

一种基于可变结构的主动队列管理算法

丛林尤,周井泉

(南京邮电大学,江苏南京 210003)

摘要:主动队列管理算法(AQM)是近年来网络拥塞控制的研究热点之一,已经提出了许多的主动队列管理算法,例如:RED,ARED,SRED,PI,REM等。文中设计一种基于控制理论的可变结构的主动队列管理。通过分析控制机制对于非线性的TCP/AQM模式的鲁棒性和性能,展示了在不确定的RTT(round-trip time)和活跃的TCP连接个数的情况下,有很好的性能和鲁棒性,这正是主动队列管理最重要的理念。运用网络仿真软件NS对设计进行仿真实验,从不同的角度对其性能与现有队列管理算法进行比较。仿真结果显示,从稳定性和鲁棒性等角度,可变结构控制算法显著胜过现有的AQM算法。

关键词:可变结构控制;鲁棒性;主动队列管理

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)05-0161-04

An Active Queue Management Algorithm of Variable Structure Control

CONG Lin-you, ZHOU Jing-quan

(Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Active queue management algorithm (AQM) is a research area in network congestion control. There are many active queue management algorithms such as RED, ARED, SRED, PI, REM have been proposed. In this paper, design an active queue management algorithm of variable structure based on control theory. By analyzing the robustness and performance of control scheme for the nonlinear TCP/AQM model, show that the proposed design has good performance and robustness with respect to the uncertainties of the round-trip time and the number of active TCP sessions, which are central to the notion of AQM. NS simulations are provided to validate the design and compare its performance to other peer schemes' in different scenarios. Simulation shows that it takes the stability and robustness indices into consideration, proposed design outperforms the other AQM schemes.

Key words: variable structure control; robustness; active queue management

0 引言

在互联网高速发展的今天,网络拥塞已成为人们日常生活中遇到的最严重的问题之一。从多学者提出了很多方法以提高网络性能。Random Early Detection (RED)是最先提出的主动队列管理算法(AQM),但也存在很多问题,例如:参数难以配置,仅仅通过调整RED的参数难以有效减小队列波动及公平性等问题。因此,有许多改进的队列管理算法出现,如:stabilized RED(SRED)^[1],REM^[2],BLUE^[3],FRED^[4]等。

网络拥塞问题模型为一个反馈的动态系统,这个控制的基本理论常常用来分析网络性能,配置AQM的参数以及设计新的主动队列管理机制。对基础控制系

统的分析,可以提供新的主动队列管理算法的设计。文献[5]中,对RED控制理论的分析,提出了更加系统化和深入的参数的调整。文献[6]中,提出PI控制器作线性系统分析的AQM机制。显示拥塞指示(ECN)^[7]提出标记包拥塞指示。以上AQM机制已经实现了高的链路利用率和低丢包率。

由于动态TCP的非线性的特性,因此,文献[5,6]中,其结果只是在平衡点附近是有效的。对往返时延(RTTs)和通过拥塞路由器的活的TCP连接个数的不确定的情况,要求设计更强的鲁棒性。

文中介绍一种可变结构的非线性TCP模型主动队列管理算法,基于两点:

1) VS滑动模式控制对非线性系统是强有力的,因此可以很好地适应主动队列管理的机制;

2) DropTail,可以认为是一个VS控制器,它的丢包策略是: $p(t) = 1$ 当 $q(t) > q_{max}$, $p(t) = 0$ 当 $q(t) \leq q_{max}$,式中 $p(t)$ 是丢弃概率, $q(t)$ 和 q_{max} 分别是 t 时刻

收稿日期:2011-10-14;修回日期:2012-01-16

基金项目:国家科技重大专项863项目(2009AA01Z202)

作者简介:丛林尤(1985-),男,硕士,研究方向为通信系统可靠性技术研究;周井泉,教授,研究方向为复杂网络与系统。

$$D = -\frac{GA + (GA)^T}{2} > 0 \quad (12)$$

式中: $G = \frac{\partial Q}{\partial y}$ 。令 $a(y_2) = \frac{N}{\varepsilon^2(t)} + \frac{(y_2 + C)^2}{2N} \geq$

$$\frac{\sqrt{2}}{\varepsilon(t)} |y_2 + C| > 0, GA = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q}{\partial y_1} & \frac{\partial Q}{\partial y_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -a(y_2) \end{bmatrix} = -a(y_2) < 0, \text{由此可知,式(12)是满足条件的。}$$

在文献[13]中,有滑动模式控制器:

$$p = \alpha F(y, t) \text{sign}(Q) \quad \alpha > 1 \quad (13)$$

式中,

$$F(y, t) > p_0 = -(GA)^{-1}Gf = \frac{ky_2 + \frac{M}{\varepsilon^2(t)}}{a(y_2)} \quad (14)$$

又因为 $0 \leq p(t) \leq 1$, 而式(13)中, $-1 \leq p \leq 1$, 从实际情况考虑,需要对式(13)进行改进:

$$\bar{a}(y_2) = \frac{\bar{N}}{\bar{\varepsilon}^2} + \frac{(y_2 + C)^2}{2\bar{N}} \quad (15)$$

式中 $\bar{N} = \frac{N_0 + N_1}{2}, \bar{\varepsilon} = \frac{T_0 + T_1}{2}$ 。

所以,改进滑动模式控制器,式(13)为:

$$p(y, t) = \frac{\bar{N}}{\bar{\varepsilon}^2 \bar{a}(y_2)} + \left(\alpha \frac{T_1 k}{\sqrt{2}} k \left| \frac{y_2}{r(t)} \right| + \delta \right) \text{sign}(Q(y, t)) = \begin{cases} p^+(y, t) = \frac{\bar{N}}{\bar{\varepsilon}^2 \bar{a}(y_2)} + \left(\alpha \frac{T_1 k}{\sqrt{2}} k \left| \frac{y_2}{y_2 + C} \right| + \delta \right) \\ p^-(y, t) = \frac{\bar{N}}{\bar{\varepsilon}^2 \bar{a}(y_2)} - \left(\alpha \frac{T_1 k}{\sqrt{2}} k \left| \frac{y_2}{y_2 + C} \right| + \delta \right) \end{cases} \quad (16)$$

2.2 算法分析

为了满足滑动模式的存在条件,对于所有符合式(7)、(8)的 N 和 $\varepsilon(t)$, 可变控制器(16)对非线性系统有很好的稳定性,由 $a(y_2) \geq \frac{\sqrt{2}}{\varepsilon(t)} |y_2 + C|$ 易知 $\bar{a}(y_2) \geq \frac{\sqrt{2}}{\bar{\varepsilon}(t)} |y_2 + C|$, 又

$$\left| \frac{\bar{N}}{\bar{\varepsilon}^2 \bar{a}(y_2)} - \frac{N}{\varepsilon^2 a(y_2)} \right| \leq$$

$$\left| \frac{\bar{N}\varepsilon + N\bar{\varepsilon}}{4\varepsilon\bar{\varepsilon}\bar{N}} \right| \left| \frac{(\bar{N}\varepsilon - N\bar{\varepsilon}) + (\bar{N}\varepsilon - N\bar{\varepsilon})}{\bar{N}\bar{\varepsilon}} \right| \leq \lambda \quad (17)$$

所以 $\alpha \geq 1$ 并且

$$\delta > \lambda = \frac{1}{4} \left(\frac{\bar{N}}{N_0} + \frac{\bar{\varepsilon}}{T_0} \right) \left(\frac{N_1 - N_0}{N_1 + N_0} + \frac{T_1 - T_0}{T_1 + T_0} \right) \quad (18)$$

对式(11)求导数得:

$$Q'(y, t) = k y_1' + y_2' \quad (19)$$

再将式(10)、(16)代入(19)得

$$Q'(y, t) = ky_2 + \frac{N}{\varepsilon^2(t)} - a(y_2)$$

$$\left[\frac{\bar{N}}{\bar{\varepsilon}^2 \bar{a}(y_2)} + \left(\alpha \frac{T_1 k}{\sqrt{2}} k \left| \frac{y_2}{r(t)} \right| + \delta \right) \text{sign}(Q(y, t)) \right] \quad (20)$$

因为 $a(y_2)$ 和 $\bar{a}(y_2)$ 是恒定的,由式(17)、(18)得:

① 如果 $Q(y, t) > 0$, 那么 $Q'(y, t) \leq 0$ 。

② 如果 $Q(y, t) < 0$, 那么 $Q'(y, t) \geq 0$ 。

所以: $\lim_{Q \rightarrow 0} Q(y, t) Q'(y, t) < 0$ 。根据滑动模式存在条件^[8]可知,可变模式控制算法(VS)有较好的稳定性。

3 仿真

使用 NS^[14] 网络仿真器对上述 AQM 算法进行仿真。

图2所示为网络拓扑结构,所有链路之间的链路容量为 10Mb/s, 路由器 R1 和 R2 之间的链路传输时间为 20ms, 其余为 40ms, 路由器的缓冲区为 300 个包。

算法参数设置为:

(1) 可变结构(VS)的 AQM 算法(式(16))中: $\bar{N} = 100, \bar{\varepsilon} = 0.2, k = 10, \alpha = 1, \delta = 0.3$ (可由式(18)和(8)计算得知)。

(2) PI 算法(式(1))中: $a = 0.00001822, b = 0.00001816$ 。

(3) REM 算法(式(2)和(3))中: $\gamma = 0.001, \alpha = 0.1, \psi = 1.001$ 。

期待队列长度 $q_d = 100$ 个数据包。

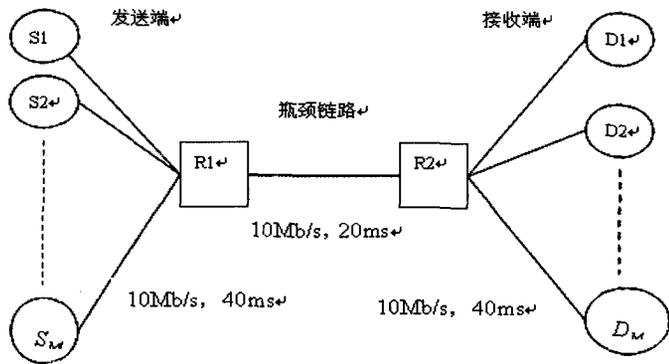


图2 仿真网络拓扑结构

1) 当连接个数 N 为 100 时, 比较上述三种算法, 如图3所示, 可知 VS 控制算法的收敛性和队列长度的稳定性是最好的, 虽然 PI 算法也能达到稳定的队列长度, 但是其收敛性慢, 而 REM 算法则不能收敛到期望的队列长度。

2) 当增加链路的数据连接个数到 300 个数据包时, 再比较 VS 控制算法和 PI 算法。如图4所示, 当连

接个数变大时, VS 控制算法仍然有较好的队列收敛性, 并且有着更好的鲁棒性。而 PI 算法则随着时间的推移, 其性能恶化, 队列变化较大, 因此有着更高的丢包率和时延。

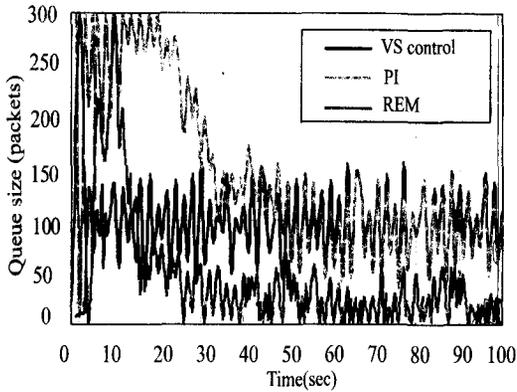


图 3 连接个数为 100 时算法的比较

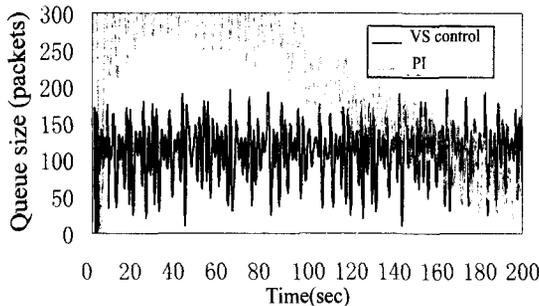


图 4 连接个数为 300 时算法的比较

3) 动态地改变链路的数据连接个数, 当 $t = 0$ 时, 连接个数为 150 个数据包, 到 $t = 40$ 时, 改变数据包个数为 100, 当 $t = 70$ 时, 再次改变连接个数为 150。由图 5 可以看出, 当连接个数发生变化时, VS 控制算法一直有着好的表现, 而另外两种则随着连接个数的变化, 队列长度也发生较大的波动。

4) 当设置链路传输时延较小, 为 10ms, 连接个数为 100 个数据包时, 如图 6 所示, VS 控制算法仍然有较好的稳定性, 收敛速度快, 鲁棒性较好。而 PI 算法发生较大波动, 丢包率大, 队列稳定性差。

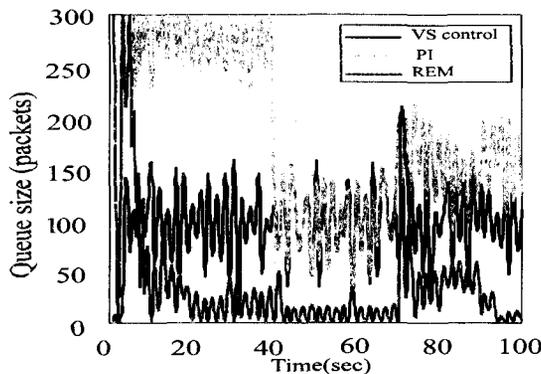


图 5 连接个数变化时算法的比较

4 结束语

通过仿真实验以及与其他算法的比较, 可知 VS AQM 算法有着良好的稳定性、收敛性及鲁棒性, 性能优于其他几种算法, 是一种好的主动队列管理算法。

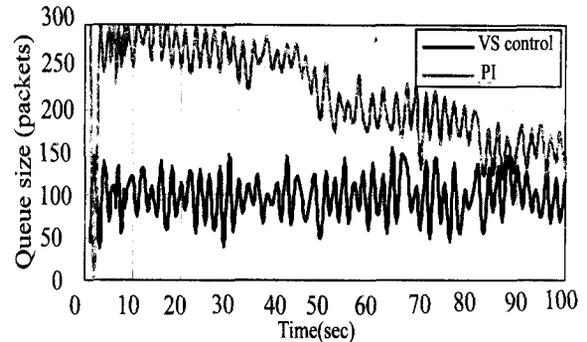


图 6 链路时延为 10ms 时算法的比较

参考文献:

- [1] Ott T J, Lakshman T V, Wong L. SRED: stabilized RED [C]// IEEE INFOCOM. New York, NY: [s. n.], 1999: 1346-1355.
- [2] Athuraliya S, Li V H, Low S H, et al. REM: active queue management [J]. IEEE Network, 2001, 15(3): 48-53.
- [3] Feng W, Kandlur D, Shin K. Stochastic fair blue: a queue management algorithm for enforcing fairness [C]// IEEE INFOCOM. Alaska: [s. n.], 2001: 1520-1529.
- [4] Lin D, Morris R. Dynamics of random early detection [C]// ACM SIGCOM. [s. l.]: [s. n.], 1997: 127-137.
- [5] Hollot C, Misra V, Towsley D, et al. A control theoretic analysis of RED [C]// IEEE INFOCOM. Alaska: [s. n.], 2001: 1510-1519.
- [6] Hollot C V, Misra V, Towsley D, et al. On designing improved controllers for AQM routers supporting TCP flows [C]// IEEE INFOCOM. Alaska: [s. n.], 2001: 1726-1734.
- [7] Ramakrishnan K K, Floyd S, Black D. The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP [S]. Internet Engineering Task Force, RFC-3168, 2001.
- [8] 卢锡城, 张明杰, 朱培栋. 自适应 PI 主动队列管理算法 [J]. 软件学报, 2005, 16(5): 903-910.
- [9] 李金东, 马东堂, 李卫. 基于 RED 算法的非线性拥塞控制 [J]. 计算机工程, 2008, 34(20): 91-95.
- [10] 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): 1-18.
- [11] 郑南宁, 贾新春, 袁泽剑. 控制科学与技术的发展及其思考 [J]. 自动化学报, 2002, 28(1): 7-17.
- [12] 孙增圻, 张再兴. 智能控制的理论与技术 [J]. 控制与决策, 1996, 11(1): 1-8.
- [13] Utkin V, Guldner J, Shi J. Sliding Mode Control in Electromechanical Systems [M]. New York: Taylor & Francis, 1999.
- [14] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS 与网络模拟 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.