

ACR 下的 IPTV 频道快速切换方法*

肖奕^{1,2}, 罗俊海^{2,3}, 肖志辉²

(1. 西南交通大学 信息科学与技术学院, 成都 610031; 2. 迈普通信技术股份有限公司, 成都 610041; 3. 电子科技大学 电子工程学院, 成都 611731)

摘要: 通过研究大规模汇聚路由器 (ACR) 网络结构特点和 IPTV 业务的组播组切换步骤, 提出一种 ACR 下的先复制、后鉴权的频道快速切换方法, 减小了频道切换时延, 提升了用户体验。该方法通过各部分时延的相互覆盖, 并行处理切换步骤, 达到了缩短总时延的目的, 形成频道快速切换。由仿真得到的各关键参数的分布图显示, 与传统的频道切换方法相比, 所述方法进一步减小了频道切换时延, 得到了很好的效果, 同时不需要增加任何额外带宽和设备复杂度。

关键词: 大规模汇聚路由器; 交互式网络电视; 组播; 频道切换

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)10-3757-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.10.039

Fast channel zapping scheme for IPTV on ACR

XIAO Yi^{1,2}, LUO Jun-hai^{2,3}, XIAO Zhi-hui²

(1. School of Information Science & Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. Maipu Communication Technology Co. Ltd, Chengdu 610041, China; 3. School of Electronic Engineering, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: This paper presented an improved method based on large-scale access convergence router (ACR) with thinking both the character of ACR network and channel change process of IPTV, which reduced the zapping delay and advance the QOE. By dealing with zapping processes at one time, the new method had the sum of all parts of delay shortened. The distribution curves of some key parameters by simulation show that the proposed method achieves the shorter channel zapping time compared with traditional method, and without increasing bandwidth consumption and complication of network equipments.

Key words: ACR; IPTV; multicast; channel zapping

0 引言

IPTV (交互式网络电视) 是一种通过 IP 网络将数字化内容提供给用户的宽带视频应用。其主要包括直播、点播、时移电视三种业务, 同时能根据用户的选择配置可视 IP 电话、互联网浏览、电子邮件, 以及多种在线咨询、娱乐、教育及商务功能。在网络 IP 化趋势日益明显的今天, IPTV 作为一项新型增值业务, 正逐渐成为三网融合领域的重要切入点。

由于 IPTV 业务对网络环境的要求很高, 为了 IPTV 业务的顺利开展, 其承载网和接入网与现有的 IP 网络相比应具有更高的性能。大规模汇聚路由器 (ACR) 是国家“十五”“863”计划中“高性能宽带信息网 (3Tnet)”的子课题。作为常规大容量高性能核心路由器, ACR 扩展支持 6 万用户, 并能够保证每个用户 40 Mbps 的带宽。其同时具备的宽带组网功能和大规模用户的汇聚功能, 将对 IPTV 业务起到强有力的支撑作用^[1]。容易看出, ACR 网络结构和 IPTV 的结合能够更好地满足 IPTV 的业务要求并充分发挥 ACR 网络的优势。因此, ACR 下的 IPTV 技术的研究也就成了必须要解决的问题。

ACR 主要由 ACR 交换主机 (ACR-S)、基于以太网传输接

口的分合路器 (Ethernet multiplexe-demultiplexer, EMD) 和远端接口单元 (remote interface unit, RIU) 组成, 采用宽带多媒体网关作为用户接入设备, ACR 总体结构如图 1 所示。

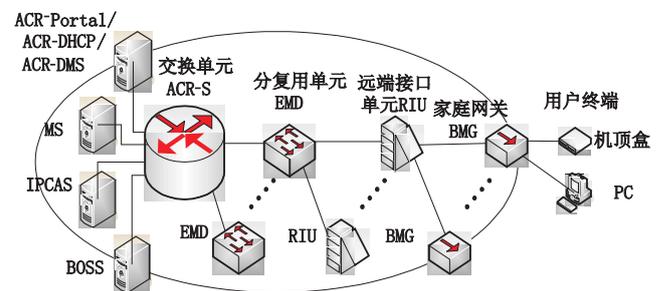


图1 ACR总体结构图

由图 1 可以看出, ACR 的网络结构更直接, 较现有网络更适合于开展 IPTV 等组播业务。图中整个 ACR 结构主要由 EMD 设备进行前后连接。ACR-S 经 10 Gbps LAN 由 EMD 前端的 10G 模块, 下接 EMD 后端的 4 路 1000M 模块, 最终通过 RIU 到 BMG 家庭网关并达到单个用户 1 Gbps 带宽。其提供的 10 Gbps 的带宽可以满足 20 路 HDTV、80 路 SDTV 和千余路 VOD^[2]。

收稿日期: 2012-01-16; 修回日期: 2012-03-07 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61001086); 中央高校基本科研业务费资助项目 (ZYGX2011X004)

作者简介: 肖奕 (1988-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为网络通信技术 (394640527@qq.com); 罗俊海 (1980-), 男, 副教授, 硕导, 博士, 主要研究方向为传感网、物联网技术; 肖志辉 (1970-), 男, 高级工程师, 网络架构规划师, 博士。

1 相关研究

仅仅是通过 ACR 对 IPTV 网络环境的改造还不足以克服其现有的困境。与传统电视相比, IPTV 业务频道切换时间较为缓慢, 逐渐成为 IPTV 业务开展的瓶颈问题。ITU 组织同样把频道切换时延作为 IPTV 业务的 QOE 要素之一, 并定义了 $\leq 2\text{ s}$ 的标准^[3]。在当前 IPTV 业务中, 如果使用 MPEG-2 编解码技术, 其频道切换的时延将达到 1 s 左右, 当使用 H. 264/MPEG-4 AVC 更是长至 2 s 左右。而 O'Neil^[4] 针对 ITU 给出的 QOE 频道切换时延问题的 MOS 模型研究指出, 切换时延需要达到 0.43 s 的上限才能满足用户的收看体验。在 ACR 的网络环境下, 频道切换过慢的问题仍然存在, 如果不能很好地控制切换时延, 将严重影响 IPTV 业务的推广。

目前, 组播技术在业内已经得到了认可, 并应用于 IPTV 业务。在 IPTV 业务中, 每个 IPTV 频道都是一个组播组, 并分配唯一的组播地址。所谓的频道切换, 可以看做是组播组的离开和加入的过程。在 IPTV 网络中, IGMP 协议通常作为与用户端交互的唯一协议, 而 PIM-SM 协议也在三层网络中广泛使用。

近年来提出的减小 IPTV 频道切换时延的方法主要分为三类: a) 通过在核心网络增加服务器, 用单播技术向终端直接传输临时数据, 从而避免加入组播组的报文交互步骤, 达到快速充满缓冲区, 从而完成切换的效果, 如文献[5, 6], 但缺点是成本很高, 并要求 STB 等终端设备能够同时处理单播临时数据和后续的组播数据, 增加了终端设备的复杂度; b) 通过改进视频解码技术或者 RTP 实时传送协议来减少解码时延, 如文献[7~13], 但相对解码标准和缓冲时延, 其效果并不明显; c) 本类方法的核心思想是预加入机制, 基于对用户习惯的研究, 优化组播数据的结构, 通过同时传递多个频道的组播数据, 使得平均切换时延大大减小。但其切换时延并不稳定, 尤其不适合 IPTV 业务未来的多元化发展, 同时需要占用 1.5~2 倍的带宽资源, 如文献[14~19]。

本文根据 ACR 网络结构特点和 IPTV 业务的组播组切换步骤, 提出一种“先复制, 后鉴权”的频道快速切换方法, 在不增加额外带宽的情况下, 减小了频道切换时延, 提升了用户体验。

2 频道切换

2.1 传统频道切换

频道切换时延主要由: 组播组的离开、加入处理时延, 鉴权认证时延, 解码和缓冲区时延组成。从用户体验的角度分析, 频道的切换从用户离开现有频道的操作开始, 直到新频道的第一幅图像产生, 传统切换流程及流程时延如图 2、3 所示。

在传统切换流程中, 主要包括以下操作步骤:

- a) 机顶盒或者 PC 设备接收到频道切换指令并且解析, 产生一个 IGMP leave 报文, 请求离开频道 A 对应的组播组。
- b) 由上层网络设备将 IGMP leave 报文向上层层转发。
- c) 根据 PIM-SM 协议, 由指派路由器 (designated router, DR) 对组播共享树进行剪枝, 完成离开频道 A 的操作。
- d) 由机顶盒或者 PC 设备产生一个 IGMP join 报文, 请求加入频道 B 对应的组播组。
- e) 将 IGMP join 报文向上送至认证服务器。
- f) 由认证服务器进行鉴权, 并向下层反馈鉴权结果。

g) 根据 PIM-SM 协议, 由 DR 根据反馈信息对加入用户进行嫁接处理, 若有权限, 则将其加入到新组播组。

h) 内容服务器依照新生成的组播树分支, 开始向下复制传输新频道数据。

i) 接入网络对组播数据进行转发至用户网络, 完成组播数据的传输。

j) 用户接收组播数据, 待缓冲区满并且接收到 I 帧等关键解码信息后开始解码, 并输出图像。

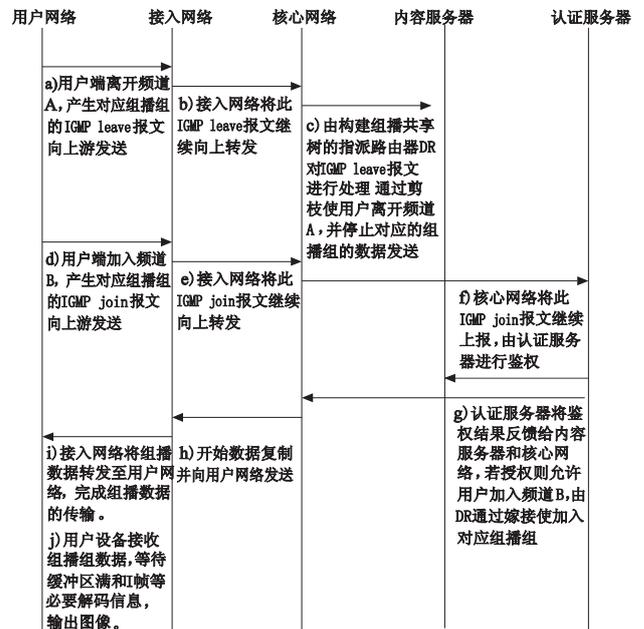


图2 传统切换流程

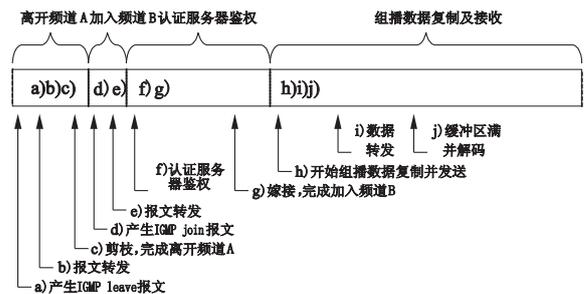


图3 传统切换流程的时延

2.2 新型频道快速切换

以上分析表明, 在进行频道切换的过程中, 接收组播数据, 等待缓冲区满并且接收到 I 帧等关键的解码信息是必须经历的步骤。在该过程中, 解码和缓冲区满所占用的时间将会导致很大的时延, 而且是义务的^[19]。在这些时延中, 切换流程相对停滞, 拖慢了整个切换节奏, 所以需要针对以上切换流程进行改进, 从而实现快速频道切换。

由于解码和缓冲区满的时延较长, 可以通过并行处理其他步骤的方法充分利用其时延, 以减少频道切换的整体时间。于是提出“先复制, 后鉴权”的方法, 使用户终端或接入设备先接收组播数据, 在接收数据的等待时间内, 完成鉴权的过程, 并实现频道切换。其频道切换步骤如下:

- a) 机顶盒或者 PC 设备接收到频道切换指令并且解析, 产生一个 IGMP leave 报文, 请求离开频道 A 对应的组播组。
- b) 由上层网络设备将 IGMP leave 报文向上层层转发。
- c) 根据 PIM-SM 协议, 由 DR 对组播共享树进行剪枝, 完成离开频道 A 的操作。

d)由机顶盒或者 PC 设备产生一个 IGMP join 报文,请求加入频道 B 对应的组播组。

e)由上层网络设备将 IGMP join 报文向上层层转发。

f)核心网络先加入新组播组,并由 DR 完成组播树分支的建立。用户接收数据并等待认证服务器反馈信息。

g)数据服务器依照新生成的组播树分支,开始向下复制传输新频道数据。

h)用户接收组播组数据,并等待缓冲区满并且接收到 I 帧等关键解码信息。

i)将 IGMP join 报文送认证服务器,由认证服务器进行鉴权,并反馈鉴权结果。

j)核心网络跟据鉴权结果对用户进行处理,若授权则向用户发送必要解码信息,解码并输出图像。

切换流程如图 4 所示。

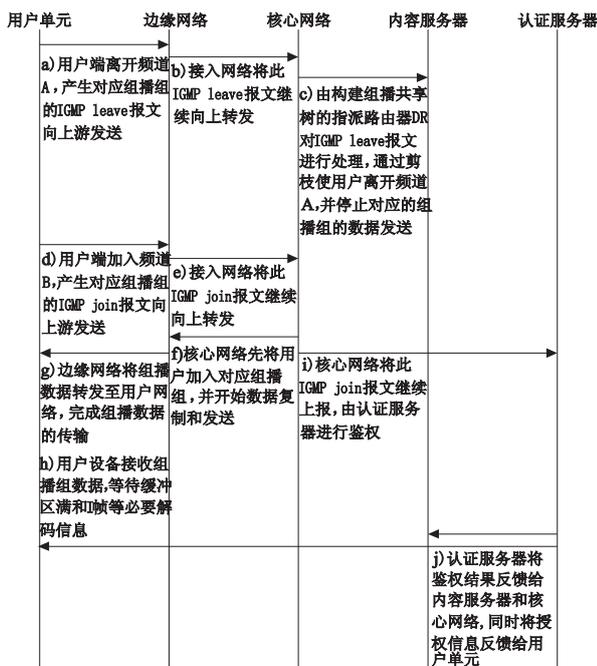


图4 快速切换流程

用伪代码可简要描述如下:

```

begin
    发送 IGMP leave 报文;
    剪枝, 离开频道 A 对应组播组;
    发送 IGMP join 报文;
    if (嫁接成功)
        { 加入频道 B 对应组播组;
          发送组播组数据并上报认证服务器鉴权; }
    接收组播组数据;
    解码准备和等待缓冲区满;
    if (授权)
        { 获取必要解码信息, 开始解码, 输出频道 B 内容; }
end
    
```

上述“先复制,后鉴权”方法的核心思想在于并行处理切换流程中的必需步骤,相比文献[2]中方法,不需要 ACR 网络结构中 EMD 帮助完成鉴权操作,能够完全依照传统鉴权处理由认证服务器操作,从而不需要增加设备的复杂度。只需要在数据传输过程中将某一必要的解码信息作为特征量和其他数据进行分隔传输,并在 RIU 或者终端设备上增加一个等待此特征量的操作,即可协助控制收看权限,避免通过不断换台获

取收看权限。新方法的时延如图 5 所示,图中清晰表明,该方法可以很好地利用等待缓冲区满的时延时间,同步完成用户鉴权的切换步骤,达到减少总时延的效果。当然,运营商也可以将特征量与其他数据同步传输,以允许用户短暂地收看新频道节目(即使没有授权),仅作为节目介绍,并在授权信息到来后做进一步的许可操作。同样,也可以在视频服务器或者 EMD 中存放固定内容,如宣传片、广告等,在此空隙时间用单播或者组播方式下发播放。由于空隙时间很短,这些内容只会占用 EMD 设备中很少的内存空间。该方法同时可以结合其他切换优化技术,如提高缓冲速率和预加入频道方法等,使得整体的提升效果更为明显。

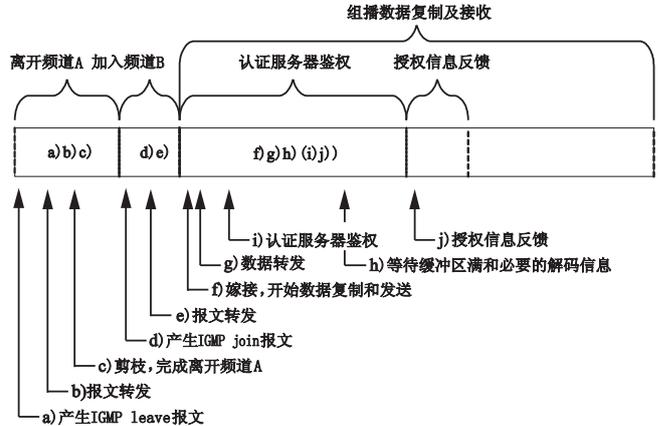


图5 快速切换流程的时延

结合图 3 和 5,定义整个切换过程,即从用户端开始离开频道 A 操作到显示新频道的第一幅画面的总时延为 T_{delay} 。定义从用户端开始离开频道 A 操作,发送 IGMP leave 报文,直至完成剪枝动作离开对应组播组,为用户离开频道 A 的时延,记为 T_{leave} 。同时定义从用户端开始加入频道 B 动作,发送 IGMP join 报文,直至完成鉴权,加入频道 B 对应组播组并开始接收组播数据,为加入频道 B 时间,记为 T_{join} 。这里将离开和加入时间统一为 $T_{leave-join}$,即 $T_{leave-join} = T_{leave} + T_{join}$ 。同理,定义鉴权时延为 $T_{certify}$ 、缓冲和解码时延为 $T_{buffer-encode}$ 、等待授权信息时延为 T_{wait} 。

在传统频道切换中的总时延为

$$T_{delay} = T_{leave-join} + T_{certify} + T_{buffer-encode}$$

所造成的时延是用户不可接受的。而由图 5 可知,在快速频道切换中的总时延为

$$T_{delay-fast} = T_{leave-join} + T_{fast}$$

其中:

$$T_{fast} = \begin{cases} T_{buffer-encode} & ((T_{certify} + T_{wait}) \leq T_{buffer-encode}) \\ T_{certify} + T_{wait} & ((T_{certify} + T_{wait}) > T_{buffer-encode}) \end{cases}$$

则提升效率 $N = 1 - \frac{T_{delay-fast}}{T_{delay}}$ 。

3 仿真分析

本文通过 MATLAB 进行仿真,进一步对该快速切换方法进行性能分析。通常,终端设备反应时间为 5 ~ 10 ms 左右,远远小于总时延(500 ms 以上),此处忽略不计。网络时延的典型值为 100 ~ 200 ms (包括报文处理所占用时间和网络延迟)^[6,20]。而缓冲区满和解码时间通常为 0.5 ~ 1 s,鉴权时间可大致参考网络时延^[20],典型值可取为网络时延的中间值 150 ms。这里认为 $T_{leave-join}$ 和 $T_{buffer-encode}$ 都遵循均匀分布,则在传

统切换方法和快速切换方法下, 切换延迟 T_{delay} 为图 6(a) ~ (c) 所示, 切换延迟 $T_{\text{delay-fast}}$ 的分布如图 6(d) 所示。

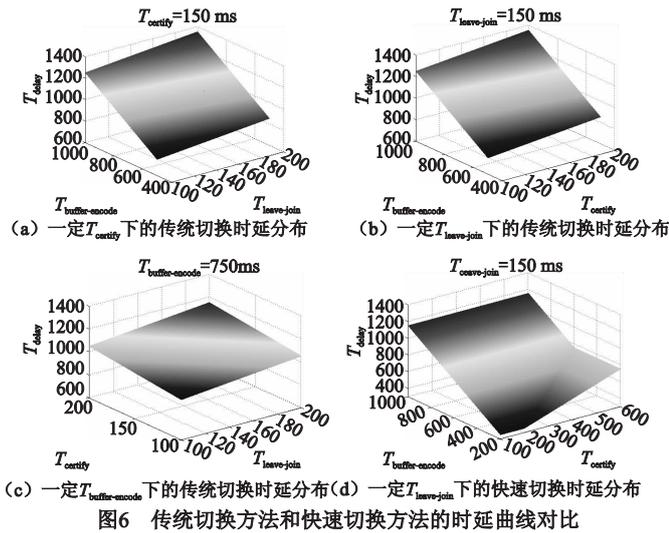


图6 传统切换方法和快速切换方法的时延曲线对比

由图 6(a) ~ (c) 可知, 在传统切换方法中, 其时延变化是逐渐上升的平面。对比三个图, $T_{\text{buffer-encode}}$ 在总时延 T_{delay} 中所占比重较大, 但另外两参数 $T_{\text{leave-join}}$ 和 T_{certify} 对总体时延影响相对较小。究其结果为单纯的各部分时延的叠加, 完全受制于各组成部分的分布大小, 而在快速切换时延分布中, 总时延相比传统切换方法有明显减小 (对比图 6(b) 和 (d)), 并在大部分区域保持总时延不变, 掩盖了参数变化带来的影响, 体现了快速切换时延的优势。同时, 减小传统方法下的切换时延只能依靠减小所有或某一参数的大小, 其必然要求牺牲某些业务指标 (如带宽、视频效果、设备成本等) 以换取更流畅的浏览体验。相比之下, 本文方法能够通过各部分时延的相互覆盖, 达到缩短总时延的目的, 而不依靠多余带宽或设备的支持。

根据公式 $N = 1 - T_{\text{fast-delay}}/T_{\text{delay}}$, 可以得出快速切换方法相对于传统切换方法的提升效率。这里需要说明的是, 从新的切换流程和对总时延的影响上分析, 快速切换方法并不特别关心参数 $T_{\text{leave-join}}$ 的大小, 所以取 $T_{\text{leave-join}}$ 的均值作图。图 7 所示为参数 $T_{\text{leave-join}}$ 一定时的快速切换方法提升效率 N 。由图可知, 相比传统切换方法, 快速切换方法在大部分区域对总时延都有一定提高 (8% ~ 44%), 在某些区域显示时延有明显减小, 尤其在 $T_{\text{certify}} + T_{\text{wait}} = T_{\text{buffer-encode}}$ 时达到最好效果。由上文所述各参数典型值可知, 在典型值区域中 ($T_{\text{leave-join}} = 150 \text{ ms}$, $T_{\text{certify}} = 100 \sim 300 \text{ ms}$, $T_{\text{buffer-encode}} = 500 \sim 1000 \text{ ms}$), 快速切换方法的提升效率为 8% ~ 32%。

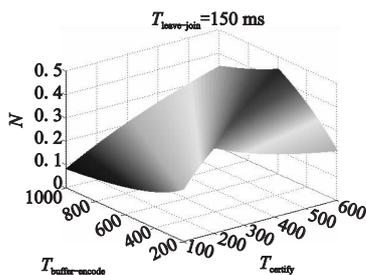
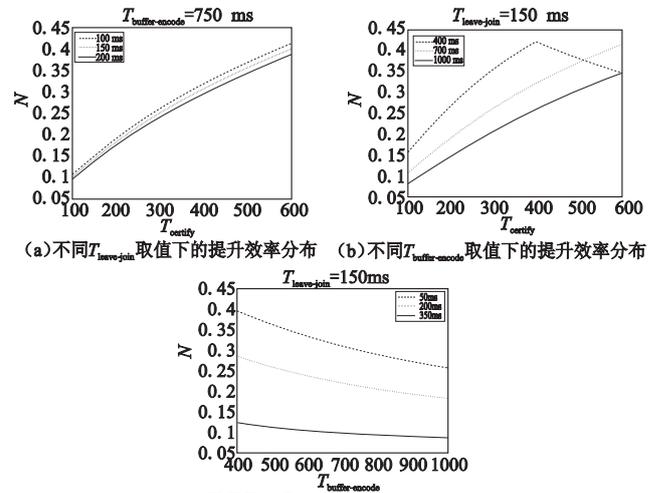


图7 快速切换方法提升效率

图 8 则更进一步地分析了各个参数变化下的提升效率分布。由图 8(a) 可以看出, 由于 $T_{\text{buffer-encode}}$ 在总时延中占有比重相对较大, 参数 $T_{\text{leave-join}}$ 的不同取值所导致的提升效率相差很小, 提升效率曲线随 T_{certify} 的增大而逐渐提高。相比之下, 图 8(b) 中参数 $T_{\text{buffer-encode}}$ 的不同取值所导致的提升效率相差较大,

各曲线间距较远。提升效率曲线随 T_{certify} 的增大而逐渐提高, 并在 $T_{\text{buffer-encode}} = 400 \text{ ms}$ 曲线中出现拐点, 其原因为参数 ($T_{\text{certify}} + T_{\text{wait}} > T_{\text{buffer-encode}}$), 某些影响 (网络时延过大、鉴权认证过缓、缓冲和解码准备的快速完成) 导致缓冲和解码准备时延没有完全掩盖认证鉴权所占用的时延, 使得在快速切换方法中相对提升效果有所下降。而图 8(c) 中显示, 在参数 $T_{\text{leave-join}}$ 一定的情况下, 参数 T_{certify} 取值越大带来的提升效率相对越高, 且由于 $T_{\text{buffer-encode}}$ 相对比重较大, 提升效率随着 $T_{\text{buffer-encode}}$ 的增加而逐渐递减。同时表明, 结合其他方法减小缓冲区满和解码准备时延, 可以使得本文快速切换方法达到更好的效果。



(a) 不同 $T_{\text{leave-join}}$ 取值下的提升效率分布 (b) 不同 $T_{\text{buffer-encode}}$ 取值下的提升效率分布

(c) 不同 T_{certify} 取值下的提升效率分布
图8 各参数变化下的提升效率分布

从上述分析可以看出, 快速切换方法的优点是在不消耗额外的带宽或者增加设备复杂度的情况下减小了切换时延, 对视频效果也没有任何影响。同时, 本文方法可以和其他方法相互配合, 进一步减小时延, 提升用户体验。

4 结束语

本文提出了一种 ACR 下“先复制, 后鉴权”的快速频道切换方法。该方法结合 ACR 网络结构, 通过频道切换过程的分析, 形成新的快速切换步骤。从用户体验的角度, 减少了 IPTV 业务的频道切换时延, 同时不需要增加任何额外带宽, 仿真证明带来了很好的效果。下一步研究将在该方法基础上, 对组播数据转发作适当改进, 适应 IPTV 业务点到点的数据传播特征, 进一步优化频道切换时延和组播数据传输。

参考文献:

- [1] 汪斌强, 郭江兴. 基于 IPv6 的大规模接入汇聚路由器的设想与实现[J]. 电信科学, 2006, 22(1): 5-9.
- [2] 王敏强, 刘勤让, 汪斌强. 大规模汇聚路由器支持 IPTV 业务的关键技术研究[J]. 电信科学, 2007, 23(4): 54-57.
- [3] ITU-T. Recommendation J. 144: objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference, TR75-2001 [R]. 2004.
- [4] O'NEIL T M. Quality of experience and quality of service for IP video conferencing[R]. Milpitas, CA: Polycom Video Communications, 2002.
- [5] BEGEN A C, GLAZEBROOK N, Ver STEEG W. A unified approach for repairing packet loss and accelerating channel changes in multicast IPTV[C]//Proc of the 6th IEEE Conference on Consumer Communications and Networking. 2009: 417-422.

- [6] ZHU Ying-nan, LIU Wei, DONG Li-na, *et al.* High performance adaptive video services based on bitstream switching for IPTV systems [C]//Proc of the 6th IEEE Conference on Consumer Communications and Networking. 2009;428-432.
- [7] JOO H, SONG H, LEE D B, *et al.* An effective IPTV channel control algorithm considering channel zapping time and network utilization [J]. *IEEE Trans on Broadcast*, 2008, 54(2) :208-216.
- [8] JENNEHAG U, PETTERSSON S. On synchronization frames for channel switching in a GOP-based IPTV environment[C]//Proc of the 5th IEEE Conference on Consumer Communications and Networking. 2008 : 638-642.
- [9] JENNEHAG U, ZHANG T, PETTERSSON S. Improving transmission efficiency in H. 264 based IPTV systems[J]. *IEEE Trans on Broadcast*, 2007, 53(1) :69-78.
- [10] JENNEHAG U, ZHANG T. Increasing bandwidth utilization in next generation IPTV networks [C]//Proc of International Conference on Image Processing. 2004;2075-2078.
- [11] Cisco visual quality experience whitepaper, delivering video quality in your IPTV deployment[R]. 2006.
- [12] CAJA J. Optimization of IPTV multicast traffic transport over next generation [C]//Proc of the 12th International Telecommunicationg Network Strategy Planning Symposium. 2006;1-6.
- [13] YOUNG G O. Synthetic structure of industrial plastics (Book style with paper title and editor) [M]. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1964;15-64.
- [14] LEE J, LEE G, SEOK S, *et al.* Advanced scheme to reduce IPTV channel zapping time[C]//LNCS, vol 4773. Berlin: Springer-Verlag, 2007;235-243.
- [15] KIM Y, PARK J K, CHOI H J, *et al.* Reducing IPTV channel zapping time based on viewer's surfing behavior and preference [C]// Proc of IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. 2008;1648-1653.
- [16] LEE Y, LEE J, KIM I, *et al.* Reducing IPTV channel switching time using H. 264 scalable video coding[J]. *IEEE Trans on Consumer Electronics*, 2008, 54(2) :912-919.
- [17] ITU-T Focus Group. Consideration on channel zapping time in IPTV performance monitoring, ITU-T FG IPTV-C-0545[R]. 2007.
- [18] FUCHS H, FARBER N, FRAUNHOFER I I S, *et al.* Optimizing channel change time in IPTV applications [C]//Proc of IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. 2008;1-8.
- [19] LINK Kan, SUN Wei-qiang. Switch delay analysis of a multi-channel delivery method for IPTV [C]//Proc of the 4th IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications. 2008;471-476.
- [20] LLORET J, GARCIA M, ATENAS M, *et al.* A QoE management system to improve IPTV network [J]. *International Journal Communications Systems*, 2011, 24(1) :118-138.
- [21] CHA M, GUMMADI K, RODRIGUEZ P. Channel selection problem in live IPTV systems [C]//Proc of ACM SIGCOMM Poster. 2008.
- [22] UZUNALIOGLU. Channel change delay in IPTV systems [C]//Proc of the 6th IEEE Conference on Consumer Communications and Networking. 2009.
- [23] 罗斯青. 一种改进的 IPTV 快速频道切换技术方案 [J]. *电信科学*, 2007, 23(10) :22-25.