

基于 TCP 的拥塞控制策略及改进算法 * Congestion Control Policy and Improvement of Algorithm Based on TCP

庄 卓¹, 陈元琰²

ZHUANG Zhuo¹, CHEN Yuan-yan²

(1. 桂林旅游高等专科学校计算机教研室, 广西桂林 541006; 2. 广西师范大学计算机科学与信息工程学院, 广西桂林 541004)

(1. Computer Teaching and Research Group Guilin Institute of Tourism, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. College of Computer Science and Information Engineering, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要:从性能上具有互补性的 STCP 协议和 CUBIC 协议找到契合点, 然后在性能较优的 CUBIC 基础上提出一个新的改进算法 SCUBIC, 并用实验证明其具有比 CUBIC 更好的稳定性、可扩展性、TCP 友好性和 RTT 公平性。

关键词:拥塞控制 源端算法 STCP CUBIC SCUBIC

中图分类号: TP393 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2006)04-0234-03

Abstract: Based on the complementary of the protocols of STCP and SCUBIC in performance, a combination point of these two protocols is found. The algorithm SCUBIC based on CUBIC is presented. The test reveals that the SCUBIC is better than CUBIC in stability, expansibility, TCP friendliness and RTF fairness.

Key words: congestion control, source algorithm, STCP, CUBIC, SCUBIC

随着计算机和通信技术的发展, 人们对 Internet 的需求已经越来越高, 更多、更合理的控制机制对现有网络的顺畅运作起着非常重要的作用, 其中最基本、最关键的就是拥塞控制, 即如何有效防止或消除网络出现的拥塞, 使网络基本运行在轻度拥塞的最佳状态^[1]。

TCP 协议是使用最广泛的源端算法, 它从提出到现在虽然经历了几个版本的不断改进, 但在高带宽时延乘积网络不断扩大的今天, 它的局限性愈加明显^[2,3], 尤其是 TCP 的 AIMD(和式增加积式减少)拥塞控制算法对大的拥塞窗口响应很慢, 发生拥塞时又降低窗口过快的问题。例如, 假设一个连接, 其 RTT 为 200ms, 包大小为 1500B, 则一个 1Gbps 的有效带宽对应的拥塞窗口为 16000。在检测到一个拥塞事件后, cwnd 将立即被设置为 8000, 它等价

于发送速率为 500Mbps, 要再次达到 1Gbps 将耗费 8000 次往返时间, 大约为 27min。在许多高速广域网中, 这种恢复时间比暂时的拥塞周期要长的多, 这导致低的利用率, 即使网络在长期的时间里都没有拥塞过。

近几年, 在 TCP 协议的基础上提出了一些新的改进协议, 如: HSTCP、STCP、H-TCP、Fast-TCP、BIC 和 CUBIC 等, 这些协议都修改了高带宽下的窗口调整方式, 使网络的性能得到很大程度的改进和提高。虽然这些新的拥塞控制协议的算法和实现机制各有千秋, 但依然还不能说它们中有哪个能很好地解决现在网络环境中面临的所有问题, 真正实现一个简单又鲁棒性更好的拥塞控制协议。

在这些协议中, STCP 协议是 Tom Kelly^[4]于 2003 年提交给 PFLDnet 的以稳定性著称的面向高带宽时延乘积网络的新协议, 是一个简单的发送端调整 TCP 拥塞窗口的升级算法, 它利用传统 TCP 接收端提供一种鲁棒机制来提高高速广域网络的性能, 尤其在发送端的大传输网络上使用 STCP 算法,

网络性能的提高很大,有时候会超过 100%,但是 STCP 协议在 TCP 友好性和 RTT 公平性方面有很大的不足。CUBIC^[5]是 BIC^[6]的加强协议,它的窗口增长函数是时间(现在时刻与上次拥塞发生时刻的差)的三次方函数,能明显地简化原来 BIC 函数的窗口控制过程,从而提高程序的运行速度,还具有良好的 RTT 公平性和 TCP 友好性机制。但是,CUBIC 窗口的波动幅度相对较大,带宽的利用不十分平稳,在稳定性方面还有较大的改进空间。本文从性能上具有互补性的 STCP 协议和 CUBIC 协议找到契合点,在 CUBIC 的基础上提出一个新的改进算法 SCUBIC,并用实验证明其具有比 CUBIC 更好的稳定性、可扩展性、TCP 友好性和 RTT 公平性。

1 改进思路

STCP 协议和 CUBIC 协议的拥塞窗口减少的机制是基本相同的,它们的乘性减少因子 β 分别是 0.875 和 0.8^[4,5]。在未检测到拥塞时,STCP 协议每收到一个 ACK 窗口增加 0.01,这是通过数学分析对各个方面综合设置的经验值。CUBIC 协议是通过计算一个 RTT 内的窗口增量来求得每个 ACK 的窗口增量的,这使窗口对流量的控制就显得比较粗糙和盲目。于是,我们在 CUBIC 协议的窗口增长函数中加入 STCP 协议窗口增量(0.01)的平衡成分,使窗口的增量以原来为基础,能更加合理并适当地放大,并具有更好的适应能力;再加上保持 CUBIC 原有最大窗口和最小窗口机制的作用,使得窗口增量的加大并不会影响 CUBIC 原来所具有的基本特性,而达到稳定性提高的目的;改进后造成的流收敛加速,使得其可扩展性、TCP 友好性和 RTT 公平性也能有更好的表现。我们为这个新的改进算法命名为 SCUBIC。

2 SCUBIC 的算法描述

每收到一个 ACK 确认增加窗口:

调用 Update()函数

$increment = pow((incr/cwnd) * (incr/cwnd) + 0.01 * 0.01, 1.0/2.0)$

if (increment > 0.05) increment = 0.05

cwnd = + increment

检测到拥塞,则减少窗口:

$cwnd = cwnd * (1 - \beta)$

Update()——每个 RTT 时间的窗口更新函数

If (cwnd < Wmax) //开始新阶段

$K = pow((Wmax - cwnd) / Scale, 1.0/3.0)$

origin = Wmax

else K=0

origin=cwnd

target=origin+scale * pow(t - K, 3) //计算期望值

if (target > cwnd) incr=target-cwnd

else incr=0.0001

if (Wmax=0 慢启动 || Low=1) //限制最大增量

max_incr = cwnd * 0.05

else max_incr = Smax * 最小 RTT 时间 / 0.1

if (incr > max_incr) incr = max_incr

//TCP 友好性,也是限制最小增量

TCP_window += 3.0 * (1.0 - β) / (1.0 + β) * ACK 个数 / cwnd

if (TCP_window > cwnd)

min_incr = TCP_window - cwnd

if (incr < min_incr) incr = min_incr

在算法中,cwnd 为拥塞窗口大小,incr 为每个 RTT 时间的窗口增量,increment 为每收到一个 ACK 的窗口增量,K 为平衡参数, β 为乘性减少因子,取 0.8,Scale 为固定参数,值为 $C * t^3$,C 取 0.4,t 为上次拥塞到现在经历的时间,Wmax 为最大窗口(拥塞前的窗口大小),max_incr 为最大增量,min_incr 为最小增量,TCP_window 用于与当前窗口作比较来设置最小增量 min_incr,origin 为原来窗口大小,target 为窗口期望值,Low 为低利用率标记(1 时为低利用率;否则为 0)。

3 实验验证

对 SCUBIC 算法用 NS-2 进行模拟实验,观察 SCUBIC 对 CUBIC 改进效果。

3.1 稳定性

分别对瓶颈带宽为 40M、80M 和 120M 进行模拟实验,记录接收端吞吐量并计算得到它们的稳定因子,得到 SCUBIC 与 CUBIC 在不同带宽下的稳定因子的对比结果如图 1 所示。

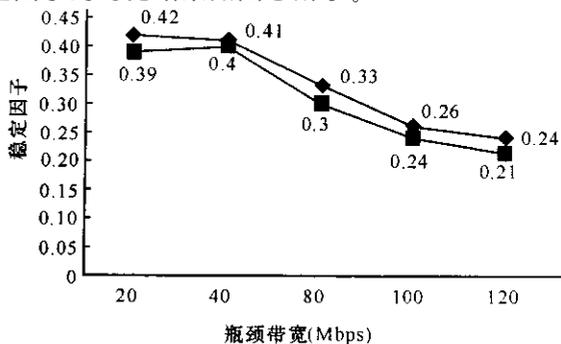


图 1 SCUBIC 与 CUBIC 在不同带宽下的稳定因子对比

◆:CUBIC;■:SCUBIC

3.2 可扩展性

分别对瓶颈带宽为 20M 和 100M 进行模拟实验,通过实验中的平均吞吐量数据(表 1)计算的带宽利用率对比。从表 1 可以比较直观地看出协议可扩展性的提高。

表 1 SCUBIC 与 CUBIC 在不同网络环境下的带宽利用率对比

带宽	CUBIC 带宽利用率(%)	SCUBIC 带宽利用率(%)
20Mbps	99.785	99.810
100Mbps	90.367	90.400

3.3 TCP 友好性

图 2 结果显示,SCUBIC 流与 TCP 流共存时能够比 CUBIC 流更平稳公平地与 TCP 享用带宽,实现了更好的 TCP 友好性。

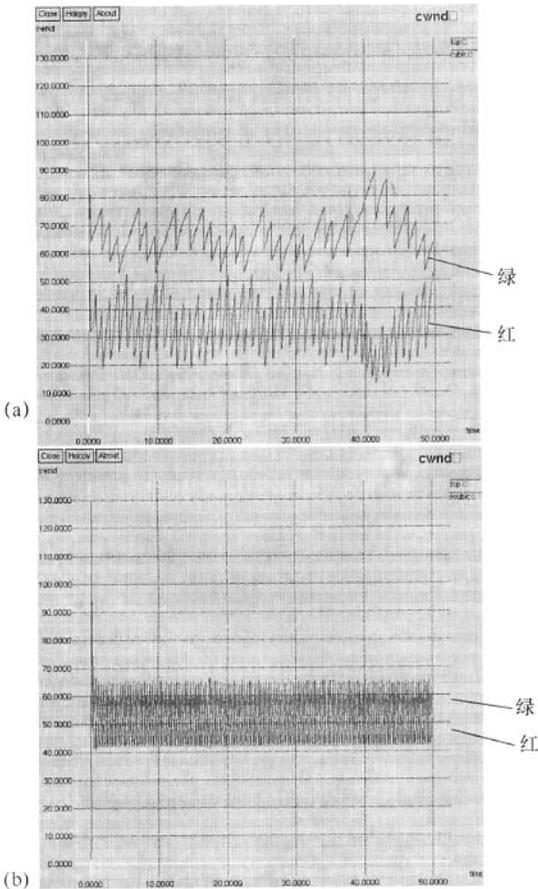


图 2 瓶颈带宽 20M 下 TCP 流(红)与新协议流(绿)的 cwnd 对比结果

(a)TCP 与 CUBIC 对比;(b)TCP 与 SCUBIC 对比

3.4 RTT 公平性

从图 3 可以看到两个 SCUBIC 流能够比 CUBIC 相对更平稳、更公平地共享带宽,实现了更好的 RTT 公平性。

综上所述,改进的 SCUBIC 比 CUBIC 具有更

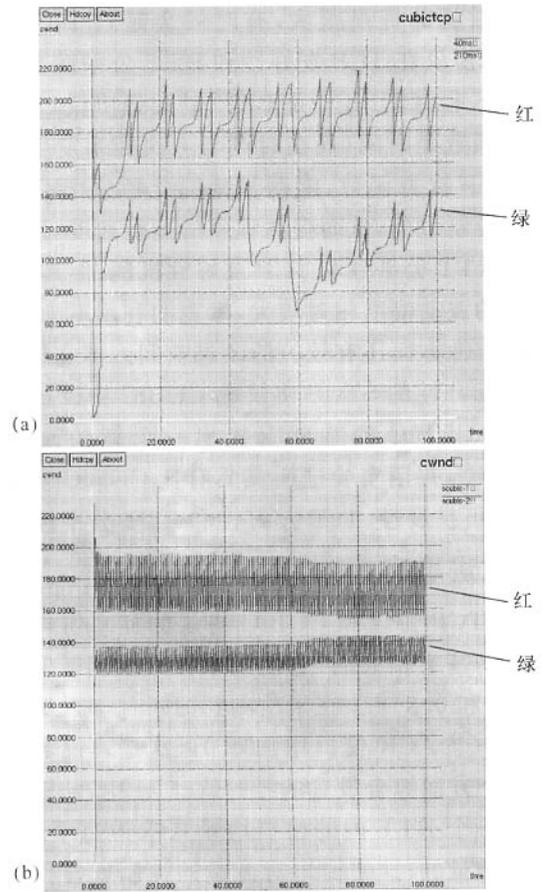


图 3 瓶颈带宽 20Mbps 下短 RTT 流(红)和长 RTT 流(绿)的 cwnd 对比结果

(a)CUBIC;(b)SCUBIC

好的稳定性、可扩展性、TCP 友好性和 RTT 公平性。

参考文献:

- [1] 罗万明,林闯,阎保平. TCP/IP 拥塞控制研究[J]. 计算机学报,2001,24(1):1-3.
- [2] 王德锁,舒勤. TCP 拥塞控制机制在高速网络中的局限性[J]. 中国测试技术,2004,3(2):24-26.
- [3] 闫友彪,陈元琰,罗晓曙,等. Internet 拥塞控制研究的最新进展分析与展望[J]. 计算机应用研究,2005,22(2):8-13.
- [4] KELLY T. Scalable TCP:improving performance in highspeed wide area networks[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2003,33(2):83-91.
- [5] INJONG RHEE,LISONG XU. IEEE CUBIC: A New TCP-Friendly High-Speed TCP Variant, Hong Kong, 2004[EB/OL]. [2006-06-25]. <http://www.csc.ncsu.edu/faculty/rhee/export/bitcp/cubic-paper.pdf>.
- [6] LISONG XU,KHALED HARFOUSH,INJONG RHEE. Binary Increase Congestion Control (BIC) for Fast Long-Distance Networks: Proceedings of IEEE INFOCOM 2004, Hong Kong, March 2004[DB/OL]. [2004-10-10]. <http://www.csc.ncsu.edu/faculty/rhee/export/bitcp/>.

(责任编辑:邓大玉)