

TFRC 与 TCP 流数之比对协议间公平性影响的研究*

王光阳, 徐昌彪, 陈前斌, 黄 胜, 隆克平

(重庆邮电学院 光互联网及无线信息网络研究中心, 重庆 400065)

摘要: 简要介绍了 TCP Friendly 的速率控制 (TFRC) 协议, 通过仿真分析首次研究了 TFRC 与 TCP 流数之比对协议间公平性的影响。分析表明: 在链路带宽较小时, 无论比例如何, TFRC 与 TCP 协议间的公平性都比较差, 随着比值增大, 协议间公平性得到改善; 在链路带宽较大时, 无论比例如何, 协议间的公平性都较好, 但随着比值增大, 公平性能下降。

关键词: TFRC (TCP Friendly Rate Control); TCP; 公平性; 实时多媒体流

中图法分类号: TP393.03 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2005)11-0016-03

Research on Fairness between TFRC and TCP in Terms of Ratio of Flows

WANG Guang-yang, XU Chang-biao, CHEN Qian-bin, HUANG Sheng, LONG Ke-ping

(Special Research Center for Optical Internet & Wireless Information Networks, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Outlines TFRC (TCP Friendly Rate Control) protocol, and deeply explores the fairness between TFRC and TCP in terms of ratio of flows. The simulation results show that under the condition of heavy network congestion, the fairness is poor for each ratio, while it becomes better with the rising of ratio, and the opposite conclusions can be obtained for light congestion.

Key words: TFRC (TCP Friendly Rate Control); TCP; Fairness; Real-time Multimedia Flows

实践证明, 对于数据突发业务, TCP^[1,2] 已取得很大成功。但由于 TCP 吞吐量变化的剧烈性及其重传机制, TCP 不适于传输实时流; 一般用 UDP^[3,4] 对实时流进行传输。当前, 人们对实时多媒体流的需求越来越大。如果仍单纯使用 UDP 进行传输, 势必造成 TCP 饥饿, 甚至网络崩溃。其原因在于 UDP 只有简单的传输功能, 而没有拥塞控制机制。为了解决这一问题, 人们开展了 TCP Friendly 的研究^[5-14]。TCP Friendly 协议有很多, 涉及的领域有单播和多播。根据拥塞控制方式的不同, 可分为: 基于窗口的拥塞控制和基于公式的拥塞控制。TFRC (TCP Friendly Rate Control)^[12-14] 是单播领域中发展较好的 TCP Friendly 协议, 已经形成了标准 RFC 3448^[12]。其吞吐量的变化比较缓慢, 适于传输实时多媒体业务; 同时与 TCP 的公平性较好, 是研究的一个热点。已经有人对 TFRC 与 TCP 间的公平性进行了考察^[13,14]; 但在 TFRC 与 TCP 流数之比对协议间公平性影响方面的研究较少。

1 TFRC 的基本原理及其特点

1.1 TFRC 的基本原理

TFRC 采用基于速率的拥塞控制机制, 即其吞吐量不像 TCP 那样通过拥塞窗口进行控制, 而是根据公式计算而得的速

率对吞吐量进行控制。因此, TFRC 的拥塞控制也可称为基于公式的拥塞控制机制。这里的公式是根据 TCP 模型抽象出来的, 公式如下^[12,14]:

$$T = \frac{s}{RTT \sqrt{\frac{2p}{3}} + RTO(3 \sqrt{\frac{2p}{8}}) p(1 + 32p^2)} \quad (1)$$

式中, s 为包的大小, RTT 为往返时间, RTO 为 TCP 的重传超时时间, p 为丢失事件率, T 为吞吐量。

TFRC 的运行过程如下: 首先是慢启动阶段, 直至丢失事件的发生。丢失事件发生后将按照吞吐量公式进行计算:

(1) 接收方接收数据包, 计算出丢失事件率 p , 并把 p 值和时间戳信息反馈至发送方;

(2) 发送方从反馈信息中得到丢失事件率 p 和时间戳信息, 并通过时间戳计算出往返时间 RTT ;

(3) 把参数 p , RTT 和包的大小 s (发送方已知包的大小) 代入吞吐量公式, 得到一个速率 (在 TFRC 中, RTO 取 $4 \times RTT$);

(4) 最后把计算而得的速率与接收方上次接收速率的两倍进行比较 (发送方有接收速率的拷贝), 取两者中的较小者作为最终的发送速率, 发送方以这个速率把数据包发送出去。

这四个步骤是一个发送接收周期, 在此后的运行中将不断重复这个过程。

1.2 TFRC 的特点

TFRC 与 TCP 的最大区别是其吞吐量变化比较平缓。正是这个特点使 TFRC 胜任实时多媒体流的传输。TFRC 吞吐量变化比较缓慢, 最主要的原因在于对丢失事件率的计算。下面简要介绍这方面的内容:

(1) 引进了丢失事件的概念。在 TFRC 中, 认为在同一个

收稿日期: 2004-11-11; 修返日期: 2005-02-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (90304004); 国家“863”计划资助项目 (2003AA121540); 教育部科学技术研究项目 (204125); 重庆市科委应用基础项目 (8060, 8061); 重庆市教委科学技术研究项目 (050309, 040507)

RTT中所有的丢包都算作一个丢失事件,即在这一段时间内认为丢包的原因是相同的。丢包既有必然性,也有偶然性;因此若每次丢包都要进行统计,偶然性就比较大。若按照丢失事件,必然性就占了主导地位。同时,对 TCP 而言,若仅仅引入丢失事件这一个概念,吞吐量的抖动也要小得多。

(2) 在计算丢失事件率时,采用加权平均丢失时隙法。时隙即为相邻丢失事件的时间间隔。在 TFRC 中,丢失事件率是平均时隙的倒数;平均时隙的计算是通过多个时隙进行加权平均得到的,即在计算时当前的时隙所占的权值大,历史越久的权值越小。这样,丢失事件率的变化就比较平滑,而且与当前的丢失事件关联比较紧密。这一点是 TFRC 的吞吐量变化比较缓慢的一个重要原因。

(3) 历史折算法——对加权平均丢失时隙法的修正。若采用加权平均丢失时隙法,当拥塞加重时,丢失事件率的反应比较迅速;当拥塞减轻时,丢失事件率的反应就比较缓慢。例如,假设平均时隙为 3,若拥塞加重,减少 1,若拥塞减轻,增加 1,则丢失事件率的变化分别为 $1/(3-1) - 1/3 = 1/6$ 和 $1/3 - 1/(3+1) = 1/12$ 。当然,TFRC 的实际算法要比这复杂得多,但基本原理是一致的。因此,为了解决上述问题,提出了历史折算法。若当前时隙大于平均时隙的两倍时,将对此前的所有时隙进行折算,更加突出当前时隙的比重,这样就避免了加权平均丢失时隙法的弊端。

TFRC 的两个目标是与 TCP 公平竞争和使吞吐量抖动较小。通过从 TCP 抽象出来的吞吐量公式进行拥塞控制,达到了与 TCP 的公平竞争;通过对丢失事件率的计算,达到了使吞吐量抖动较小的目标。因此,TFRC 适于在因特网中传输实时多媒体流。

2 仿真分析

TFRC 与 TCP 间的公平性是相对的,协议间公平性一般是不可能优于协议内公平性的。因此,从严格意义上讲,TFRC 与 TCP 间只能是趋于公平。既然这样,就存在什么情况下逼近效果比较好。通过研究发现 TFRC 与 TCP 流数之比是决定逼近效果的一个重要因素。

2.1 仿真拓扑

仿真拓扑结构为哑铃型,如图 1 所示。有 m 个 TFRC 流, n 个 TCP 流, $m+n=12$;各支路链路均为 5Mb,瓶颈链路带宽为 Bandwidth。

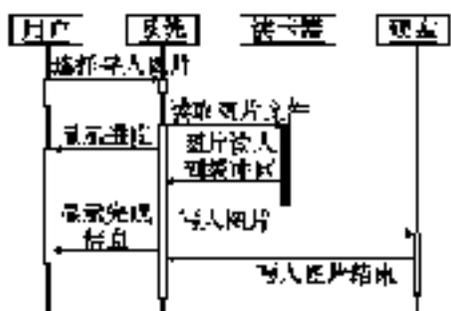


图 3 系统用例图

图 4 导入切片顺序图

2.2 仿真分析

为了便于总结其中的规律,我们考察了 TFRC 和 TCP 的相

对吞吐量;相对吞吐量为平均吞吐量除以瓶颈链路带宽乘以 12 而得到。仿真结果如图 2 所示。同时对 TFRC 和 TCP 协议间的公平性进行考察;计算公平系数的公式为^[15]

$$f = \frac{(T_i)^2}{n \cdot (T_p)^2} \tag{2}$$

式中, T_i 为第 i 个流的吞吐量, n 为流数, f 为公平系数。

仿真结果如图 3 所示。在图 2 和图 3 中,比例表示 TFRC 和 TCP 流数之比。在图 2 中,同一比例下,TFRC 用空心标志标记, TCP 用实心标志,两者使用同一形状的标志。同时为了便于观察规律,图 2 中只给出了五个比例下的曲线,其他比例下具有相同的规律;参考线均为 1。

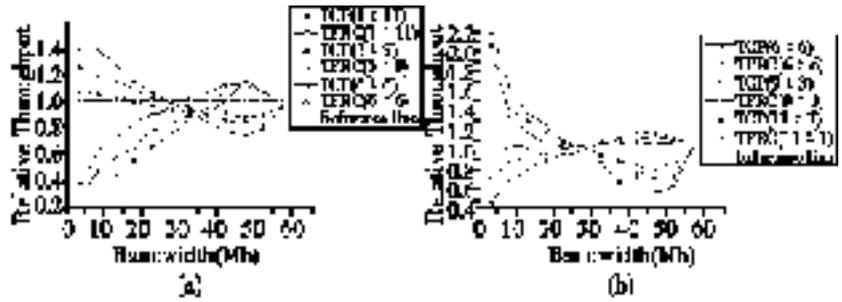


图 2 相对吞吐量曲线

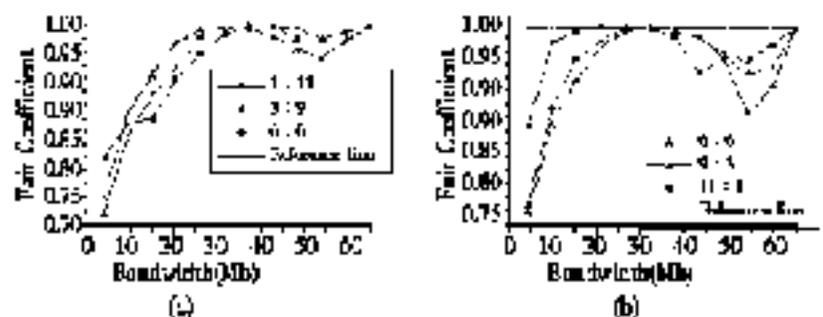


图 3 公平系数曲线

由图 2 和图 3 知:

- (1) 在各比例下,瓶颈链路带宽为支路链路总带宽的一半,即 30Mb 左右,瓶颈链路带宽为支路链路总带宽 60Mb 处 TFRC 和 TCP 协议间的公平性均很好,基本为 1。当瓶颈链路带宽为支路链路总带宽时,瓶颈链路处于无阻塞状态,TFRC 与 TCP 协议间的公平性较好。
- (2) 在瓶颈链路带宽较小时,协议间公平性普遍较差。瓶颈链路带宽较小时,TFRC 和 TCP 的 p 值都较大,TFRC 的吞吐量在较低水平缓慢变化,而 TCP 的吞吐量变化比较剧烈,在整个运行时间内,其平均吞吐量比 TFRC 的平均吞吐量要大得多,所以此时的协议间公平性较差。
- (3) 在瓶颈链路带宽较大时,协议间公平性普遍较好。由于瓶颈链路带宽较大,拥塞较轻,TFRC 和 TCP 的吞吐量差距较小,公平性较好。
- (4) 在瓶颈链路带宽较小时,随着 TFRC 和 TCP 流数比值的增大,协议间公平性得到改善。在瓶颈链路带宽较小时,随着 TFRC 所占比重的增大,稳定因素增多了,TFRC 和 TCP 的 p 值均下降,致使两者的吞吐量都进一步增加,但相对差距减小,公平性得到改善。
- (5) 在瓶颈链路带宽较大时,随着 TFRC 和 TCP 流数比值的增大,公平性能下降。在瓶颈链路带宽较大,TFRC 和 TCP 个数之比在 1:11 ~ 6:6 时,随着比值的增大,吞吐量的变化剧烈程度起着主导作用,与前一比例相比, TCP 吞吐量进一步下降,TFRC 吞吐量进一步上升,公平性明显变差;TFRC 与 TCP 个数之比为 6:6 ~ 11:1 时,随着比值的增大, p 值增大,与前一比例相比,TFRC 和 TCP 吞吐量均下降,但相对差距在增大,

公平性变差。

3 结束语

通过仿真深入考察了 TFRC 和 TCP 流数在不同比例关系下, TFRC 和 TCP 间的公平性得出:

(1) 在各比例下, 瓶颈链路带宽为支路链路总带宽的一半左右, 瓶颈链路带宽为支路链路总带宽处 TFRC 和 TCP 协议间的公平性均很好, 基本为 1。

(2) 在瓶颈链路带宽较小时, 协议间公平性普遍较差; 在瓶颈链路带宽较大时, 协议间公平性普遍较好。

(3) 在瓶颈链路带宽较小时, 随着 TFRC 和 TCP 流数比值的增大, 协议间公平性得到改善; 在瓶颈链路带宽较大时, 随着 TFRC 和 TCP 流数比值的增大, 公平性能下降。

在此研究过程中, 仍存在一些悬而未决的问题, 有待于下一步继续探讨。

参考文献:

- [1] Stevens. TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms[S]. IETF RFC 2001, 1997.
- [2] John Nagle. Congestion Control in TCP/IP Networks[S]. IETF RFC 896, 1984-01.
- [3] J Chung, M Claypool, Y Zhu. Measurement of the Congestion Responsiveness of RealPlayer Streaming Video over UDP[C]. Proceedings of the Packet Video Workshop (PV), 2003.
- [4] G Xylomenos, G Polyzos. TCP and UDP Performance over a Wireless LAN[C]. INFOCOM '99, the 18th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings of IEEE, 1999. 439-446.
- [5] Jiangchuan Liu, Bo Li, Ya-Qin Zhang. A Hybrid Adaptation Protocol for Tcp-friendly Layered Multicast and Its Optimal Rate Allocation [C]. INFOCOM 2002, the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings of IEEE, 2002. 1520-1529.
- [6] S Jin, L Guo, I Matta, *et al.* A Spectrum of TCP-friendly Window-

based Congestion Control algorithms[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11(3): 341-355.

- [7] J Widmer, R Denda, M Mauve. A Survey on TCP-friendly Congestion Control[J]. Network, IEEE, 2001, 15(3): 28-37.
- [8] Y R Yang, M S Kim, S S Lam. Transient Behavior of TCP-friendly Congestion Control Protocols[C]. INFOCOM 2001, the 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings of IEEE, 2001. 1716-1725.
- [9] Ibtissam El Khayat, Guy Leduc. A Stable and Flexible TCP-friendly Congestion Control Protocol for Layered Multicast Transmission[C]. Proceedings of the 8th International Workshop IDMS 2001.
- [10] N Wakamiya, M Murata, H Miyahara. On TCP-friendly Video Transfer with Consideration on Application-level QoS[C]. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2000. 843-846.
- [11] Shuming Chang, H Jonathan Chao, Xiaolei Guo. Tcp-friendly Window Congestion Control with Dynamic grouping for Reliable Multicast [C]. Proceedings of GLOBECOM, 2000. 538-547.
- [12] M Handley, S Floyd, J Padhye, *et al.* TCP Friendly Rate Control (TFRC): Protocol Specification[S]. IETF RFC 3448, 2003.
- [13] Sally Floyd, Mark Handley, Jitendra Padhye. A Comparison of Equation-based AIMD Congestion Control[C]. 2000.
- [14] S Floyd, M Handley, *et al.* Equation-based Congestion Control for Unicast Applications: The Extended Version[C]. 2000.
- [15] Raj Jain, Dah-ning Chiu, William Hawe. A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared Systems [R]. Digital Equipment Corporation, Technical Report TR-301, 1984.

作者简介:

王光阳(1978-), 男, 安徽界首人, 硕士, 主要研究方向为 TCP Friendly、个人通信和光突发交换技术; 徐昌彪(1972-), 男, 贵州思南人, 副教授, 博士, 主要研究方向为 TCP/IP 性能分析与改善; 陈前斌(1967-), 男, 四川营山人, 教授, 博士, 主要研究方向为通信网理论与技术、个人通信等; 黄胜(1974-), 男, 湖北英山人, 硕士, 主要研究方向为光互联网及交换技术、多媒体通信; 隆克平(1968-), 男, 四川通江人, 教授, 博士生导师, 博士, 主要研究方向为下一代光互联网及光突发交换技术、宽带网络理论及技术、光网络生存性及恢复机制等, 发表论文 100 余篇, 被 SCI、EI 和 ISTP 收录 60 余篇, 已申请四项国际专利。

(上接第 13 页)

- [4] 张志公, 庄文中. 汉语知识新编[M]. 北京: 人民教育出版社, 1996. 90-108.
- [5] 杨行峻, 迟惠生, 杨顺安, 等. 语音信号数字处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 1995. 6-20.
- [6] 易克初, 田彬, 付强. 语音信号处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000. 35-49.
- [7] 王毓芳, 尹宝林. 一种基于语音学知识的汉语辅音分类方法[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(6): 59-61.
- [8] Franco H, Neumeyer L, *et al.* Automatic Scoring of Pronunciation Quality[J]. Speech Communication, 2000, (30): 83-93.
- [9] Franco H, *et al.* Automatic Pronunciation Scoring for Language Instruction[C]. Proceedings of ICASSP, 1997. 1471-1474.
- [10] S M Witt, S J Young. Phone-level Pronunciation Scoring and Assessment for Interactive Language Learning[J]. Speech Communication, 2000, (30): 95-108.
- [11] 徐明星, 宋战江, 等. 汉语语音水平评价方法的研究[C]. 哈尔滨: 第五届全国人机语音通信学术会议论文集, 1998. 174-177.
- [12] Song ZJ, Zheng F, *et al.* An Effective Scoring Method for Speaking Skill Evaluation System[C]. Proceeding of European Conference on Speech Communication and Technology, 1999. 187-190.
- [13] Franco H, Neumeyer L, Digalakis V, *et al.* Combination of Machine Scores for Automatic Grading of Pronunciation Quality[J]. Speech

Communication, 2000, (30): 121-130.

- [14] Ehsani F, Bemstein J, Najmi A. An Interactive Dialog System for Learning Japanese[J]. Speech Communication, 2000, (30): 167-177.
- [15] Yoram M, Hirose K. Language Training System Utilizing Speech Modification[C]. Proceedings of ICSLP, 1996. 1449-1452.
- [16] Yasushi T, Masatake D, Tatsuya K. Computer-assisted English Vowel Learning System for Japanese Speakers Using Cross Language Formant Structures[C]. Proceedings of ICSLP, 2000. 566-569.
- [17] Neumeyer L, Franco H, Abrash V. Webgrader: A Multilingual Pronunciation Practice Tool[C]. Marholmen, Sweden: Proceedings of STILL, 1998. 61-64.
- [18] Franco H, Abrash V, Precoda K. The SRI EduSpeak™ System: Recognition and Pronunciation Scoring for Language Learning[C]. Dundee, Scotland: Proceedings of STILL, 2000.
- [19] Zhao Tianli, Liu Jia, Lu Yanfeng, *et al.* An Automatic Pronunciation Teaching System for Chinese to Learn English[C]. Changsha: Proceedings of IEEE on Robotics, Intelligent System and Signal Processing, 2003. 1157-1161.

作者简介:

王昌辉(1978-), 男, 硕士研究生, 研究方向为自动语音识别; 谢湘, 男, 讲师, 博士后, 研究方向为自动语音识别; 赵胜辉, 男, 副教授, 博士, 研究方向为语音信号处理。