

# 一种基于 TCPW 的流媒体端到端拥塞控制方法

金崇奎 王嘉 宋利

(上海交通大学电子工程系图像通信与信息处理研究所, 上海 200240)

(上海交通大学上海市数字媒体处理与传输重点实验室, 上海 200240)

**摘要** 由于网络的时变性和异构性,流媒体系统往往不能很好地适应网络带宽的变化。为此,结合 Darwin streaming server(DSS)的源代码对其拥塞控制方法进行分析,同时运用 TCP Westwood(TCPW)的带宽估计算法来改进 DSS 的拥塞控制策略,并搭建了实际的视频流传输系统对该策略进行验证。实验结果表明,改进后的拥塞控制策略不仅能有效地提高接收端的视频质量,而且带宽利用率也有明显的提高。

**关键词** 拥塞控制 TCPW 实时视频流系统 达尔文流媒体服务器

中图法分类号:TP301.6 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)10-1959-04

## An End-to-end Congestion Control Strategy for Streaming Media Based on TCPW

JIN Chong-kui, WANG Jia, SONG Li

(Institute of Image Communication and Information Processing, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

(Shanghai Key Laboratory of Digital Media Processing and Transmissions, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

**Abstract** Due to time-variable and heterogeneous network, streaming media system always can not adapt to the network bandwidth well. Based on analyzing the strategy of congestion control of Darwin Streaming Server, using TCP Westwood to estimate the bandwidth, an improved congestion control strategy is proposed in this paper and validated in a real-time video transport system. Experimental result shows that the improved strategy not only improves the video quality in the receiver, but also improves the bandwidth utility.

**Keywords** congestion control, TCP Westwood(TCPW), real-time video streaming system, darwin streaming server

## 1 引言

在实时流媒体应用中,现有的时变网络以及异构网络的情况下,带宽波动、延迟抖动和丢包现象使得 QoS(服务质量)无法得到保证。当传输速率高于网络带宽时会发生网络拥塞造成突发的丢包和延时过大,但如果媒体流传输速率低于网络可用带宽又无法有效地利用网络资源。拥塞控制技术就是要对网络可用带宽进行估计,使得媒体

流既能有效地利用网络带宽又能保证 TCP(传输控制协议)友好。现有的拥塞控制机制大多是基于 AIMD(加性增长乘性递减)的拥塞控制算法<sup>[1]</sup>,这种将窗口减半的方法极大地破坏了媒体流的平滑性,很多针对媒体流而设计的改进方案如 TFRC<sup>[2]</sup>, DCCP<sup>[3]</sup>以及 DSS(Darwin stream server)中使用的 Reliable UDP(用户数据包协议)等被证明了能够很好地适应网络带宽的变化,但这些方案共同的缺点是在网络拥塞时往往不能准确地估计网络带宽。为此在 Darwin 的基础上运用 TCP

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(60702044);国家自然科学基金重点项目(60632040)

收稿日期:2008-07-11;改回日期:2008-07-31

第一作者简介:金崇奎(1985~),男。现为上海交通大学通信与信息系统专业硕士研究生。主要研究方向为流媒体传输。

E-mail:kck@sjtu.edu.cn

Westwood<sup>[4]</sup>进行带宽估计来改进其拥塞控制策略,并在实际网络环境中对其进行验证。

## 2 Darwin 拥塞控制策略分析

在 Darwin 的基础上搭建了实时视频流系统,如图 1 所示。DSS 是 Apple 公司商业 QTSS(QuickTime

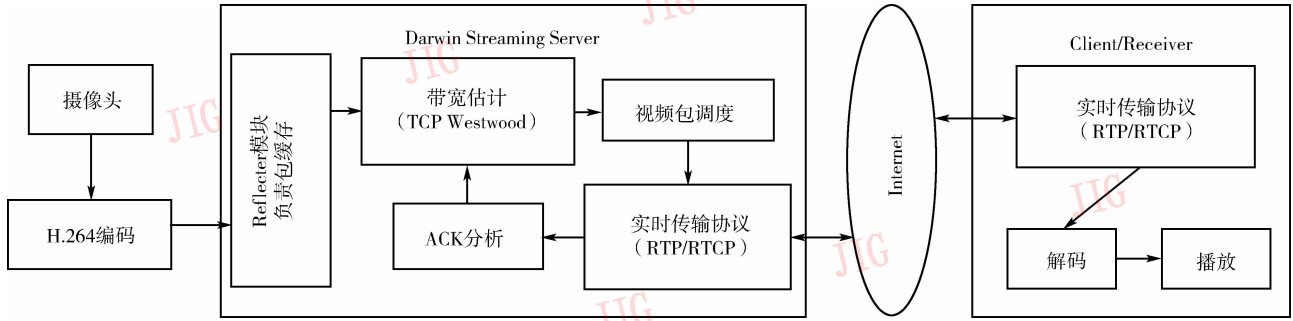


图 1 基于 Darwin 的实时视频流系统

Fig. 1 Real-time video streaming system based on darwin

- (1) 客户端对服务器发出的数据包进行回应;
- (2) 对窗口缓冲和拥挤进行控制,使服务器不超过当前可用的带宽;
- (3) 发生丢包时,服务器向客户重新发送数据;
- (4) 比实时流更快的缓冲机制,称为“over buffering”。

Apple 版本的 RUDP 运用了基于 AIMD 的拥塞控制方式:发送端也像 TCP 一样维持一个拥塞窗口 ( $cwnd$ ),在慢启动阶段,每收到一个 ACK 包, $cwnd$  就增加 ACK 包所确认的字节数,在拥塞避免阶段, $cwnd$  增加 ACK 包所确认的字节数的平方除以拥塞窗口;RUDP 没有用 3 个重复 ACK 包来通知丢包,而是每当 ACK 包超时 (Darwin 中总是等于 250ms) 需要重传时,就把慢启动阈值 ( $ssthresh$ ) 设成  $cwnd$  的  $3/4$ ,并且  $cwnd$  减半。

从上述分析可以看出,RUDP 的基于 AIMD 的拥塞控制方法不能准确估计网络带宽,使得带宽不能有效的利用,而且窗口减半的方式影响视频流的平滑性。

因此,通过对网络带宽的估计来调整拥塞窗口和慢启动阈值对于提高视频的平滑性和有效的利用网络带宽有着重要的意义。

## 3 Darwin 拥塞控制策略的改进

拥塞控制技术的关键在于准确地估计网络带

宽,通过使媒体流的传输速率与网络带宽匹配合来防止网络拥塞的出现。

Streaming Server) 的开源版本。DSS 和 QTSS 都使用了 RUDP(Reliable UDP)进行拥塞控制。  
RUDP 的拥塞控制机制在没有影响 UDP 协议的实时本质的情况下,在行为上具备 TCP 协议的友好方式,在不可靠 UDP 基础上提供了超时重传和拥塞控制机制,使得多媒体流表现地像 TCP 流,同时具有软实时特性。RUDP 包括如下特性:

宽,通过使媒体流的传输速率与网络带宽匹配合来防止网络拥塞的出现。

### 3.1 TCPW 算法

TCPW 是一套由加州大学洛杉矶分校的 High Performance Internet Lab 所研究出来的增进网络连接效能的算法。当网络发生拥塞需要调整拥塞窗口大小和慢启动阈值大小时,使用其带宽估计算法 (BWE),估计出目前网络上的带宽状况,进而调整出目前最佳的拥塞窗口大小和慢启动阈值。与传统 TCP Reno 算法不同的是,在发生拥塞时,TCP Reno 直接将拥塞窗口减半进行拥塞控制措施。与之相比,TCPW 则采用 AIAM (additive increase adaptive decrease) 拥塞控制机制,提高 TCP 的性能,使得带宽的使用上更有效率。

TCPW 算法的关键是带宽估计,其主要思想是在发送端持续不断地监控并测量出回传给发送端 ACK 包的到达速率,每当 ACK 包到达时就对当前网络带宽进行采样,再用指数滤波器来滤掉高频部分,这样不仅能够实时地反映当前的网络带宽状况,而且平滑了估计的带宽值。BWE 的基本算法<sup>[5]</sup>如下:

$$b_k = \frac{d_k}{t_k - t_{k-1}} \quad (1)$$

$$\hat{b}_k = a_k \hat{b}_{k-1} + \frac{(1 - a_k)}{2} [b_k + b_{k+1}] \quad (2)$$

$$a_k = \frac{2\tau - \Delta t_k}{2\tau + \Delta t_k} \quad (3)$$

式(1)对带宽进行取样,  $b_k$  是采样值,  $t_k$  为第  $k$  个 ACK 包到达时刻;  $t_{k-1}$  为第  $k-1$  个 ACK 包到达时刻;  $d_k$  为  $t_k$  到  $t_{k-1}$  时刻接收端收到的 ACK 包所确认的总的字节数, 采样示意图如图 2 所示。

式(2)是指数滤波器<sup>[6]</sup>,  $\hat{b}_k$  为  $t_k$  时刻过滤后的可用带宽估计;  $a_k$  为过滤权值;

式(3)中  $1/\tau$  为过滤的中断频率;  $\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$ , TCPW BWE 算法采用了实时变化的过滤权值  $a_k$ , 提高了带宽估计的稳定性。

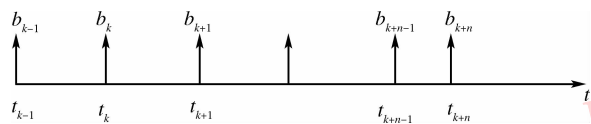


图 2 带宽采样示意图  
Fig. 2 Bandwidth sample

### 3.2 基于 TCPW 的改进拥塞控制策略

由于 TCPW 算法是针对 TCP 的, 所以其基本的拥塞窗口动态调整算法在慢启动和拥塞避免阶段都没有改变, 算法基本的思想是当拥塞发生时用带宽估计值  $N_{BWE}$  来调整拥塞窗口和慢启动阈值:

(1) 当收到 3 个重复的 ACK 包时, 令  $ssthresh = (BWE * RTT_{min}) / seg\_size$ , 而不是 TCP 的  $ssthresh = cwnd/2$ ;

(2) 当发生 RTO 超时, 令  $ssthresh = (BWE * RTT_{min}) / seg\_size, cwnd = 1$ , 而不是 TCP 的  $ssthresh = cwnd/2$ 。

由于 RUDP 的拥塞控制方式与 TCP 类似, 但是没有用 3 个重复的 ACK 包来通知丢包, 所以本文结合 Apple 版本 Reliable UDP 的算法, 对其拥塞控制策略改进如下:

(1) 当一个包的重传次数为 1 时, 令  $ssthresh = BWE * 3/4, cwnd = ssthresh$ , 而不是 RUDP 的  $ssthresh = cwnd * /4, cwnd = cwnd/2$ ;

(2) 当一个包的重传次数大于 1 时, 令  $ssthresh = BWE * 3/4, cwnd = ssthresh$ , 而不是 RUDP 的  $ssthresh = cwnd * 3/4, cwnd = cwnd/2$ 。

实际应用中, 发生第 2 种情况可能由于网络拥塞严重, ACK 包丢失等。图 3 为假设包重传次数为 1 的条件下改进前后拥塞窗口大小变化

比较。

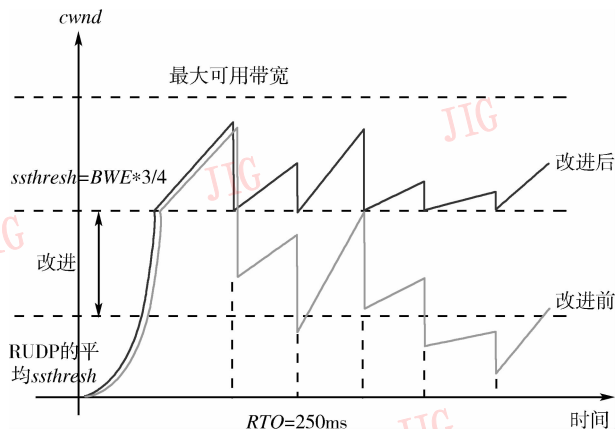


图 3 改进前后拥塞窗口的变化比较

Fig. 3 Comparison of the change of cwnd

## 4 实验结果及分析

在实际网络中搭建视频流系统, 运用 Bandwidth Controller 工具针对不同的码率调整网络带宽, 使网络拥塞,  $\tau = 500$ 。分别用 foreman CIF300 帧和 football CIF130 帧作为测试序列, 用 H. 264 进行编码, 并在不同的码率下比较总体 PSNR。实验结果如表 1 所示。

表 1 Foreman 和 football 序列的 PSNR 比较

Tab. 1 Comparison of foreman and football sequence PSNR  
单位: dB

拥塞控制策略	码率 (kbps)				
	256	384	600	800	
foreman	改进前	17.1	13.4	19.2	18.4
	改进后	26.2	16.7	20.9	23.3
football	改进前	15.3	21.8	21.5	24.5
	改进后	17.3	27.9	29.8	25.1

由表 1 可以看出, 运用改进后的 TCPW 方式来调整慢启动窗口和拥塞窗口, 能够有效地提高视频码流的质量, 无论高、中以及低码率的码流, 其 PSNR 较改进前的 RUDP 都有显著的提高, 这是由于在带宽限制造成拥塞的情况下, TCPW 比 RUDP 传送更多的视频包, RUDP 的丢包率较高, 使得码流的 PSNR 较低。实验对改进前后接收端主客观质量也进行了比较, 结果如图 4 所示。



图 4 拥塞策略改进前后收到的图像比较

Fig. 4 Comparison of frame received by the strategy of congestion control before and after improved for foreman and football sequence

## 5 结 论

在实时视频流应用中,及时且准确地掌握网络带宽状况,进而采取有效的拥塞控制策略,对于提高视频质量有很大作用。在 Darwin 拥塞控制的基础上,用 TCP Westwood 来进行带宽估计,调整拥塞窗口和慢启动阈值,进而在实际网络环境下搭建了视频流系统进行测试,在拥塞发生时,客户端的视频质量有很大的提高。

今后工作是进一步完善实施方案,根据估计的带宽来对码流进行调度,使得码率与带宽匹配。

### 参考文献 (References)

1 Jacobson Van, Karels J. Michael, Congestion avoidance and control

[A]. In: Proceedings of the ACM Symposium on Communications Architectures and Protocols [C], Stanford, CA, USA, 1988: 314 ~ 329.

2 RFC3448, TCP Friendly Rate Control(TFRC) [S].

3 RFC4340, Datagram Congestion Control Protocol(DCCP) [S].

4 Casetti C, Gerla M, Mascolo S, *et al.* TCP westwood: bandwidth estimation for enhanced transport over wireless links [A]. In: Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking [C], Rome, Italy, 2001: 287 ~ 297.

5 Wang Ren, Valla Massimo, Sanadidi Y M, *et al.* Efficiency/friendliness tradeoffs in TCP westwood [A]. In: Proceedings of the Seventh International Symposium on Computers and Communications (ISCC'02) [C], Taormina, Italy, 2002: 304 ~ 311.

6 Abouzeid A Alhusein, Roy Sumit, Azizoglu Murat. Stochastic modeling of TCP over Lossy link [A]. In: Proceedings of IEEE INFOCOM 2000 [C], Tel Aviv, Israel, 2000: 1724 ~ 1733.