

文章编号:1672-9315(2006)04-0553-05

一种新的自适应视频流拥塞控制方法

贺 顺,张敏瑞

(西安科技大学 通信与信息工程学院,陕西 西安 710054)

摘 要:提出了一种新的面向终端的基于 RTT (Round Trip Time) 的自适应视频流拥塞控制方法——New-AVSP (New Adaptive Video Stream Protocol)。New-AVSP 采用基于波形平滑指数和波形突变指数的滑动窗口加权平均 RTT 估计算法 (FMMA) 对 RTT 值进行平滑估计; 并采用基于参数自适应的速率预测方法 (PAMA), 调整终端注入网络的业务流量。仿真结果表明: New-AVSP 与已有的针对流媒体应用的拥塞控制方法相比, 在突变情况下具有更快的逼近速度; 在小幅度波动情况下具有更为平滑的控制曲线。

关键词:拥塞控制; 视频流媒体; 往返时间

中图分类号: TN 919. 85

文献标识码: A

A new adaptive video stream congestion control algorithm for Internet

HE Shun, ZHANG Min-rui

(School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: A new adaptive video stream congestion control algorithm for end-to-end application - New - AVSP is introduced. A method for RTT (Round Trip Time) estimation using flatness parameter and markedness parameter by moving window average way (FMMA) is used in the New - AVSP; and a parameter based adaptive moving average algorithm (PAMA) for sending rate control is used to adjust the available bandwidth at the current time based on RTT and packet loss ration. By contrast with the traditional congestion control method, the simulation results show that the improved algorithm improved has a faster converge rate on the conditions of step variety and the smooth ability when wave jitter.

Key words: congestion control; video stream media; round trip time

0 引 言

拥塞控制研究一直都是 Internet 的一个核心研究课题。在网络资源受限情况下, 提供稳健的网络应用是拥塞控制研究的根本出发点; 在共享网络资源的基础上, 根据一定的资源分配与管理策略, 控制发送端的发送速率, 是实现拥塞控制的基本技术手段。

在 Internet 上, 针对传统数据业务提出的拥塞控制协议有 Tahoe TCP^[1], 以及在此基础上的改进协议 Reno TCP, New-Reno TCP, SACK TCP。此外还有利用 RTT 进行拥塞控制的 Vegas 算法、文献[2]提出的基于 RTT 驱动的自适应拥塞控制算法, 以及针对流媒体应用在文献[3]提出的 AVSP 协议等。在上述面向终端的拥塞控制方法中, 发送终端根据反馈的隐含信息 (如 RTT 、丢包率等), 采用指数加权平均 EWMA (Exponen-

tially Weighted Moving Average)对RTT进行预测,进而估计网络可用带宽;并对发送窗口大小采用滑动窗口算法进行调整,从而达到控制终端注入网络的业务流量的目的,实现拥塞控制功能。上述思路实现起来较为简单,但对网络的突变情况反应速度较慢,并且在网络小幅度波动情况下,平滑控制性能不佳。针对这一问题,文中引入RTT波形平滑指数和突变指数两个参量,并在此基础上提出基于RTT波形平滑指数与突变指数的滑动窗口加权平均RTT预测算法FMMA(Flatness and Markedness Based Moving Average),对RTT值进行自适应预测;同时采用基于参数自适应的速率预测方法(PAMA),调整终端注入网络的业务流量。仿真结果表明文中提出的算法对突变具有快速的收敛速度,对波动具有显著的平滑能力,满足视频流的网络传输应用要求。

1 RTT估计

面向终端应用的网络拥塞控制,在实现上分为两个阶段:第一阶段是对网络可用带宽的预测;第二阶段是在预测网络可用带宽的基础上对发送端的注入网络业务流量进行控制。

文中在网络带宽估计这一步,采用提出的FMMA算法对RTT进行预测,并按照公式(4)估计网络可用带宽;对终端的注入流量控制,采用PAMA算法。这样就构成了文中提出的New-AVSP算法。为了表述方便,定义了如下几个参数。

1.1 参数定义

定义1 波形变化累积和(Ψ)

$$\Psi = \sum_{i=1}^N \alpha_i |x_i - x_{ave}|, \text{其中 } x_{ave} = (\sum_{i=1}^N x_i) / N, 0 < \alpha \leq 1, i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (1)$$

定义2 波形突变指数(δ)

$$\delta = \max \{ |x_i - x_{ave}|, i \in \{1, 2, \dots, N\} \} / \Psi \quad (2)$$

定义3 波形平滑指数(ρ)

$$\rho = \Psi / x_{ave} \quad (3)$$

波形平滑指数采用加权的波形变化累积和进行计算,用以指示波形在均值上的相对波动大小。波形突变指数用来标定发生跃变的相对强弱。在所采用的方法中,计算波形变化累积和的加权系数均为1,即 $\alpha_i = 1, i \in \{1, 2, \dots, N\}$ 。计算波形变化累积和的窗口大小 N 是根据波形自适应变化的。为了达到实现上的简洁性,规定最大窗口长度不超过5,具体的实现方式在下面给出。

1.2 基于波形平滑指数与波形突变指数的RTT估计(FMMA)

在面向终端的网络拥塞控制方法中,对可用带宽的估计是需要解决的核心问题。

视频流数据是UDP协议数据,而目前Internet上的主流数据业务是TCP协议数据业务,因此,对视频流数据的拥塞控制需要满足TCP友好性,故UDP协议数据的带宽估计采用与TCP协议数据的带宽估计一致的公式^[4,5]

$$A_{\text{vailBW}} = \frac{P_{\text{acketSize}}}{R_{\text{TT}} \cdot \sqrt{2P_L/3} + 3 \cdot T_o \cdot P_L \cdot \sqrt{3P_L/8} \cdot \sqrt{1 + 32P_L^2}} \quad (4)$$

式中 $P_{\text{acketSize}}$ 为发送数据包的大小; P_L 为网络的丢包率; T_o 为数据包重发等待间隔。

其中网络往返时间(RTT)采用指数加权平均EWMA(Exponentially Weighted Moving Average)算法进行估计

$$T_{\text{rtt}}(n+1) = \beta T_{\text{tsimple}} + (1-\beta)T_{\text{rtt}}(n) \quad (5)$$

式中 T_{tsimple} 为最近所测得的往返时间均值; $\beta = 0.125$ 。

从对RTT进行估计的公式(5)可以看出,它只是简单地使用了当前的RTT值和过去的历史均值来对下一步的RTT进行预测。虽然预测对RTT值有一定的平滑效果,但是在突变情况收敛速度较慢,并且它不能兼顾平滑性要求与快速收敛的要求。因为如果要增大预测的平滑性,则需增加历史均值在预测中的作用,但这样收敛速度就明显变缓。针对EWMA的固有缺陷,文中提出基于波形平滑指数和波形突变指数的滑动窗口加权平均RTT预测算法FMMA。

FMMA算法的理论基础是:网络数据流过程是一个可以预测的过程;在数据流较为平滑的区域,应该增加预测窗口的大小,以便更多地利用数据流过程的历史信息,达到平滑控制的目的;在数据流变化较大或者存在跃变的区域,应该减小预测窗口大小,更多地利用当前信息,使得预测的收敛速度加快。

算法的实现思路:计算 RTT 波形的平滑指数和突变指数;如果波形的平滑指数小于最低平滑阈值 ($FlatTL$),或者平滑指数小于最大平滑阈值 ($FlatTH$)且波形突变指数小于突变最低阈值 ($MarkTL$),则表明 RTT 值的变化相对较为平缓,故需放大 RTT 预测的窗口(但最大不超过 5),使得预测值较为平滑;如果波形变化比较显著,则应该采用较短的预测窗口,进行预测,使得 RTT 的预测值得到快速收敛。显然,平滑估计窗口的大小是随着数据值的波动情况与波动显著情况自适应调整的。因此可以预计算法具有同时满足快的收敛速度和抑制小幅度波动的能力。后面的仿真实验证明了上述算法在性能上的明显改进。

FMMA 算法具体实现步骤如下。

step1:初始化累积窗口 N ,大小为 1。

step2:计算波形平滑指数 ρ 和波形突变指数 δ 。

如果 N 达到最大窗长 5,到 step5;

如果 $\rho < FlatTL$ 或者 $\rho < FlatTH$ and $\delta < MarkTL$ 则窗口增 1,到 step2;

如果 $\rho < FlatTH$ and $\delta < MarkTH$ 则中止窗口增加,到 step3;

其他情况,中止窗口增加,到 step4。

step3:按照式(3)预测 RTT 值。

$$T_{rtt}(n+1) = [3/4T_{rtt}(n) + 1/8T_{rtt}(n-1) + 1/16T_{rtt}(n-2)]16/15 \quad (6)$$

step4:按照式(4)预测 RTT 值。

$$T_{trr}(n+1) = 15/16T_{trr}(n) + 1/16T_{trr}(n-1) \quad (7)$$

step5:按照式(5)预测 RTT 值。

$$T_{rtt}(n+1) = 1/4T_{rtt}(n) + 3/4T_{rttave} \quad (8)$$

其中 T_{rttave} 为累积窗口中的 T_{rtt} 均值。

显然,公式(6)在加强当前值在预测中的作用的同时注意到了适当的平滑;公式(7)突出了针对突变的快速收敛性能;公式(8)则对小幅度波动进行显著的平滑处理。

1.3 基于参数自适应的速率预测方法(PAMA)

对注入网络业务流量的控制,占主导地位的控制算法是 AIMD 算法。该算法采用加法增、乘法减的方式进行速率控制,实现简单,但存在收敛速度慢、产生控制抖动等固有缺点。针对流媒体应用,文献[3]中提出自适应视频流传输协议 AVSP,对速度采用如下的方式进行控制。

$$\begin{aligned} \text{if} \quad & P_{\text{acket}} - l_{\text{oss}} - r_{\text{ation}} \leq T_{\text{hreshold}} \\ & S_{t+ARTT} = \alpha S_t + (1 - \alpha) Q_t \\ \text{else} \quad & S_{t+ARTT} = (1 - \beta) S_t + \beta Q_t \end{aligned}$$

式中 S_t 为 t 时刻的传输速度; Q_t 为可用带宽; S_{t+ARTT} 为下一个速率调整周期的传输速率; α, β 为调整因子。

上述方法采用对当前传输速度和可用带宽进行加权平均的方式来预测下一个调整周期的发送速度,很显然具有平滑预测能力。但因为参数是固定的,所以对网络可用带宽存在跃变的情况,收敛速度与平滑性能难以兼顾,并且在网络可用带宽变化满足较好线性度的情况下,不能高效地利用网络资源。

针对上面的问题,文中在流量控制方面,设计了一个基于参数自适应的速率预测算法 PAMA。因为在上一节中采用基于波形平滑指数和波形突变指数的滑动窗口加权平均 RTT 估计算法对 RTT 进行预测,使得网络可用带宽在抖动阶段得到平滑,所以在速率控制中将主要考虑对可用带宽跃变的收敛速度,同时兼顾流媒体应用对速率平滑性能的要求。

算法的实现如下

$$\begin{aligned} \text{if} \quad & R_{\text{cur}} \leq R_{\text{avi}} \\ & R_{\text{cur}} = \min[R_{\text{cur}} + \alpha(R_{\text{avi}} - R_{\text{cur}}), M_{\text{axrate}}] \\ \text{else} \quad & R_{\text{cur}} = \max[R_{\text{cur}} + \beta(R_{\text{avi}} - R_{\text{cur}}), M_{\text{inrate}}] \end{aligned}$$

式中 R_{cur} 为网络的传输速度; R_{avi} 是网络的可用传输速度; $M_{\text{inrate}}, M_{\text{axrate}}$ 是视频流终端能够接受的最小、最大发送速率; α, β 为调整因子,按照表达式(9)(10)自适应选取

$$\alpha = \begin{cases} (R_{avi} - R_{cur}) / (R_{avi} + R_{cur}) & R_{cur} \leq (\sqrt{2} - 1)R_{avi} \\ R_{cur} / R_{avi} & R_{cur} > (\sqrt{2} - 1)R_{avi} \end{cases} \quad (9)$$

$$\beta = \begin{cases} (R_{cur} - R_{avi}) / (R_{cur} + R_{avi}) & R_{avi} \leq (\sqrt{2} - 1)R_{cur} \\ R_{avi} / R_{cur} & R_{avi} > (\sqrt{2} - 1)R_{cur} \end{cases} \quad (10)$$

2 仿真结果

在本节给出了3个在NS2仿真环境下得到的对比实验结果(3个模拟终端节点共享512kbps的通信链路)。图1是本文中提出的基于波形平滑指数与波形突变指数的滑动窗口加权平均RTT预测算法(FMMA)与采用EWMA的RTT预测算法的性能对比。

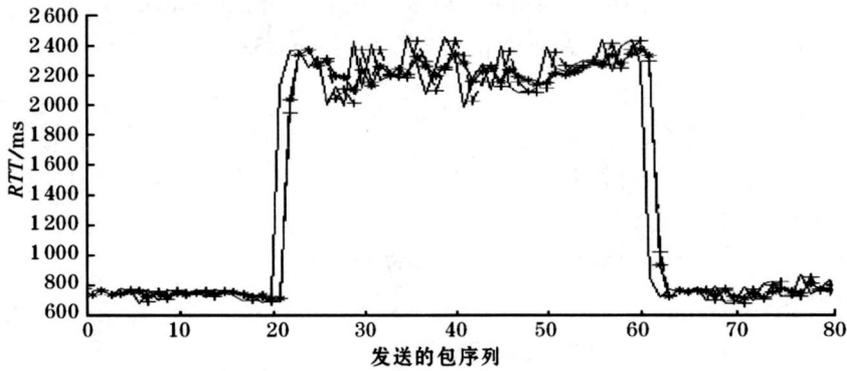


图1 RTT预测对比波形

Fig. 1 The contrast wave of the RTT forecast

实线是实际测得的RTT曲线;加*的实线是采用FMMA算法所预测的RTT曲线;加+的实线是采用EWMA算法对RTT进行预测所得的曲线

采用本文中给出的公式(1)(3),分别计算图1中的实测RTT曲线、FMMA预测RTT曲线和EWMA预测RTT曲线的波形平滑指数(ρ),得到表1的结果。其中计算数据包25到数据包55之间的这30个数据包所对应的RTT值,共进行了50次实验,取出其中的9次计算结果,并且每次实验的RTT值满足RTT = 2 200 + 200 * Noise, Noise为零均值的随机噪声。

表1 波形平滑指数对比(ρ)

Tab. 1 The contrast of wave flatness parameter

									ms
实际	0.942 4	0.692 8	0.880 2	0.656 8	0.727 9	0.943 8	0.810 4	0.773 0	0.775 5
FMMA	0.356 0	0.391 1	0.360 4	0.307 0	0.313 3	0.365 0	0.336 4	0.399 3	0.414 7
EWMA	0.777 9	0.624 1	0.782 4	0.560 3	0.624 1	0.827 2	0.733 1	0.688 0	0.736 9

从表1可以明显看出:EWMA减小了RTT曲线的波动指数,具有一定的平滑预测能力;基于波形平滑指数与波形突变指数的滑动窗口加权平均RTT预测算法(FMMA)显著抑止了RTT曲线的波动,具有比EWMA算法更为平滑的预测性能。并且结合图1的突变部分可以看出:在波形发生突变情况下,FMMA算法具有更为快速的反应能力。上述性能与算法设计的出发点相吻合,达到预期效果。

图2为跃变情况下PAMA算法与AVSP算法、AIMD算法的性能对比。

从图中可以看出:在速率存在跃变情况下,PAMA算法的收敛速度最快,AIMD算法的调整缓慢,AVSP算法调整的平滑性最好,但对网络资源的利用率比PAMA算法低。

图3是线性度较好情况下PAMA算法与AVSP算法、AIMD算法的性能对比。

图3与图2类似,但图3显著地体现了:AIMD算法存在固有的调节波动性和缓慢的收敛速度;AVSP算法在可用速率变化线性度较好的情况下,对网络资源的利用率明显低于PAMA算法(定义了终端可使用的

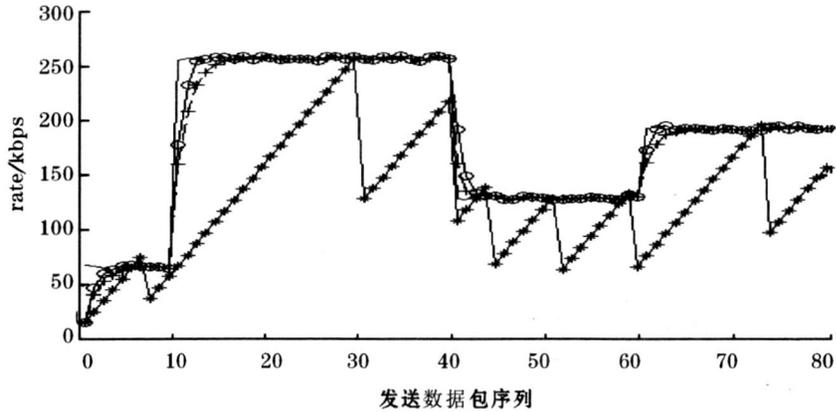


图 2 跃变情况下 PAMA 算法与 AVSP 算法、AIMD 算法的性能比较

Fig. 2 Capability comparing of the three arithmetics of PAMA, AVSP and AIMD under the variational condition
 实线为基于 TCP 吞吐量模型估计的当前包可用发送速度曲线;加 o 的实线是采用 PAMA 算法进行速率控制的发送端实际发送速度曲线;加 + 的实线是采用 AVSP 算法进行速率控制的实际发送速度曲线;加 * 的实线是采用 AIMD 算法进行速率控制的实际发送速率曲线

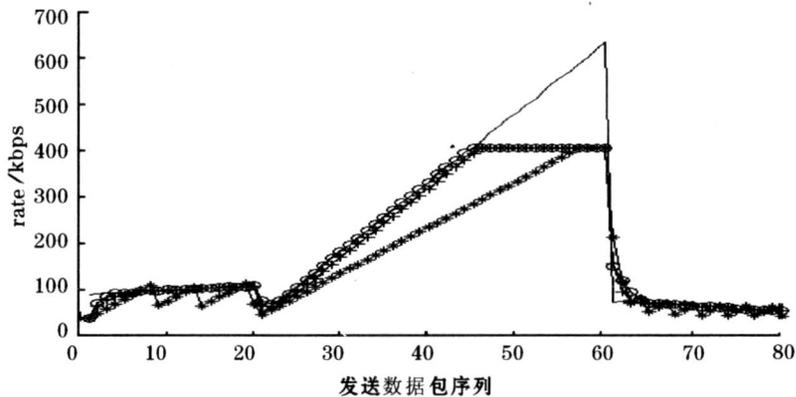


图 3 线性度较好情况下 PAMA 算法与 AVSP 算法、AIMD 算法的性能对比

Fig. 3 Capability comparing of the three arithmetic of PAMA, AVSP and AIMD under the better linear condition
 实线为基于 TCP 吞吐量模型估计的当前包可用发送速度曲线;加 o 的实线是采用 PAMA 算法进行速率控制的发送端实际发送速度曲线;加 + 的实线是采用 AVSP 算法进行速率控制的实际发送速度曲线;加 * 的实线是采用 AIMD 算法进行速率控制的实际发送速率曲线

最大速度为 384 kbps,最小速率是 16 kbps,所以在图 3 中出现了调节的平顶现象)。

3 结 论

1) 采用基于波形平滑指数与波形突变指数的滑动窗口加权平均 *RTT* 预测比基于 EWMA 算法的 *RTT* 预测:对 *RTT* 跃变具有更快的收敛速度;对 *RTT* 的抖动具有更为显著的平滑能力。也正是因为对 *RTT* 的估计具有上述性能,所以对速率的控制采用 PAMA 算法。

2) PAMA 算法对速度跃变具有比 AVSP 更快的收敛速度;PAMA 算法对速率抖动的平滑能力优于 AIMD 算法,但比 AVSP 算法稍差。

3) PAMA 算法在速率变化线性度较好情况下,对网络资源的利用率明显高于 AVSP 算法对网络资源的利用率。

参考文献:

[1] Floyd S ACIRI, Henderson T. The new reno modification to TCP's fast recovery algorithm [J]. Signal Processing, 1999,47 (1):56 - 68.

本研究也存在局限:一是问卷的发放对象及调查范围有限;二是对5类关键成功因素中的每类关键成功因素对ERP实施成功的影响程度和它们之间的相互影响作用还须进一步探讨。

参考文献:

- [1] 袁 琴,黄 琨. ERP项目的实施与风险管理[J]. 江汉石油学院学报(社科版),2003,5(3):56-57.
- [2] 刘 慧,陈 虔. IT执行力-IT项目管理实践[M]. 北京:电子工业出版社,2004:230-232.
- [3] 覃 征. 软件项目管理[M]. 北京:清华大学出版社,2004:120-122.
- [4] 张立杰,高成亮. 投资项目的风险分析[J]. 西安科技学院学报,2000,20(2):22-25.
- [5] Rockart J F. Chief executives define their own data needs[J]. Harvard Business Review, 1979, 57(2):81-93.
- [6] Elisabethj Umble, Ronaldr Haft. Enterprise resource planning:Implementation procedures and critical success factors[J]. European Journal of Operational Research,2003,146:241-257.
- [7] Majed Al - Mashari. ERP systems: a research agenda[J]. Industrial Management and Data Systems,2002,102(3):165-170.
- [8] 仲秋雁,闵庆飞,吴力文. 中国企业ERP实施关键成功因素的实证研究[J]. 中国软科学,2004,(2):73-78.
- [9] Anderson James C,David W Gerbing. Strucatual equation modeling in practice: A review and recommended two step approach [J]. Psychological Bulletin, 1998,103:411-23.
- [10] 张文彤. SPSS11 统计分析教程(高级篇)[M]. 北京:北京希望出版社,2002:286.
- [11] 郝黎仁. SPSS 使用统计分析[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003:196-215.
- [12] 王振龙,赵昌昌. 统计学[M]. 西安:陕西人民出版社,2001:137-145.

(上接第557页)

- [2] 朱 利,周俊辉,周渝斌. 基于RTT的自适应拥塞控制研究[J]. 计算机学报,2000,23(7):35-39.
- [3] 黄伟红,张福炎,孙正兴. 基于拥塞控制与RS编码的自适应有效Internet视频传输[J]. 中国科学(E辑),2002,32(3):67-70.
- [4] Padhye J, Kurose J, Towsley D, et al. A model based TCP friendly rate control protocol[J]. Elsevier Science Ltd, 1999,334(2):137-151.
- [5] 王贵锦,张 黔,张跃进. 端到端可伸缩视频在因特网中鲁棒传输的解决方法[J]. 中国科学(E辑),2003,33(12):173-176.