

变结构拥塞控制协议 VCP 研究

关治洪 陈 虎 陈建聪

(华中科技大学控制科学与工程系 武汉 430074)

摘 要 当网络的带宽或者时延增大时, TCP 协议的性能严重下降, 最显著的就是网络瓶颈处带宽利用率很低。Xia 提出的变结构拥塞控制协议(VCP)可有效地解决上述问题。在 VCP 协议中, 每个路由器每隔 200 毫秒的计算一个“负载因子”以反映网络的拥塞程度, 并将其编码放入每个经过数据包的两位 ECN 位中。源主机根据数据包中的负载因子, 执行不同的拥塞控制算法, 分别提高带宽利用率和公平性。与其他的显式拥塞控制协议相比, VCP 仅使用了很少的(两位)比特数, 但是仍获得了较好的性能。

关键词 拥塞控制, ECN, VCP, 高带宽时延积

Study on Variable-Structure Congestion Control Protocol

GUAN Zhi-Hong CHEN Hu CHEN Jian-Cong

(Dept. of Control Sci. and Eng., Huazhong Univ. of Sci. and Tech., Wuhan 430074)

Abstract TCP's performance degrades significantly as either bandwidth or latency increases. The most noteworthy aspect of this poor performance is the low bandwidth utilization in bottleneck. Variable-structure Congestion control Protocol (VCP) proposed by Xia addresses this problem efficiently. With VCP, each router computes a 'load factor', which indicates the level of network congestion, at intervals of 200ms and encodes this information into two ECN bits of each packet through the router. Due to the load factor in the packet, the source host uses different algorithms to improve bandwidth utilization and fairness respectively. Compared with other explicit congestion protocol, VCP used only two bits, but still achieves considerable performance.

Keywords Congestion control, ECN, VCP, High bandwidth-delay product

TCP 协议作为互联网上最重要的传输层协议, 不仅保证了主机之间可靠的数据传输, 而且实现了大多数主机端的拥塞控制算法^[1]。随着物理层技术的迅速发展, 大量新的物理链路被广泛采用, 如超高带宽的光纤链路, 高延时的卫星链路等, 这些链路的重要特点是高带宽时延积 (high Bandwidth-Delay Product, BDP)。在高 BDP 网络上, 传统 TCP 协议拥塞控制算法的性能严重下降, 表现为网络瓶颈处带宽利用率很低、队列尺寸增大等^[2]。

针对上述问题, 许多新的拥塞控制算法被提出, 这些算法的一个显著特点是由网络提供一定的反馈信息, 可以称为显式的拥塞算法。显式算法有传统的 TCP+ AQM/ECN, 新近提出的 XCP^[6]。但前者的缺点是虽然减少了队列尺寸和丢失率, 但是带宽利用率仍然很低; 后者虽然性能良好, 但是网络反馈信息很多, 需要大量比特位, 故对现有协议改动较大, 不利于实用。

在 Xia 等提出的变结构拥塞控制协议 VCP^[3,4] 中, 网络反馈的信息使用了两个比特位, 介于上述两类算法之间。VCP 可以看成一种偏向于 AQM 风格的算法, 路由器报告网络拥塞程度, 端主机执行不同的拥塞控制算法。

1 VCP 协议基础

在 VCP 协议中, 路由器将网络的拥塞程度分为: 低负载、高负载、过载三个区域。源主机根据拥塞程度的不同, 分别执

行下列算法: 低负载区域执行“乘法增大”(Multiplicative Increase, MI)、高负载区域执行“加法增大”(Additive Increase, AI)、过载区域执行“乘法减小”(Multiplicative Decrease, MD)。在低负载区域, MI 算法能够以指数增长速度提高带宽利用率; 而在高负载区域以上, AIMD 算法则可以提供数据流之间的公平性。

1.1 路由器“负载因子”

原始的 TCP 使用数据包的丢失作为拥塞的信号, ECN 也只用了两个比特来反映网络是否拥塞, 这两种反馈信息都是二元的, 不够精确。VCP 中, 使用路由器测量的负载因子反映网络的拥塞程度。所谓负载因子就是对带宽的需求与实际可以提供的带宽之间的比值, 即“需求/供给”。负载因子是一个比值, 没有量纲。作为从网络反馈回主机的信息, 负载因子比 ECN 等更加精确地反映了网络的拥塞程度。

1.2 用 ECN 位编码负载因子

在计算出负载因子以后, 需要将其量化编码放入数据包中。VCP 中, 路由器根据负载因子的值将网络拥塞程度分为三个区域, 故只需要两个比特来编码。但是 IP 头中没有太多剩余的位, 于是 VCP 重用了已有的两个 ECN 位。IP 头中的 ECN 位于 TOS 八位组的最后两位, 即第六位和第七位, 其格式如图 1 所示^[5]。VCP 协议中按如下方式使用这两位: 编码 (01)₂ 代表低负载, 编码 (10)₂ 代表高负载, 编码 (11)₂ 代表过载, 剩余的 (00)₂ 用于不支持 ECN 的主机通知路由器其不支

关治洪 教授, 博士生导师, 主要研究领域为复杂网络, 非线性控制理论, 脉冲控制等。陈 虎 博士生, 主要研究领域为拥塞控制, 控制理论在计算机网络中的应用等。陈建聪 博士生, 主要研究领域为无线通信、IPv6 等。

以确定最可能模式、次最可能模式等。在此基础上,调整用于帧间预测的模式数量以匹配终端平台不同的计算资源,同时又可以最大可能的保证最优模式处在所选择的部分模式子集中。本文算法具有4个不同的复杂度级别:40%、54%、70%以及82%,同时实验结果证明,编码质量的损失不大,不会影响主观视觉效果。

表3 编码性能比较结果

序列	Bus			Mobile		
	Δ PSNR /dB	Δ Bitrate /%	复杂度 /%	Δ PSNR /dB	Δ Bitrate /%	复杂度 /%
3模式	-0.09	+2.03	39.24	-0.09	+2.21	40.14
4模式	-0.06	+1.23	55.42	-0.05	+1.12	54.87
5模式	-0.04	+0.81	69.37	-0.03	+0.62	70.02
6模式	-0.02	+0.30	83.10	-0.01	+0.21	82.87
序列	Tempete			Paris		
	Δ PSNR /dB	Δ Bitrate /%	复杂度 /%	Δ PSNR /dB	Δ Bitrate /%	复杂度 /%
3模式	-0.13	+3.02	38.75	-0.12	+2.38	39.02
4模式	-0.06	+1.56%	53.28	-0.08	+1.90	54.74
5模式	-0.02	+0.54%	68.79	-0.05	+1.12	67.26
6模式	-0.01	+0.21%	82.18	-0.03	+0.53	82.46

参考文献

- 1 Information Technology—Coding of Audio-Visual Objects— Part 10; Advanced Video Coding. Final Draft International Standard, ISO/IEC FDIS 14 496-10
- 2 Wiegand T, Sullivan G J, Bjntegaard G, Luthra A. Overview of the H. 264/AVC video coding standard. IEEE Transactions on Circuits And Systems for video tecnology, JULY 2003,13(7)
- 3 Zhou Minhua. Evaluation and Simplification of H. 26L Baseline Coding Tools. ITU-T Q. 6/16, Doc. #JVT-B030, 2002
- 4 Liang Yongfang, He Zhihai, Ahmad I. Analysis and design of power constrained video encoder. Emerging Technologies; Frontiers of Mobile and Wireless Communication. In: Proceedings of IEEE 6th Circuits and Systems Symposium on, 2004,1:57~60
- 5 Yin P, Cheong H Y, Tourapis A N, Boyce J. Fast mode decision and motion estimation for JVT/H. 264. In: Proc. IEEE ICIP, 3, Sep. 2003, 3:853~856
- 6 Wu D, Pan F, Lim K P. et al. Fast Intermode Decision in H. 264/AVC Video Coding. IEEE Transations on Circuits and Systems for Video Technology, July 2005, 15:953~958
- 7 Ting C M, Po L M, Cheung C H. Center-biased frame selection algorithms for fast multi-frame motion estimation in H. 264. In: Proceeding of 2003 IEEE International Conference on Neural Networks and Signal Processing, Dec. 2003. 1258~1261
- 8 Huang Y W, Hsieh B Y, Wang T C, et al. Analysis and reduce of reference frames for motion estimation in MPEG-4 AVC/JVT/H. 264. In: Proceeding of the Int. Conf. On Acoustics, Speech, & Signal Processing, Sept. 2003, 2:809~812
- 9 JVT reference software version 8. 5. http://bs.hhi.de/~suehring/tml/download/old_jm/

(上接第35页)

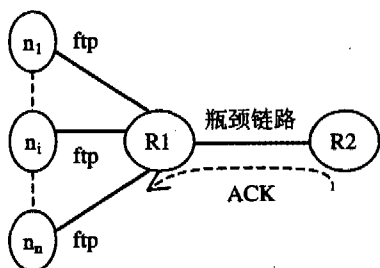


图3 仿真网络拓扑结构

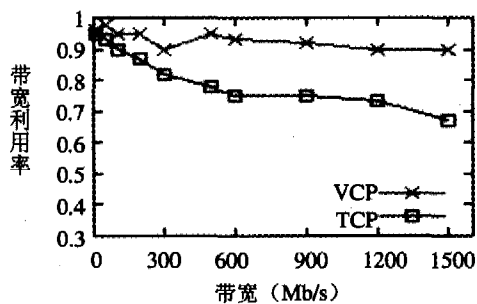


图4 不同带宽时的利用率

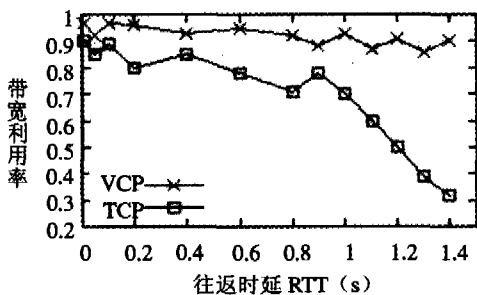


图5 不同RTT时的利用率

可以看出,当路由器 R1、R2 之间的链路带宽增加到 1.5Gbs 时,TCP 的带宽利用率下降到 70% 以下,而 VCP 的带宽利用率则保持在 90% 以上,且随着带宽的继续增加,VCP 始终保持较高的带宽利用率。同样如图 5 所示,当业务源的往返时延 RTT 增大为 1s 时,带宽利用率约高于 60%,RTT 继续增大时,带宽利用率严重下降。而 RTT 大于 1s 时,VCP 的利用率保持在 90% 左右,虽然约有振荡,但一般都保持在 80% 以上。

讨论和进一步研究内容 VCP 协议在体系结构上与 TCP+AQM/ECN 相同,都是路由器检测拥塞,源主机调整算法。但是 VCP 在路由器中采用负载因子来检测拥塞,而 TCP 是使用的队列。VCP 使用了两个 ECN 位来通知拥塞,比 TCP 多了一位,但是却获得了性能的大幅度提升。VCP 对现有的协议改动非常小,且可扩展性良好,有利于逐步的实施。进一步的研究内容包括:端到端 VCP、与 TCP 的友好性即 TCP-friendliness 以及在无线链路上的应用等等。

参考文献

- 1 Jacobson V. Congestion avoidance and control. In: Proc. ACM SIGCOMM'88, August 1988
- 2 Lakshman T, Madhow U. The performance of TCP/IP for networks with High Bandwidth-delay products and Random Loss. IEEE Trans. On network, June 1997
- 3 Xia Y, Subramanian, Stoica I, Kalyanaraman S. One more bit is enough. In: Proc. ACM SIGCOMM'05, August 2005
- 4 Xia Y, Subramanian, Stoica I, Kalyanaraman S. One more bit is enough. [UC Berkeley Tech Report]. June 2005
- 5 Ramakrishnan K K, Floyd S. The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP. IETF RFC 3168, September 2001
- 6 Katabi D, Handley M, Rohrs C. Congestion Control for High Bandwidth-Delay Product Networks. In: Proc. ACM SIGCOMM'02, August, 2002
- 7 Chiu D, Jain R. Analysis of the Increase/Decrease Algorithms for Congestion Avoidance in Computer Networks. J. of Computer Networks and ISDN, 1989,17(1):1~14
- 8 Yang Y, Lam S. General AIMD Congestion Control. ICNP'00, November 2000
- 9 Hollot C, Misra V, Towsley D, Gong W. On Designing Improved Controllers for AQM Routers Supporting TCP Flows. INFOCOMM'01, April 2001
- 10 The network simulator ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

VCP 协议具有良好的瓶颈链路平均带宽利用率。从图 4