

交互式立体视频系统传输质量研究

王腾飞, 王晓东*, 胡彬彬, 蒋刚毅

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 针对交互式立体视频系统, 从传输质量的角度对网络通信技术进行了综述和分析. 首先对现有的交互式立体视频系统进行分析, 总结出系统的总体框架及网络通信对系统性能的影响, 然后分别对传输模式和传输控制采用的关键技术进行研究, 最后从传输质量的角度出发对交互式立体视频系统的进一步发展提出了若干技术与方向的展望.

关键词: 立体视频系统; 多视点视频; 传输模式; 传输质量

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2014) 01-0037-07

近年来, 随着 3D (Three Dimensions) 视频领域技术的飞速发展, 人们对 3D 视频采集、编码、传输和显示技术的研究亦愈加深入^[1-3]. 交互式立体视频系统综合了 3D 视频领域的各种技术, 它允许用户自主地选择观看角度以获得感兴趣的视频内容^[4], 具有交互式立体视频系统特有的自然场景或虚拟场景三维沉浸视觉感受、无缝式视点切换与灵活的人机交互特性^[5], 能够为用户提供更好的视觉体验效果.

无论有线网络或无线网络, 其网络参数都是动态变化的, 在传输过程中不可避免地会导致传输延迟、数据误码和数据包丢失^[6]. 网络传输延迟可能造成声音视频不同步、互动交互出错等情况, 降低了用户的感知质量. 传输误码和数据包丢失则会直接降低终端的解码质量甚至无法解码, 对于多视点立体视频还会产生错误扩散, 严重影响终端视频质量^[7]. 如何提高网络传输的可靠性、实时性和平稳性, 充分利用可用的网络资源, 并保障终端视频质量是我们重点关注的问题.

笔者从传输质量的角度出发, 对立体视频系统的传输方式和传输控制技术分别进行总结和研究, 最后对交互式立体视频系统的技术挑战进行了展望.

1 网络传输对立体视频系统的影响

1.1 立体视频系统的整体框架分析

立体视频系统的构建与实现都具有深刻的研究和实际意义. 首先分析系统的发展过程来得到系统的总体框架^[8]. 欧盟于 2002 年开展了 ATTEST 项目的研究^[9], MERL 实验室在 ATTEST 项目基础上于 2004 年提出了自己的立体视频系统^[10-11], 较好地体现了 ATTEST 原型系统的设计思想. 微软亚洲研究院从交互和传输角度出发, 建立了基于 IP (Internet Protocol) 组播的多视点视频传输系统^[12-14], 系统定义了 3 种特效视频, 能够为用户提供良好的视觉观赏体验. 文献[15]提出了一个基于头部位置检测的多视点立体视频系统, 它将立体视频分为冗余帧和潜在帧分别进行传输, 通过减小码流来提高系统性能. 文献[16-17]对用户位置的准确捕捉和虚拟视点的准确绘制做了研究. 文献[18]提出了立体电视点播系统, 该系统采用 P2P (Peer to Peer) 传输可以有效地解决网络负担问题. 针对手持计算机、移动电话等小型便携设备, 欧盟于 2008~2011 年间建立了 Mobile 3DTV 系统^[19-21]. 通过对以上系统的分析可以总结出如图 1 所示的交互式立体视频系统的总体框架.

收稿日期: 2013-03-05.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(60832003, 61071120); 浙江省自然科学基金(Y1101240); 国家科技支撑计划(2012BAH67F00, 2012BAH67F01); 移动网络应用技术宁波市科技创新团队项目(2011B81002); 浙江省科技厅创新团队自主设计项目(2012R10009-08).

第一作者: 王腾飞(1988-), 男, 安徽亳州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 网络通信及图像处理. E-mail: tengfei7779@126.com

*通信作者: 王晓东(1970-), 男, 浙江绍兴人, 副教授, 主要研究方向: 网络通信及无线传感网络. E-mail: wangxiaodong@nbu.edu.cn

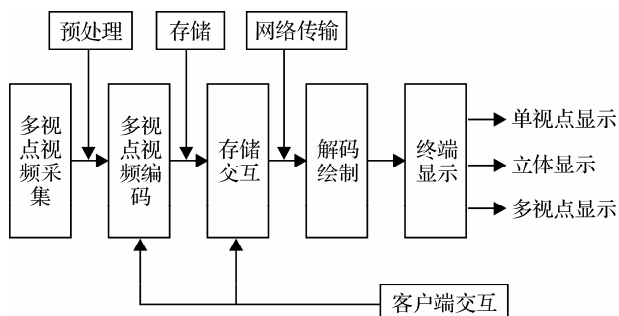


图1 交互式立体视频系统的总体框架

1.2 网络传输对立体视频系统的影响

由图1可知,网络传输是连接编码端和解码端的关键模块,对立体视频系统的编码模式、互动交互和终端视频质量有深刻的影响。

由于Internet网络的异构性,其可用带宽、延迟抖动和丢包等都是动态变化的。而流媒体需要平稳的数据传输,但由于网络带宽的随机变化特性可能造成终端视频质量的大幅波动,不利于终端的感知质量。并且多视点立体视频所需数据量巨大,需要高效的编码算法进行编码传输,但由于视点间相关性强,传输中不可避免地会造成数据出错,不仅会对当前帧重建质量产生影响,还会造成错误扩散,严重影响视频质量,降低系统传输的QoS(Quality of Service)。并且交互式立体视频系统对于网络传输延迟和传输模式比较敏感,系统启动延迟与视点切换速度会受到影响,直接关系到互动交互的质量。

所以,在不改变现有网络体系结构的前提下,网络传输需要通过采用合理的传输方式和端到端的控制技术来提高系统性能和服务质量。因此,以下将从传输模式和控制技术的角度对网络传输质量进行研究。

2 网络传输模式

2.1 网络传输方式

文献[9]和文献[22]中的立体视频采用视点加深度的表示方式,编码后的码流分别采用单播方式传输。文献[23]提出了Mobile 3DTV系统,该系统面向于手持计算机、移动电话等小型便携式设备,传输采用了DVB-H的广播标准,保证移动终端在移动环境和低功耗条件下可以流畅地接收数字电视节目。文献[24]为远程电视会议设计了一个交互

式系统,它可以根据用户的位置对每帧图像进行不同量化步长的编码,对编码后的深度流和视频流分别进行单播传输。

组播是另外一种常用的传输技术,文献[13-14]提出的基于IP组播的交互式立体视频系统把视频分成普通视频和特效视频,普通视频采用广播方式传输,特效视频采用IP组播方式传输。用户接收到特效视频通道的数量取决于自身的网络带宽,具有较高可用下行带宽的用户可以加入更多的特殊效果通道,从而享受到更高交互程度的特效服务。文献[25]则考虑了多声道音频的影响,对各视点视频和多声道音频分别进行独立的编码,前者采用H.264/AVC方式,后者采用AAC编码。编码后的码流分别独立传输,多声道音频可以自主选择单播或者组播的传输模式。

P2P传输模式可以解决C/S(Client/Server)模型中终端用户过多的问题。文献[18]提出了基于P2P的立体视频传输系统,用户将利用P2P技术向用户发送立体视频节目。由用户自身决定每个向其发送数据的流媒体服务器或其它用户的视频数据传输策略,这样可以使不同网络状况的用户得到相应质量的视频。在数据传输过程中,用户对应的根流媒体服务器实时跟踪用户的网络状况,并及时调整发送端的立体视频的质量。文献[26-27]利用NUEPMUT协议对现有的P2P系统进行了研究,提出了一种快速加入机制,对于每个新加入树的用戶,源节点和其它节点会优先向其转发数据,直到用户找到合适的父节点或新加入用户为止,以此来减小系统的启动延迟。文献[28]对现有P2P网络的视点转换时延问题做了研究,把不同视点的P2P网络通过全局覆盖网络联系在一起,这样用户不必退出原来视点的网络就可以切换到另外一个视点的P2P网络,有效地减小了视点切换时间。

2.2 网络传输方式分析

多视点立体视频中,单播方式的传输效率和带宽利用率较低;广播方式传输的效率较高,但用户会被动接收到无用信息;两者技术简单、易于实现,且支持现有的基础设施,所以仍被很多系统采用,但两种传播方式的有效性低且缺乏QoS保证。而组播技术通过增加路由器的复制功能,防止同样的数据包在线路上重复传送,可以有效弥补单

播和广播的缺陷, 提高系统效率, 但是组播本身的传输时延和节点管理等问题还是会对系统质量产生影响. P2P 方式传输可以通过有效分配网络带宽来解决现有的网络负载问题, 获得较高的传输性能. 但 P2P 网络存在着启动和视点转换延迟较大、资源分发策略不完善等问题, 影响系统终端解码和交互质量.

3 传输控制技术研究

3.1 网络传输的 QoS 要求

网络传输的 QoS 需求主要表现在带宽、时延、可靠性和平稳性四个方面^[29].

在立体视频系统中, 流媒体需要平稳的传输环境. 而由于 IP 网络的特点, 难以避免的网络拥塞会导致带宽的急剧变化, 所以要在带宽变化的情况下采用一定的控制机制以保障数据的平稳传输. 由于网络传输时延会导致用户主观感知质量的下降, 而实时交互系统对传输时延更加敏感. 所以传输丢包会使解码错误甚至无法解码, 而一旦丢包, 现有的 TCP 网络又将对数据进行重传, 进一步地增大了网络负担.

通过以上分析可知, 网络传输中必须采用相应的控制策略来提高传输数据的可靠性和平稳性, 降低重传率, 减小网络传输延迟, 进而保障网络传输的 QoS. 因此下面将从平稳、实时、可靠和公平的角度对网络传输的 QoS 进行研究.

3.2 视频传输的拥塞控制

当许多用户同时访问某个视频节目或网络状况较差时, 网络传输就会出现拥塞、丢包, 降低了终端观看的质量. 所以, 研究如何改善网络拥塞以及提高视频传输的 QoS 具有重要意义, 而基于窗口、基于速率和基于丢包策略是三种常见的拥塞控制机制.

3.2.1 基于窗口的拥塞控制策略

基于窗口拥塞控制策略是在发送方或接收方用 1 个拥塞窗口来保证流传输的友好性, 且采用时隙作为单位; 当 1 个分组被正确接收或分组确认被接收时, 就释放 1 个时隙. 加性增乘性减(Additive Increase Multiplicative Decrease, AIMD)是网络传输中控制拥塞窗口大小的主流方法, 但 AIMD 中的加性和乘性因子过于武断, 缺乏对网络带宽的细

分, 易造成带宽利用率下降. 文献[30]采用基于对数增长和下降的平滑信道容量探测算法, 自适应地调节拥塞窗口大小, 有效提高了网络资源的利用率. 文献[31]则是在一般加性增乘性减的窗口调节策略中引入 α 和 β 控制参数, 自适应地进行窗口调节, 使得视频流的传输更加平稳. 针对无线移动网络在带宽给定的情况下, 魏姝杰等^[32]提出在 Ad hoc 网络中, 利用灰度预测模型预测网络未来的状态, 进行拥塞窗口的调节, 有效改善了 TCP 通信的可靠性和无线实时通信的 QoS.

3.2.2 基于速率的拥塞控制策略

基于速率的拥塞控制策略是依据网络传输中的反馈机制动态调整发送速率, 使流传输更加平稳. TFRC(TCP-Friendly Rate Control)是基于 TCP 吞吐量模型的端到端友好拥塞控制协议, 能获得相对平滑的发送速率, 在视频传输中应用广泛. 针对视频流速率的平滑性问题, 文献[33]中提出利用向量基方法判断网络丢包的原因, 针对不同的丢包类型, 改善原有的 TFRC 协议, 来获得一个更加平滑的发送速率. 姜明等^[34]根据丢包率在 TFRC 计算公式中引入了幂级项权重因子, 降低网络拥塞对 TFRC 速率的影响, 提高 TCP 友好性和 TFRC 流的传输平稳性. 文献[35-36]分别在反馈机制中引入流量控制策略及基于延迟的拥塞控制策略, 实现速率和网络拥塞的平衡. 文献[37]给出有线 IP 网络中以质量为中心的多媒体 TCP 友好拥塞控制策略, 综合考虑网络条件、最大延迟、数据失真影响、数据相关性等因素, 利用马尔可夫模型获得最佳的拥塞控制方法, 调节数据流的发送速率.

3.2.3 基于丢帧的拥塞控制策略

立体视频一般会含有 3 种不同类型的帧: I 帧、P 帧和 B 帧, 其重要性依次降低. 基于此, 当网络拥塞时, 可以根据重要性选择性丢包. 文献[38]提出了主动丢帧的方法, 主动丢掉重要性最低的 B 帧以减缓网络拥塞和传输延迟. 文献[39]通过研究不同丢帧率与终端可解码率的关系, 引入了最佳丢帧率的概念; 针对连续帧丢失可能降低终端视频质量问题, 还提出了一种主动的均匀丢帧策略. 文献[40]提出一个基于网络的 H.264/AVC 整帧丢失视觉模型, 通过预测每帧丢失对视觉感知影响, 来决定拥塞时的丢帧策略.

立体视频系统出现网络拥塞时, 以上3种拥塞控制机制都可减小网络拥塞, 使得传输所需带宽和网络带宽相匹配, 实现视频的平稳可靠传输。基于速率的拥塞控制是目前研究的热点; 而基于丢帧的拥塞控制策略考虑到人眼感知, 当网络拥塞时, 丢掉重要性最低的帧, 因此此机制无需复杂的反馈机制, 适合实时视频传输。

3.3 视频传输的差错控制

视频传输的差错控制是指采用合理有效的传输控制技术来提高网络传输的QoS, 减小数据包的丢失, 并且尽量降低丢包对终端视频质量的影响。网络传输中常用的差错控制技术包括前向冗余纠错(Forward Error Correction, FEC)、自动请求重传技术(Automatic Repeat Request, ARQ)^[41]和解码端错误隐藏技术。

3.3.1 前向冗余纠错

FEC是对将传输的视频数据进行信道编码, 每个数据包增加一定的冗余数据, 接收端能够根据冗余数据来检测并纠正受损数据^[42]。文献[43]研究了立体视频流采用FEC技术的问题, 考虑了运动信息、视差信息和错误扩散等因素, 提出要对I帧和P帧的右视点增加更多冗余数据进行保护。文献[44]提出了一种差错保护方案, 对彩色数据和深度数据分配不同的码流传输, 其中更多地保护彩色视频信息。文献[45]认为单独使用FEC算法无法适用实时的网络状态, 进而提出了自适应的FEC算法, 通过检测网络的变化, 动态地分配冗余数据, 增加了FEC算法的实时适用性。文献[46]则把用户对视频的感知质量和自适应的差错控制结合起来进行研究, 首先建立视频传输失真模型来评估某宏块对终端感知质量的重要性, 然后根据重要性把视频数据分级打包, 最后根据网络带宽对不同等级宏块分别进行保护, 其中对等级高的数据采用更多的冗余比特保护, 该算法有效提高了终端视频感知质量。文献[47]将多播前向纠错和单播重传结合起来, 采用分布式方案来解决交互式网络电视的数据错误传输问题, 提高了系统的QoS。

FEC在原始码流的基础上对数据加上冗余信息, 解码端可以据此纠错误码流。FEC不需要反馈信道, 也无需反复重发而延误传输时间, 可以在一定实时约束的条件下提高网络传输的可靠性。

对于立体视频传输系统, 在误码率较高的情况下, FEC必须使用低速且纠错能力强的编码方式, 才能够保障系统的可靠性, 但这会降低编码码率和系统的吞吐率。FEC编码所需的冗余信息会导致传输时需要更多的带宽, 在网络状况较差的情况下可能加剧网络拥塞, 且在网络状况不稳定时仅仅依赖FEC难以保证网络传输的可靠性。

3.3.2 自动请求重传

在ARQ中, 接收端发现数据出错后, 会自动地向发送端请求重传数据, 直到接收到正确数据或超时为止^[48]。文献[49]对无线网络的流量优先级和信道资源做了研究, 提出一种基于流量优先级和信道资源的ARQ差错控制技术, 可以满足认知网络中不同流量和信道资源对差错控制策略的差异性需求。文献[50]根据用户对终端图像的感知提出了一种自适应的带宽-失真最小化的自动重传方法。解码端首先对接收到的出错数据进行错误隐藏恢复, 如果恢复后的数据失真可以满足用户的需求, 则发送方不需重传出错数据, 否则进行数据重传。混合ARQ(Hybrid ARQ)结合了ARQ和FEC的优点, 在纠错的能力范围之内, 自动纠正误码, 否则则要求发送端重传数据, 这样可以在保证系统可靠性的前提下获得较高的吞吐率^[51]。由于不同水深和水下环境对水下无线传感器网络的影响不同, 文献[52]提出了一种跨层分析框架, 综合考虑ARQ、FEC、HARQ的延迟、误码和QoS, 在不同的环境下采用不同的差错控制技术。文献[53]提出了一种低时延、递增策略的HARQ系统, 其与自适应的体制系统相结合, 根据接收到的不同信噪比选取不同的调制方式和冗余递增策略。和传统的固定冗余递增策略的HARQ系统相比, 该系统可在保障可靠性的前提下降低系统的传输时延。

3.3.3 解码端的错误隐藏技术

解码端的错误隐藏技术是利用接收到的正确信息, 结合立体视频相关特性来恢复出错或者丢失的立体视频信息, 提高传输的QoS。终端常用的立体视频错误隐藏技术有空域隐藏、时域隐藏和频域隐藏^[54]。3种方法对于不同特性立体视频的恢复效果各不相同, 因此将三者有机结合的自适应错误隐藏技术可以取得更好的恢复效果。

在立体视频传输系统中, ARQ以其丢失即重

传的传输策略可以保障系统的可靠性。但是数据重传和等待时间会降低数据的传输速度和视频的实时性,尤其在误码率较高的情况下,重传的频率会明显上升,影响系统的吞吐量,显著增加传输时延,降低终端的 QoS。HARQ 克服了 FEC 和 ARQ 的缺陷,利用 FEC 的纠错码尽可能地纠错误码码流,进而降低重传频率,通过提高吞吐量来保障整个系统的 QoS;对于 FEC 策略无法纠错的误码码流,利用其检错能力,再由 ARQ 策略进行数据重传。因此,采用 HARQ 策略可在保障系统 QoS 的同时,获得较高的吞吐量。解码端的错误隐藏技术无需编码端的任何反馈信息,不占用信道资源,不会带来额外的传输延迟,该方法也是一种常用的差错控制技术。

4 结论与展望

多视点立体视频系统可以为用户提供更加自由、舒适的视觉体验。目前交互式立体视频系统传输方式包括广播、单播、组播和 P2P 等,广播和单播的效率低下且缺乏 QoS 保障,组播和 P2P 模式可提高传输效率,但还存在着系统传输延时和启动较慢的问题。而且合理的端到端控制技术可以提高传输的可靠性,减小系统传输延迟,而常用的传输控制技术包括拥塞控制和差错控制。拥塞控制包括基于窗口、基于速率和基于丢帧三种模式,可以保障终端视频的可靠性和平稳性。差错控制包括前向纠错、自动重传和解码端的错误隐藏技术,差错控制可以充分利用网络带宽,保障终端数据可靠性,且可一定程度上降低重传率,提高系统实时性。

交互式立体视频系统传输质量及相关传输技术是多媒体技术研究当中的热点问题,目前还有很多挑战性的课题亟待解决:(1)如何根据用户的主观感知来指导传输控制技术;(2)平衡系统带宽、传输时延和数据重传的关系;(3)不同情况下差错控制技术的自适应选择;(4)如何快速解码,降低终端复杂度等。进一步的研究也包括面向传输的可分级编码技术,将动态的网络状况和码率控制、错误隐藏等技术结合起来,并兼顾交互式高质量虚拟视点的绘制问题。相信随着科技的进步,以上难题一定能够得到解决。

参考文献:

- [1] Zilly F, Kluger J, Berlin, et al. Production rules for stereo acquisition [J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(4): 590-606.
- [2] Urey H, Erden E, Surman P. State of the art in stereoscopic and autostereoscopic displays[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(4):540-555.
- [3] Gurler C G, Koc U, Istanbul E. Flexible transport of 3-D video over networks[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(4):694-707.
- [4] Broberg D K, Cable Telev Labs. Infra-structures for home delivery, interfacing, captioning, and viewing of 3-D content[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(4):684-693.
- [5] Merkle P, Smolic A, Muller K. Efficient prediction structures for multiview video coding[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(11):1461-1473.
- [6] 钟玉琢, 向哲, 沈洪. 流媒体和视频服务器[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [7] 周圆. 面向 IP 网络的多视点立体视频传输失真分析与建模[D]. 天津: 天津大学, 2011.
- [8] 杨铀, 郁梅, 蒋刚毅. 交互式三维视频系统研究进展[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(5):569-574.
- [9] Redert A, DeBeeck M O, Fehn C, et al. ATTEST: advanced three-dimensional television system technologies[C]. Proceedings of International symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission, Thessalonikj, 2002:313-319.
- [10] Vetro A, Matusik w, Pfstef H, et al. Coding approaches for end-to-end 3DTV systems[C]. Proceedings of Picture Coding Symposium, San Francisco, 2004.
- [11] Matusik W, Pfister H. 3DTV: A scalable system for real-time acquisition, transmission and autostereoscopic display of dynamic scenes[J]. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(3):814-824.
- [12] Lou Jianguang, Cai Hua, Li Jiang. A real time interactive multi-view video system[C]. Proceedings of the 13th Annual ACM International Conference on Multimedia, 2005:161-170.
- [13] Zou Li, Lou Jianguang, Cai Hua, et al. Multicast of real-time multi-view video[J]. IEEE ICME, 2006, 34: 1225-1228.
- [14] Lou Jianguang, Cai Hua, Li Jiang. Interactive multiview video delivery based on IP multicast[J]. Advances in Multimedia, 2007, 25:97535-97542.

- [15] Ziyuan P, Ikuta Y, Bandai M T. A user dependent system for multi-view video transmission[C]. 2011 IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2011:732-739.
- [16] Yoon S U, Lee E K, Kim S Y, et al. A framework for representation and processing of multi-view video using the concept of layered depth image[J]. Journal of VLSI Signal Processing, 2007, 46(2/3):87-102.
- [17] Cha J, Kjm S Y, Ho Y S, et al. 3D video player system with haptic interaction based on depth image-based representation[J]. IEEE transactions on Consumer Electronics, 2006, 52(2):477-484.
- [18] 吴晨刚, 金志刚, 赵西满, 等. 一种实时纠错的 P2P 模式网络立体电视播放系统[J]. 小型微型计算机系统, 2011(8):56-59.
- [19] Anonymity. Mobile 3DTV content delivery optimization over DVB-H system [EB/OL]. [2011-10-08]. http://sp.cs.tut.fi/mobile3dtv/results/summaries/Mobile3D-TV_Final_PublicSummary.pdf.
- [20] Merkle P, Brust H, Dix K. Stereo video compression for mobile 3D serices[C]. 3DTV Conference: The True Vision-capture, Transmission and Display of 3D Video, 2009:1-4.
- [21] Gotchev A, Jumisko P S, Boev A. Mobile 3DTV system: quality and user perspective[C]. Proceedings of EUMOB, 2008.
- [22] Petrovic G, De P H N. Framework for layered 3D video streaming[C]. Proceedings of the 27th Symposium on Information Theory, Noordwijk, 2006:53-60.
- [23] Gotchev A, Stankovic S, Strohmeier D. Complete end-to-end 3DTV system over DVB-H[EB/OL]. [2012-04-16]. http://sp.cs.tut.fi/mobile3dtv/results/tech/D6.8_Mobile3DTV_v1.0.pdf.
- [24] Dinei F, Cha Z. Multiview video compression and streaming based on predicted viewer position[C]. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2009:657-660.
- [25] Kwan J O, Manbae K. Multi-view video and multi-channel audio broadcasting system[C]. 3DTV Conference, 2007:1-4.
- [26] Kurutepe E, Sikora T. Multi-view video streaming over P2P networks with low start-up delay[C]. 15th IEEE International Conference on Image Processing, 2008: 3088-3091.
- [27] Kurutepe E, Sikora T. Feasibility of multi-view video streaming over P2P networks[C]. 3DTV Conference, 2008:157-160.
- [28] Chen Zhibo, Sun Lifeng, Yang Shiqiang. Overcoming view switching dynamic in multi-view video streaming over P2P network[C]. 3DTV Conference, 2010:1-4.
- [29] 唐丰收. 基于 IP 网络的实时视频传输的 QoS 研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2008.
- [30] 刘俊, 谢华. 一种改进的 TCP 拥塞控制算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(13):95-97.
- [31] 李芳芳, 沈明玉. 基于窗口调节的 GAIMD 拥塞控制算法研究[J]. 合肥工业大学: 自然科学版, 2010, 33(4): 538-542.
- [32] 魏姝杰, 白光伟, 沈航, 等. 基于 GM(1,1) 预测的 MANET 拥塞控制[J]. 计算机工程, 2010, 36(1):107-109.
- [33] 邓钱华. 无线网络视频传输的质量控制[D]. 北京: 北京邮电大学, 2009.
- [34] 姜明, 吴春明. TFRC 协议友好性与平稳性改进算法研究[J]. 电子学报, 2009, 37(8):1723-1727.
- [35] Oda H, Hisamatsu H, Noborio H. Design and evaluation of hybrid congestion control mechanism for video streaming[C]. IEEE International Conference on Computer and Information Technology, Pafos: IEEE, 2011: 585-590.
- [36] Jagannathan K, Modiano E, ZhengZhong L. On the trade-off between control rate and congestion in single server systems[C]. INFOCOM, Rio de Janeiro: IEEE, 2009:271-279.
- [37] Shiang H, Schaar M. A quality-centric TCP-friendly congestion control for multimedia transmission[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2012, 4(3):896-909.
- [38] 蔡倩. 实时视频流传输自适应控制研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [39] 陈勇斌. 网络视频自适应传输技术研究与应用[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [40] Yueh L C, Ting L L, Pamela C C. Network-based H.264/AVC whole-frame loss visibility model and frame dropping methods[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(8):3353-3363.
- [41] Junfeng J, Yusheng J, Baohua Z, et al. Error-resilient video multicast with layered hybrid FEC/ARQ over broadband wireless networks[C]. Global Telecommunications Conference, 2011:1-6.
- [42] 乐德广, 靳勇, 郭东辉, 等. 基于帧重要性认知的网络差错控制策略[J]. 通信学报, 2011, 32(11):11-20.
- [43] Tan A S, Aksay A, Bilen C, et al. Error resilient layered stereoscopic video streaming[C]. Proceedings of 3DTV Conference, Kos Island, 2007:1-4.
- [44] Hewage C T E R, Ahmad Z, Worrall S T. Unequal error

- protection for backward compatible 3-D video transmission over WiMAX[J]. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2009, 8:125-128.
- [45] Johanson M. Adaptive forward error correction for real-time internet video[C]. Proc of the 13th Packet Video Workshop, 2003.
- [46] 马志龙. 基于用户感知质量优化的流媒体服务系统的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
- [47] Zhi L, Xiaoqing Z, Begem A C, et al. IPTV multicast with peer-assisted lossy error control[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(3): 434-449.
- [48] Vaze R. Throughput delay reliability tradeoff with arq in wireless adhoc networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011, 10(7):2142-2149.
- [49] Jeon S Y, Cho D H. An ARQ mechanism considering resource and traffic priorities in cognitive radio systems [J]. IEEE Communications Letters, 2009, 13(7):504-506.
- [50] 周树民, 李锦涛, 张勇东. 易错视频传输中基于带宽-失真代价最小化准则的部分重传算法[J]. 计算机学报, 2007, 30(2):212-224.
- [51] 李凡. 无线通信中的混合 ARQ 技术研究[D]. 合肥: 中国科技大学, 2006.
- [52] Mari C D, Mehmet C V. Cross-layer analysis of error-control in under water wireless sensor networks[J]. Computer Communications, 2012, 35(17):2162-2172.
- [53] 程宇新, 项海格. 自适应调制混合 ARQ 系统中低时延冗余递增策略的研究[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(9): 1649-1653.
- [54] 庞林娟, 郁梅, 蒋刚毅. 基于 H.264 的立体视频右图像整帧丢失错误隐藏算法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(11):1584-1587.

Review on Transmission Technology of Interactive Stereo Video System

WANG Teng-fei, WANG Xiao-dong*, HU Bin-bin, JIANG Gang-yi

(Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: From the perspective of transmission quality, this paper focuses on using I-SVS to describe and analyze the communicative technology of the network. First, analysis is conducted on the existing I-SVS to derive the general framework and summarize the impact of network communication on the system performance. The investigation is then taken on the key technology of transmission mode and transmission control process. Finally, this paper gives some comments on the future development of I-SVS.

Key words: stereo video system; multi-view video; transmission mode; transmission quality

(责任编辑 章践立)