

基于 RTCP 分级反馈的 IPTV 视频 质量监控系统的研究与实现

王玲玲, 杨吉喆, 陆建德

(苏州大学 计算机学院, 江苏省计算机信息处理技术重点实验室, 江苏 苏州 215006)

摘 要: 分析了 RTCP 传统反馈模型和分级反馈控制模型, 研究了反馈控制框架设计, 并把 RTCP 分级质量反馈控制框架应用到 IPTV 直播系统中, 提高服务器端对客户端控制信息的响应速度, 保证了合适的自适应视频码流的播放流畅, 使 IPTV 直播系统具有良好的用户体验。

关键词: RTCP; SSM; IPTV; 分级反馈; IPv6

中图分类号: TN911. 22

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)12-0157-04

Research and Implementation on IPTV Quality Monitoring System Based on Hierarchical Feedback of RTCP

WANG Ling-ling, YANG Ji-zhe, LU Jian-de

(School of Computer, Soochow University, Jiangsu Province Computer IT Key Lab, Suzhou 215006, China)

Abstract: After comparing the traditional model with the hierarchical feedback model of RTCP, this paper makes research on the feedback framework design, and applies RTCP hierarchical quality feedback framework to the IPTV live broadcast system. As a result, the server has increased the response time to RTCP control messages sent by clients, brings about proper self-adaptive video code stream, the smooth play effects, and the good user experiences.

Key words: RTCP; SSM; IPTV; hierarchical feedback; IPv6

1 引言

随着三网融合的发展, 网络电视(IPTV)趋于普及, IPTV 业务是在 IP 网络上发展出来的新兴业务, 它提供组播、点播和时移电视等视频功能, 并能使用户互动参与^[1], IPv6 也为 IPTV 技术发展与研究提供了更好的下一代互联网基础平台。

在下一代网络环境下, IPTV 可以大规模地并发传输支持 MPEG-2、H. 264 编码的标清/高清视频流, 由于传统 IP 网络作为电信运营网络存在一些固有缺陷, 服务质量得不到很好保障, 无法实施有效的管理。由于网络用户的不断增加, 直播网络规模的

扩大, 也导致网络负担沉重, 引起网络性能下降, 这些都将影响用户的体验效果。而保障良好的用户体验质量(Quality of Experience, QoE)是 IPTV 业务得以成功发展和推广的关键所在^[2], IPTV 的视频质量监控成为一个研究热点。

本文对 IPTV 直播系统中的视频质量监控进行研究, 视频流传输和控制分别采用 RTP、RTCP 协议, RTCP 利用辅助反馈信息实现传输视频质量的监控。

2 IPTV 直播系统总体架构设计

一般而言, 根据接收者对组播源处理方式的不

收稿日期: 2011-03-23; 修回日期: 2011-05-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(61070170); 江苏省高校自然科学研究项目(08KJB520011); 苏州市应用基础研究项目(SYJG09024)

同,直播系统中的组播模型可以分为以下两大类:

(1) ASM 模型:即任意源组播模型.任一发送者都可作为组播源向某组播组地址发送组播信息,接收者通过加入由该组播组地址标识的组播组获得发往该组播组的组播信息.

(2) SSM 模型:即指定信源组播模型^[3].有时用户可能只对某些组播源发送的组播信息感兴趣,而不愿接收其他源发送的信息.SSM 模型为用户提供了一种能够在客户端指定组播源的传输服务.与 ASM 组播业务模型相比,SSM 业务模型具有如下优点:

- SSM 模型提供了组播接入的限制机制.
- 组播源节点确定,路由协议实现简化.
- 组播组的管理由源节点管理和协调,不需要全网络的组地址管理机制.

本系统采用 SSM 组播模式,流媒体传输和控制分别采用 RTP、RTCP 协议.媒体服务器通过组播传送 RTP 数据和相应的 RTCP 控制信息(SR 报文),每个客户端向所有成员组播 RR 报文,各个成员获得会话中的成员数目,此数目可以用来估计发包速率并且评估网络中的问题是局部的还是全局的.

本文设计的 IPTV 直播系统总体架构如图 1 所示,系统主要由视频采集端、复合传输子系统、IPv6 网络、接收客户端和视频质量监控五部分组成.该 IPTV 直播平台可支持 16 路标清(SDTV)或 4 路以上高清(HDTV)网络电视通道信号的采集播放.音视频编码格式采用 MPEG-2 和 H.264.

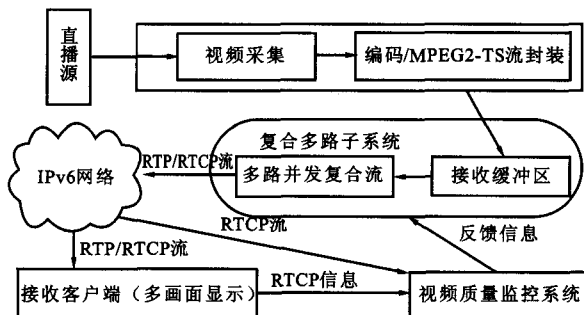


图 1 IPTV 直播系统总体结构

系统工作过程如下:直播源经过视频采集并压缩编码后封装成 MPEG2-TS (Transport Stream) 流,通过 RTP/UDP 协议发送到相应的组播地址;复合传输子系统在接收到多路节目流后,通过设置 IPv6 首部中的流标号标识各路节目流,再复合成一路 TS 流发送到一个目标客户组播地址,实现多通道视频节目复用、多路视频节目流在一个 RTP 会话

中传输,在客户接收端自行设计新的多路视频选择播放器,由目标客户组的组播地址接收到多路节目流,可以多通道视频多窗口观看,也可以通过流分解选择想要观看的某一视频节目流进行解码播放.在直播过程中,视频质量监控系统收集接收客户端的反馈信息发送到媒体服务器.媒体服务器根据收到的服务质量反馈信息进行码流输出的自适应调节,使得媒体服务器输出的码流能始终根据直播组客户的接收状况自适应调整输出不同码率、不同显示质量的视频节目.

该直播系统把所有的节目源都放在一个 RTP 会话中实现大规模多路视频节目的复合并发传输,这样不仅不用依赖共享树,而且可以实现客户端节目在频道间切换零延迟.但这样同时也使得 RTP 会话对核心网络的带宽要求大大提高、软件编解码、复用与分流的复杂度提高.

3 RTCP 分级反馈机制设计

3.1 RTCP 协议信包

实时传输控制协议 RTCP 配合 RTP 实现媒体流的控制. RTCP 的主要功能在于拥塞控制和 QoS 监控、为 RTP 源提供一个永久的传送层标志、调整 RTCP 包的发送率和传送会话控制信息^[4]. 为了实现这四种功能,RTCP 协议有五种常用报文来实现.分别是:源报告包(SR)、接收者报告包(RR)、源描述包(SDES)、站点离开系统报告包(BYE)和特殊应用包(APP).

为了适应日益广泛应用的 SSM 指定信源组播模式,IETF 引入了另一种 RTCP 报文格式——接收者摘要报文 RSI (Receiver Summary Information)^[5],用来合并客户端发送的 RTCP 信包,其结构如图 2 所示.

V=2	P	reserved	PT=RSI=209	length
SSRC				
Summarized SSRC				
NTP Timestamp (most significant word)				
NTP Timestamp (least significant word)				
Sub-report blocks				

图 2 RSI 报文格式

各个字段含义如下:

V:2 位长版本号.

P:1 位长的附加标记位,用以说明句尾是否附有非负荷信息.这些附加信息用于加密或通知底层

协议.

负载类型 PT:7 位长的负荷类型. 接收端据此来识别媒体类型. PT=209 表示为 RSI 信包类型.

SSRC 标识符:32 位长的同步源标识,用以识别同步源.

SSRC 标识符:32 位长聚合点 SSRC,用以标识聚合点.

NTP Timestamp:64 位长,指示该包发送时的绝对时间值. 发送方用来与接收方报告中返回的时间戳结合起来以便测量到这些接收方的往返时间.

Sub-report blocks:包括的有用反馈信息的子报文块.

3.2 传统的 RTCP 反馈框架

传统的 RTCP 反馈框架如下:流媒体服务器通过组播向所有客户端发送控制报文 SR,同样客户端也是通过组播发送接收者报文 RR. 对每一个会话,数据传输受到一个上限——会话带宽的限制. 会话带宽分配给所有的参与者. 这个带宽会被预留,并由网络所限制. 如果没有预留,基于环境的其他约束将会确定合理的最大带宽供会话使用,即会话带宽. 会话带宽参数可由发送者选择的编码方式的数据带宽算出.

所有参与者应使用相同的会话带宽值以保证计算出相同的 RTCP 间隔. 控制传输带宽应当是总会话带宽的小部分,控制传输带宽作为额外的一部分加入到会话带宽中. 根据 RFC3550 规定,RTCP 要控制传速带宽为会话带宽的 5%以内,其中 25%分配给发送者报告(Sender Report, SR),75%分配给接收者报告(Receiver Report,RR). 会话中的所有的接收者共享分配给接收者报告 RR 的带宽,通过式(1)可以看出 RTCP 包的时间间隔与组中参与者的人数成正比,随着接收者数量增大,发送接收者报告的间隔也会越来越长.

这种 RTCP 反馈控制框架最初是为 ASM 组播业务模式设计的,视频会议是典型的应用. 目前基于 IP 网络的视频、声音或者数据传输等应用十分常见,毫无质疑,今后数量还会继续增长. 鉴于 SSM 模型相对 ASM 模型来说具有的优点,SSM 模式越来越受到基于 IP 网络的多媒体服务采用. 在 SSM 组播模型中,只有一个媒体源,设有 n_T 个接收者,会话带宽为 BW_T ,RR 报文长为 PL_{RR} ,RR 报文所占的带宽总为 $0.05 * 0.75 * BW_T$,每个接收者所占的带宽为 $0.375 * BW_T/n_T$,则传输 RR 报文的间隔时间为:

$$T_{RR} = \frac{PL_{RR}n_T}{0.0375 BW_T} \tag{1}$$

标准的 RR 报文长度 PL_{RR} 如下估算:IP 头部 20 字节,UDP 头部 8 字节,RR 头部 8 字节,RR 报文块 24 字节;SDS 头 4 字节,CNMAE 头 28 字节. 则 $PL_{RR} = 92$ 字节(736 bit).

当接收者数量较少时,为了防止频繁地发送接收者报文 RR, T_{RR} 应不小于 5 s;当接收者数量庞大时,假如一个流媒体传输应用程序中 $BW_T = 1$ Mb/s, $n_T = 10^5$, $PL_{RR} = 736$ b,由式(1)可得 $T_{RR} = 1963\text{ s} > 0.5\text{ h}$. RTCP 包的真实时间间隔是计算所得间隔的 0.5 ~ 1.5 倍之间的某个随机值,以避免所有参与者的意外的同步. 实际报文的发送间隔是 $<0.5, 1.5> * T_{RR}$ 的一个随机数,即发送 RR 报文的发送间隔是 $<981\text{ s}, 3044\text{ s}>$,但这样的媒体源收到的 RR 报文时间太久,因而失去参考价值.

3.3 分级反馈模型设计

本文研究的 RTCP 分级反馈框架参考文献[6]并进行了改进设计. 在这种分级反馈框架中采用如图 3 所示的树状拓扑结构. 该框架中分为两种节点:终端节点(end nodes)和聚合节点(summarization nodes). 各个终端节点接收 RTP 数据报文并周期性地发送 RTCP 报文. 聚合点收到各个终端节点发送来的 RTCP 信包,根据一定的策略进行合并并以单播的形式进行转发. 源端发送 RTP 报文,并且支持聚合节点发来的 RTCP 信包的结构. 各个终端节点根据一定的策略找出上层聚合节点,各个聚合节点根据源节点发送来的 RTCP 发送报文获知组播组中总的终端数及其所管理的终端节点数目来计算出其转发 RTCP 报文的频率.

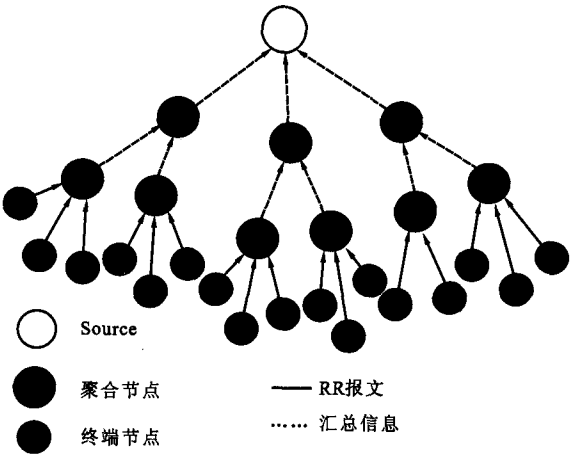


图 3 RTCP 反馈网络的树状拓扑结

聚合节点主要功能包括:监测核心网络是否有丢失 RTP 报文、对其接收到的 RTCP 报文进行合

并、组播组终端数的统计、根据转发策略控制 RTCP 报文的转发。聚合点对其管理域内的终端节点隐藏管理域外面的终端,管理域内的终端节点通过 RTCP 反馈信息所获知的终端数就是其所在的管理域内的终端数,这样就减小了发送 RTCP 信包的时间间隔,提高了服务器对客户端的响应速度。聚合点需对所收到的 RTCP 报文中有效信息进行合并。合并的原则是尽可能多的携带有用信息。此外,聚合点还需要检测源端发出的 RTP 报文,分析 RTP 报文中的序列号,如果序列号是连续的则说明没有出现报文丢失。若接收到的 RTP 序列号是不连续的,则认为此时网络拥塞。聚合节点根据 RTP 报文监测结果决定对 RTCP 报文转发的策略。如果发现核心网络中没有 RTP 报文丢失,聚合点以等时间间隔转发合并后的 RTCP 报文。如果发现有 RTP 报文丢失,则聚合节点直接转发报文丢失的端节点的反馈报文,对没有发生报文丢失的反馈信息进行合并后再转发。

这种分级反馈控制框架更适用于特定源组播,框架中反馈流量占用网络资源及拥塞反馈速度更优于传统的反馈框架^[6]。

4 直播系统视频质量监控系统的设计与实现

本文中的 IPTV 直播系统的视频质量监控系统采用 RTP/RTCP/UDP 协议来实现流媒体的传输和信息反馈。根据前面第 2 节的说明,该直播系统支持 16 路标清或 4 路高清视频的传输且所有的视频源都放在一个 RTP 会话中进行传输。这样视频源的编解码以及传输将占用媒体服务器主要的系统资源且对会话带宽要求很高。系统中媒体服务器主要工作是进行视频源的采集、编码、加流标签及复合。16 路标清或者 4 路高清视频源采用的 MPEG-2, H. 264 这种大容量编码格式将占用几乎全部的带宽资源^[7]。所以这就需要 RTCP 反馈控制信息占用核心网络更少的带宽以及更少的服务器系统资源。

由此,本文的视频质量反馈控制框架抛弃传统的 RTCP 反馈控制框架采用分级反馈模型。考虑在网络中设置多个质量监控服务节点,各个终端节点产生的反馈信息发送给相应的质量监控服务器(其地位相当上文中的聚合节点)而非流媒体服务器。聚合节点位置上的质量监控服务器对终端节点发送的反馈信息中反映网络状况以及客户端情况的信息进行提取、合并然后按照固定的时间间隔把这些反馈

信息转发给媒体服务器。质量监控服务器把收集来的 RTCP 反馈信息合并放入到 3.1 节介绍的 RSI 反馈信息报文中。数据结构形式如下:

```
typedef struct{
    unsigned char version;2; /* protocol version */
    unsigned char p;1; /* padding flag */
    unsigned char count;5; /* varies by packet type */
    unsigned char pt;8; /* RTCP packet type */
    unsigned short length; /* pkt len in words, w/o this word */
    unsigned int ssrc; /* the ssrc of the sender */
    unsigned int sum_ssrc; /* the summarized ssrc */
    unsigned int ntp_sec; /* NTP timestamp */
    unsigned int ntp_frac;
    unsigned int feedback;
}RTCP_RSI_HDR, *PRTCP_RSI_HDR, *LPRTCP_RSI_HDR;
```

其中 feedback 中存放的是合并后的反馈信息。视频质量监控在整个系统中的位置以及交互情况如图 4 所示。

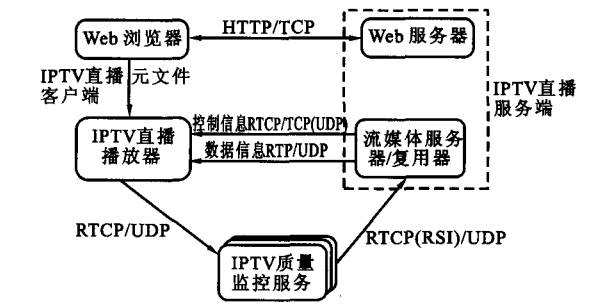


图 4 IPTV 系统各个部分之间的交互

采用分级控制框架可以把大量反馈控制信息的分析工作从媒体服务器转移到质量监控服务节点上,媒体服务器只需根据质量监控服务节点发送的反馈控制信息中的 feedback 字段来自适应调节,这样就可以减小 RTCP 控制信息的发送时间间隔,提高服务器对客户端的控制信息的响应速度。RTCP 控制信息所占带宽占用核心网络的总带宽就会减少。

5 结束语

本文分析了 RTCP 传统的反馈模型和分级反馈控制模型,研究了 RTCP 的反馈控制框架设计,并把 RTCP 分级质量反馈控制框架应用到 IPTV 直播系统中的质量反馈控制中。实验显示,分级反馈模型的 IPTV 直播系统的视频质量监控系统不仅可

实例对情感监测系统的开发过程进行了说明。该系统的描述结果不再是简单的曲线,而是引入了颜色心理学的内容,用不同的颜色描述 Email 文本的情感倾向。因此,该系统虽然还处于研发阶段,但是其应用前景可见一斑。

参考文献:

- [1] 张红霞. 智能电子邮件检测技术的研究[J]. 微电子学与计算机, 2007(5): 143-145.
- [2] Dow K, Serenko A, Turel O, et al. Antecedents and consequences of user satisfaction with e-mail systems [J]. International Journal of e-Collaboration, 2006, 2 (2): 46-64.
- [3] 王培良, 吴小红, 许力. 一种人工情感及行为策略模型的有限自动机实现[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26 (2): 36-39.
- [4] Thomas J, Ray D, Darren W. Reducing the effect of email interruptions on employees[J]. International Journal of Information Management, 2009(23): 55-65.
- [5] Dyer M G. A society of ideas on cognition: review of Marvin Minsky's The Society of Mind[J]. Artificial Intelligence, 1991, 3(48): 321-334.
- [6] Push Singh, Thomas Lin, Erik T Mueller, et al. Open mind common sense: knowledge acquisition from the general public[C]// Proceedings of AAAI Spring Symposium. Palo Alto, CA: AAAI, 2002.
- [7] Hugo Liu, Ted Selker, Henry Lieberman. Visualizing the affective structure of a text document[C]// Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems, Lauderdale, FL, USA: ACM, 2003: 740-741.

作者简介:

于冬梅 女, (1975-), 博士, 讲师. 研究方向为人工智能、模式识别和情感计算。

(上接第 160 页)

以让管理人员动态直观地了解当前网络的接收状况,而且可以及时地反馈客户端的控制信息,在不过多占用控制带宽前提下减小客户端发送 RTCP 控制信息的间隔,提高服务器端对客户端控制信息的响应速度,保证了合适的自适应视频码流的播放流畅,使 IPTV 直播系统具有良好的用户体验。

参考文献:

- [1] ITU-T FG IPTV. FG IPTV-ID-0042. Proposal on IPTV definition [S]. Geneva: Focus Group on IPTV, 2006.
- [2] Robins M. Delivering optimal quality of experience (QoE) for IPTV success [J]. Sprint Communications, 2006(1): 4-15.
- [3] Holbrook H, Cain B. Source-specific multicast for IP [S]. IETF draft-ietf-ssm-arch-07. txt. 2005..
- [4] 李燕灵, 马瑞芳, 左力. 基于 RTP/RTCP 的实时数据传输模型与及实现[J]. 微电子学与计算机, 2005: 138-140.
- [5] Chesterfield J, Ott J, Schooler E M. RTCP Extensions for Single-Source Multicast Sessions with Unicast Feedback [S], Internet draft, IETF draft-ietf-avt-rtcpssm-13. txt, 2007.
- [6] Chesterfield J, Scholar E M. An extensible RTCP control framework for large multimedia distributions [S], 2003.
- [7] 方新勇, 马瑞芳, 刘萍芬, 等. 基于 RTP 的流媒体传输系统的设计与实现[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24 (11): 183-185.

作者简介:

王玲玲 女, (1984-), 硕士研究生. 研究方向为计算机网络、多媒体网络。