12-26]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>.
- [23] HUSZK A, IMRE S. Selective retransmission of MPEG video streams over IP networks [C]//Proceedings of 5th International Symposium on CSNDSP. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2006: 125-128.
- [24] LEE S H, LEE S Y. Retransmission scheme for MPEG streams in mission critical multimedia applications [C]//Proceedings 24th Euromicro Conference. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 1998: 574-580.
- [25] SONG Bin, QIN Hao, JIANG Xiaobing. Adaptive intra refresh for robust H.264/AVC transmission [J]. IEICE Trans on Communications, 2008, 91(11): 3796-3798.
- [26] 宋彬, 秦浩, 郭春芳. 保证 H.264 视频通信质量的实时传输协议载荷 [J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(12): 1455-1459.
- SONG Bin, QIN Hao, GUO Chunfang. Real-time transport protocol payload for guaranteeing the QoS of H.264 video delivery [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007, 41(12): 1455-1459.
- [27] WATSON M. FECFrame requirements, draft-ietf-fec-frame-req-02 [EB/OL]. (2007-03-05) [2009-01-08]. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-fec-frame-req-02.txt>.
- [28] SONG Bin, QIN Hao, GUO Chunfang. Bandwidth reallocation strategy for video communications on NGN [J]. IEICE Trans on Communications, 2008, 91(9): 3037-3040.