

# 时移 IPTV 系统的设计和服务质量评估

沈 韬 陈寅寅 吴子云

(浙江机电职业技术学院, 杭州 310053)

**摘 要** 提出了一个 IPTV 解决方案, 以解决如下典型环境的时移服务问题: 基于专用的 IPTV 网络, 播放终端性能有限, 存在大量用户进行高互动性操作。同时又创造性地提出了时移 IPTV 系统服务质量评估体系, 并以此为依据对时移 IPTV 系统进行设计和评估。该解决方案已经在上海投入试运行, 商用部署的测试数据表明系统在大并发条件下能够提供高质量的时移服务。

**关键词** IPTV 时移 服务质量

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)10-1975-04

## Providing Quality Affordable Time-shifting Services in Live IPTV Systems

SHEN Tao, CHEN Yin-yin, WU Zi-yun

(Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Hangzhou 310053)

**Abstract** Time-shifting is expected to be a popular core feature of IPTV systems because of its ability to enable users to personalize their TV channels. Here we propose a quality affordable IPTV time-shifting solution to what is often the most demanding situations; the combination of the limited power of end-user equipments and highly interactive users on a dedicated close network. Extensive empirical evaluations based on first-hand accounts of deployment experiences as well as theoretical analysis are given. Evaluation results show that the system offers good quality of time-shifting service in high-concurrency environment.

**Keywords** IPTV, time-shifting, quality of services

## 1 引 言

IPTV (internet protocol television)<sup>[1]</sup> 从 2005 年开始盛行, 它给传统电视带来了互动功能和个性化服务的革命<sup>[2]</sup>。在所有 IPTV 服务中, 时移被视为一个核心功能。时移使用户可以对直播电视频道进行暂停, 快进, 快退, 回放等操作。商用服务器部署的经验告诉人们, 用户把时移看成 IPTV 与传统电视首要的区别。

时移服务虽然广受瞩目, 但对于时移 IPTV 服务器的设计和性能的研究文献尚少。当前 IPTV 市场由电信公司主导。电信公司一般部署专用网络来

提供 IPTV 服务。现有研究大多着眼于 IPTV 网络的优化问题, 而忽视了作为 IPTV 核心的时移功能的服务质量研究。

基于上述现状, 本文介绍了作者设计和评估的时移 IPTV 系统的经验。首先, 提出了时移服务质量的评估体系; 然后介绍了设计的 Clear Streaming 时移 IPTV 系统; 最后使用真实的电视节目对实际部署的时移 IPTV 系统的服务质量进行评估, 从而揭示了系统设计的权衡问题。

## 2 时移服务质量的评估体系

基于电信公司一般建设专网来部署 IPTV 系统这一事实, 可以把研究重点放在时移服务质量本身,

而非网络优化问题。本文把时移 IPTV 的服务质量评估问题归结为以下 3 个方面:

### 2.1 服务器响应时延

在大量的 IPTV 并发客户端负载下,服务质量的一个重要考察指标是服务器对时移操作的响应时延。由于有专用的骨干网来支持 IPTV 业务流传输,所以网络本身的时延并不是问题。所以需要关注的是以下的几个时延指标:

(1) 预缓冲时延:系统需要降低机顶盒的初始播放的预缓冲时延,同时保证随后的视频质量符合要求。

(2) 快进快退时延:主要考察视频关键帧的准确定位时间和传输时延。

(3) 回看时延: IPTV 用户通常就会很迫切地把播放点定位到他感兴趣的时间点,这时用户对于响应时间是异常敏感的。

### 2.2 码流速率和缓冲区的约束

服务器在处理成千上万的客户端时移请求时,需要充分利用视频码流的传输特点和机顶盒缓冲区大小,有效保证媒体流以一种对网络和客户端资源最佳利用率的形式到达解码器,从而提升服务质量。

设  $D_i(t)$  和  $A_i(t)$  为客户端  $i$  从服务器接收到的累计数据量,在时间间隔  $[0, t]$  内设  $b_i$  为客户端  $i$  缓冲区大小,  $c$  为 IP 网络带宽限制。设  $d_i(t)$  客户端  $i$  在时间点  $t$  消耗的数据总量,  $a_i(t)$  为客户端在  $i$  时刻

的码流传输计划速率。有了以上的定义,描述客户端码流的速率和缓冲区约束如下:

$$\begin{cases} D_i(t) = \sum_{j=t_k}^t d_i(j) \\ A_i(t) = \sum_{j=t_k}^t a_i(j) \\ a_{t_k} = d_{t_k} = 0 \\ D_i(t) \leq A_i(t) \leq D_i(t) + b_i (\forall t \geq 0) \\ a_i(t) \leq c \end{cases}$$

式中,  $t_k$  是时移操作发生的时间点,所以在  $t_k$  时刻客户端缓冲区被清零。

### 2.3 支持的并发用户数

商用 IPTV 服务器系统是为了大量同时并发的客户端而设计部署的。因此,所有的并发客户都必须满足 2.1 和 2.2 节的服务质量指标。从服务器端视图看,大量的并发流争夺 CPU 资源,网络 I/O 等资源。从单一客户端的角度看,其他的并发客户实际上是一些干扰流。所以,考察 IPTV 服务器接近满载的时候每条业务流的服务质量显得尤为重要。

## 3 Clear Streaming 的设计思想

根据上一节的服务质量评估原则,设计研发了 Clear Streaming 时移 IPTV 系统,如图 1 所示。

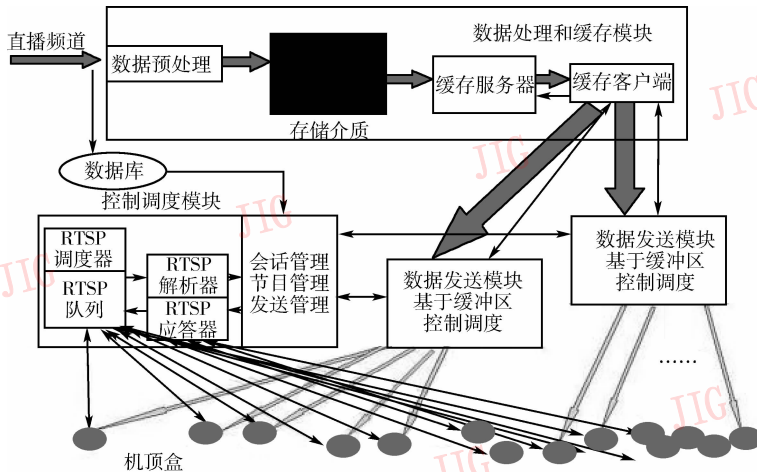


图 1 Clear Streaming 架构图

Fig. 1 Clear Streaming system architecture

Clear Streaming 的设计遵循以下思想:

(1) 并发控制模块和时移业务模块解耦。时移业务模块进一步分为 3 个子模块:数据预处理,数据缓存<sup>[3]</sup>,数据发送。模块间解耦使对每个模块进行

优化成为可能。

(2) 通过对每个模块的需求分析,为每个模块单独设计针对性的调度算法来优化系统性能。

(3) 使整个系统易于实现。IPTV 是一个应用而

非单纯的理论,所以,设计必须让系统易于实现和部署,而非一味地追求性能最优。

### 3.1 单业务流传输优化

图 2 描述了 Clear Streaming 如何在一个业务流的生命周期内保证其服务质量:一个频道的最优传输计划  $Ref_i(t)$  由数据预处理模块<sup>[4]</sup>生成。发生时移操作时,各个业务流对  $Ref_i(t)$  进行平移和调整生成新的发送计划  $Ref'_i(t)$ ,并不断的调整实际发送速率  $Act'_i(t)$  使之吻合  $Ref'_i(t)$ 。

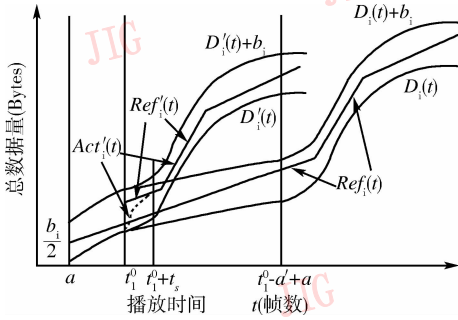


图 2 数据发送计划生成和调整

Fig. 2 Transmission plan enforcement and recapture

### 3.2 多业务流传输优化

为了保证 3.1 节的单流优化算法在大量并发下能很好地发挥作用。设计了一个多并发流的轮询调度算法 Clear Schedule,伪代码如下:

Algorithm 1 Clear Scheduling

- 1: WHILE the server is running DO
- 2: Set look\_begin = current system time;
- 3: FOR each session DO
- 6: Calculate current reference transmission progress Ref;
- 7: Get current actual transmission progress Act;
- 8: Err = Ref - Act;
- 9: ErrIntegral = ErrIntegral +  $K_s$  \* Err;
- 10: Total Err = ErrIntegral +  $K_e$  \* Err
- 11: Set Total Err as the transmission plan in the next time interval;
- 12: Send data according to the transmission plan;
- 13: Set loop\_end = current system time;
- 14: IF loop\_end - loop\_begin < VTU THEN
- 15: Sleep for VTU - (loop\_end - loop\_begin).

该算法借鉴控制理论的反馈系统<sup>[5]</sup>来克服大并发条件下 IPTV 时移服务的系统误差。算法简述如下:首先为所有会话生成令牌,令牌以虚拟时间单位在会话间传递,获得令牌的会话在单位时间内允许发送数据。在令牌的占有时间内,由反馈控制器生成下一虚拟时间单位的发送计划(参见伪代码第

10 行)。由参照发送速率 (Ref) 和实际速率 (Act) 计算本轮发送误差 (Err) 进而计算累计误差 (TotalErr),把累计误差作为下一轮的发送数据量。伪代码中 ErrIntegral 初始值为 0,  $K_e$  是当前误差参数,  $K_s$  是系统误差参数, VTU 是算法的虚拟时间单位。

## 4 Clear Streaming 性能测评

选取了实际的电视节目源对 CSS (Clear Streaming Server) 的服务质量进行测评。为了便于并发测试和数据收集,开发了 Multi-STB 工具。

Clear Streaming 服务器为如下配置: Intel Xeon (HT) 3.0GHz 双 CPU, 16GB 的内存和 1Gbps 的网卡。选取了平均码率为 2.14Mbps 的 MPEG-4 码流为测试源。服务器的负载压力由如下两个变量描述:并发数和时移操作 (TSR) 频率。TSR 频率用 TSRs/s 表示,即每秒到达服务器的 TSR 数目。用诸如“STB [002]”来标识不同的模拟机顶盒,用“FF2”,“BF4”,来分别表示 2 倍速快进和 4 倍速快退。

### 4.1 响应时延

如图 3 所示 Clear Streaming 在各种负载条件下都能对时移操作做出快速响应,平均时延为 150ms,最大时延小于 500ms。相比于需要十几秒以上预缓冲的 Internet 网上的视频点播直播系统, Clear Streaming 的零缓冲机制充分满足了 IPTV 用户对响应时延的要求。

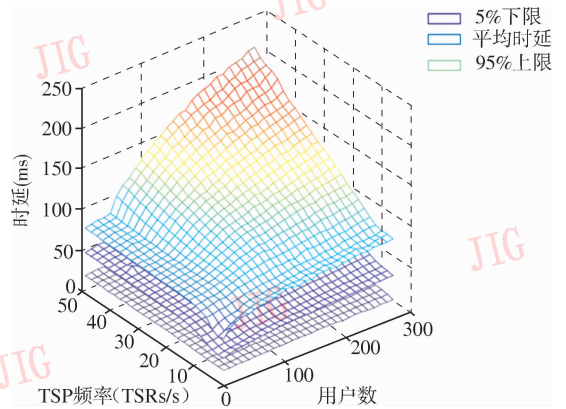


图 3 响应时延分布图

Fig. 3 The response-delay histogram

### 4.2 客户端码流速率情况

图 4 描述了在不同负载下,某个机顶盒进行频率为 4.5TSRs/s 的时移操作,其对应频道在网络中

码率的分布。

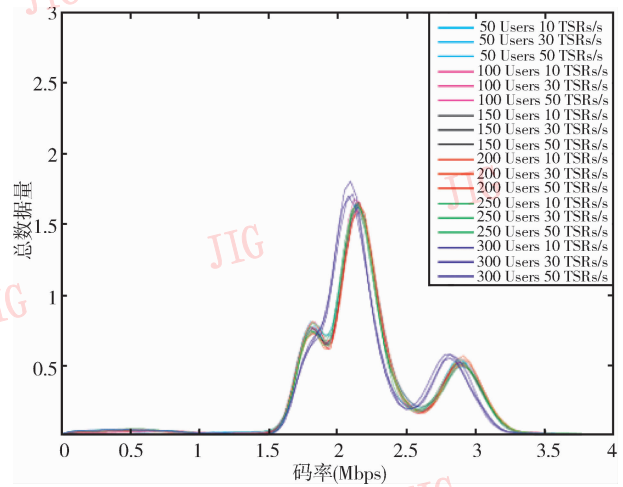


图 4 网络中一个频道的码流概率分布图

Fig. 4 The rate distribution of one channel

可以看出,该频道码率在 2.5Mbps 到 3Mbps 之间有一个显著分布。这表明, Clear Streaming 识别频繁的 TSR 操作并充分利用了网络可用带宽(一般为 3~5Mbps),对数据的发送策略进行主动调整,以此维持缓冲区有足够的的数据量应对可能发生的网络可用带宽波动。

### 4.3 客户端缓冲区变化情况

图 5 描述了不同负载下,某个机顶盒缓冲区数据量的统计分布。从图 5 可以看出,在没有时移操作时,机顶盒缓冲区数据量始终保持在 2M 左右(注意到缓冲区容量是 4MB)。

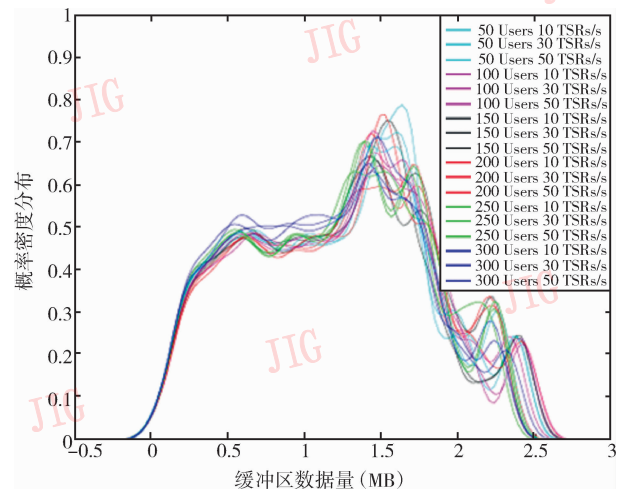


图 5 机顶盒缓冲区数据量概率分布图

Fig. 5 The buffer occupancy distribution of single STB

在 TSR 操作时间点附近,由于缓冲区要清零,数据量会下降到 0 到 1MB 之间,然而由于 Clear Streaming 速率控制机制的作用,缓冲区数据量会很快自动增长到预定的半满状态并稳定。

缓冲区数据在整个会话周期都没有违反 2.2 节所描述的约束条件,即保证了客户端有足够的数据保持播放流畅的同时也没有造成数据的丢失。客户端缓冲区数据有效控制在半满状态,大大增加了服务器应对复杂网络条件的鲁棒性。

## 5 结 论

本文首先提出了 IPTV 时移服务质量的评估指标体系,主要包括以下 3 个方面:响应时延,码流速率和缓冲区约束,并发数;其次,设计了 Clear Streaming 时移服务器系统。该系统针对时移服务的特性设计了特有的体系结构,此方案在电信级部署中取得了良好的效果;最后,使用真实的节目源和 IPTV 系统,开创性地对时移服务器进行了性能测试和评估。

IPTV 时移服务的用户行为分析是后续值得研究的课题,即如何设计一个框架体系来评估用户的满意度。

## 参考文献 (References)

- 1 Alfonsi B. I want my IPTV: internet protocol television predicted a 'winner' [J]. IEEE Distributed Systems Online, 2005, 6(2): 95 ~ 96.
- 2 Xiao Y, Du X, Zhang J, *et al.* Internet Protocol Television (IPTV): The killer application for the next-generation internet [J]. IEEE Communications Magazine, 2007, 45(1): 126 ~ 134.
- 3 Huang Cheng, Zhu Chen-jie, Li Yi, *et al.* Dedicated disk I/O strategies for IPTV Live streaming servers supporting timeshift functions[A]. In: Proceedings of IEEE 7th International Conference on Computer and Information Technology[C], Tokyo, Japan, 2007: 333 ~ 338.
- 4 Ye De-jian, Barker Cam, Xiong Zi-xiang, *et al.* Wavelet-based smoothing of VBR video traffic [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2004, 6(8): 611 ~ 623.
- 5 Franklin G, Powell J, Emami-Naeini A. Feedback Control of Dynamic Systems [M]. New York, NY USA: Addison-Wesley, 1995: chapter 6.