

# 基于模糊逻辑的拥塞控制研究<sup>\*</sup>)

徐跃东<sup>1</sup> 关治洪<sup>1</sup> 王 华<sup>2</sup>

(华中科技大学控制科学与工程系 武汉430074)<sup>1</sup>(波士顿大学航空与机械工程系 波士顿美国)<sup>2</sup>

**摘 要** 本文针对 Internet 拥塞控制提出一种新的基于模糊逻辑的主动队列管理策略。队列的状态转换成为语言变量输入,通过依据经验定义的模糊推理计算数据包的丢弃率。仿真结果表明采用模糊逻辑的主动队列管理策略具有良好的性能和鲁棒性。

**关键词** 拥塞控制,模糊逻辑,TCP,鲁棒性

## Fuzzy Logic Based Congestion Controller for TCP Networks

XU Yue-Dong<sup>1</sup> GUAN Zhi-Hong<sup>1</sup> WANG Hua<sup>2</sup>(IEEE Senior Member)

(Department of Control Science and Engineering, HUST, Wuhan P. R. China 430074)<sup>1</sup>

(Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Boston University, Boston, M. A. U. S. A. )<sup>2</sup>

**Abstract** This paper presents a novel fuzzy logic method for congestion control in TCP networks. State of queue is transformed into linguistic values and packet drop probability is derived from predefined fuzzy inference engine. Simulation results manifest that this method behaves better performance than that of other Active Queue Management algorithms.

**Keywords** Congestion control, Fuzzy logic controller, TCP, Robustness

## 1. 引言

随着互联网用户和各种各样网络服务的迅速发展,英特网变得日益繁忙。由于网络带宽和网络路由的缓冲区长度的限制及英特网的流量突发特征,网络拥塞很容易发生。特别是英特网上基于 TCP 协议的数据流约占据 90%,TCP 拥塞控制对于确保网络的动态性能和稳定性、鲁棒性具有十分重要的作用。但是因为网络拓扑结构和网络条件的不断变化,仅仅依赖于 TCP 拥塞控制难以保证网络的服务质量。考虑到这种结构的复杂性和网络状况的不同,IP 层必须参与控制和资源分配,在路由器采用队列调度和缓存管理的方法,这就是 IP 拥塞控制策略。

主动队列管理(Active Queue Management, AQM)是当今网络研究的一个热点问题。以前的研究已经提出几种改善 TCP 拥塞控制的主动队列管理策略,其中最著名的 AQM 是随机早期检测(Random Early Detection, RED)算法<sup>[1]</sup>。RED 算法的基本思想是预测到拥塞的发生,并依据恰当的概率丢失数据包,将反馈线性地传送到发送端。从控制的角度分析,RED 算法等价于比例控制器加上低通滤波。仿真研究表明 RED 算法相对于通常的弃尾算法(Drop Tail)具有更好的性能。但是 RED 算法存在两个主要的缺陷<sup>[2]</sup>,RED 算法对于参数配置十分敏感,网络条件的变化对于 RED 算法的性能也有很大影响,此外 RED 算法不能保证资源的公平分配。文[3]深入研究了 RED 算法参数配置不当产生的分岔和混沌现象。文[4~6]提出改进的 RED 算法提高了网络的性能,一些其他文献也提出新的主动队列管理算法如 PI<sup>[7]</sup>,REM<sup>[8]</sup>,AVQ<sup>[9]</sup>。这些算法引入比例积分控制方法消除了稳态误差,却降低系统的响应速度,增加系统的收敛时间。

模糊逻辑的优点在于其采用语言变量和模糊推理的方

法,并不需要知道系统的精确模型。模糊逻辑的方法对于复杂系统往往特别有效。此外,模糊逻辑方法具有良好的适应性,确保网络拥塞控制系统的性能鲁棒性。本文在 ATM 网络中采用模糊逻辑的流量控制方法<sup>[10,11]</sup>和区分服务<sup>[12]</sup>的研究基础上,提出一种新的基于模糊逻辑的 TCP 网络拥塞控制算法。实验表明在通常的网络拓扑结构和网络条件下具有良好的性能,并且对于网络连接数量的变化具有很好的鲁棒性。

本文第2节给出 TCP 网络的流量模型<sup>[13]</sup>及其线性化的控制系统模型<sup>[14]</sup>。第3节我们设计基于模糊逻辑的拥塞控制算法。第4节给出了模糊逻辑拥塞控制算法的仿真结果。最后,综合前文论述,得出我们的结论。

## 2. TCP 流量模型

文[7]根据随机微分方程理论提出 TCP 网络协议的动态流量模型。这个模型考虑了主要的网络变量,并表示为如下耦合的非线性时滞微分方程组:

$$\begin{cases} \dot{W}(t) = \frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)W(t-R(t))}{2R(t-R(t))} p(t-R(t)) \\ \dot{q}(t) = \frac{W(t)}{R(t)} N(t) - C \end{cases}$$

其中:  $W(t)$  期望的拥塞窗口;  $q(t)$  期望的队列长度;  $R(t)$  返回时间;  $C$  链路的带宽;  $p(t)$  丢包率;  $N$  链接的数目。

拥塞控制系统的方块图如图1,将模型线性化:

$$\delta W(t) = W(t) - W^* \quad \delta p(t) = p(t) - p^*$$

$$\delta b(t) = b(t) - b^*$$

根据下面的方块图和公式模型,系统的传递函数如下:

$$G(s) = \frac{\frac{C^2}{2N} e^{-R_0 s}}{(s + \frac{2N}{R_0^2 C})(s + \frac{1}{R_0})} G_{AQM}(s)$$

<sup>\*</sup>) 基金项目:国家自然科学基金项目,项目编号:60174014。徐跃东 硕士研究生,研究兴趣包括 Internet 拥塞控制。王 华 美国波士顿大学航空与机械工程系教授,IEEE 高级会员,长江学者,特聘教授。关治洪 教授,博士生导师。



竞争一条带宽为3Mbps的链路,平均分组大小为1000字节。这些FTP流的传输时延在40ms~50ms之间,RED算法的最小和最大门限值分别是50和100,权值和最大丢包率采用缺省值,分别为0.002和0.1,仿真时间为50秒。PI算法的参考队列长度修改为80,其余的参数配置与NS的PI测试参数配置相同。而本文设计的模糊逻辑拥塞算法是建立在实验和经验知识基础上,一般将参照队列长度设置为队列缓存的大小。瞬时队列长度的仿真结果如图7~9。

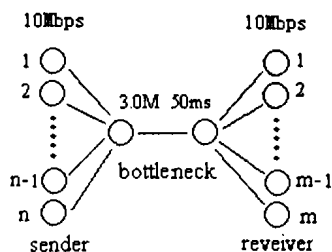


图6 网络拓扑结构

队列长度比模糊逻辑算法要剧烈得多,需要更长的时间收敛到平衡点。

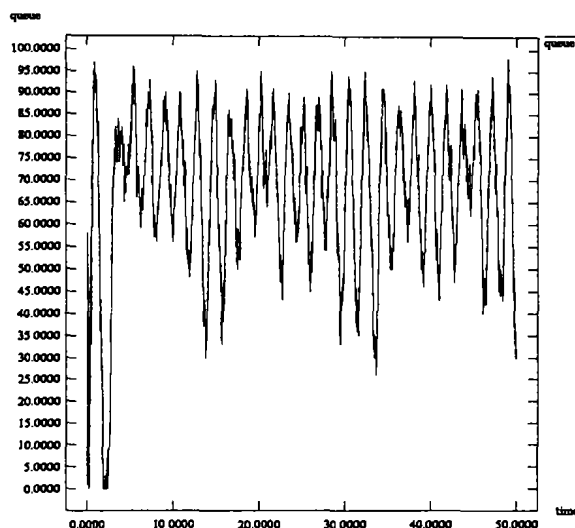


图9 PI 队列

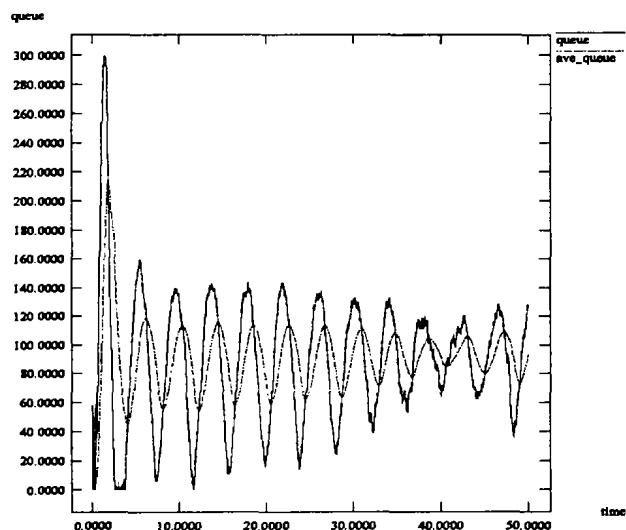


图7 RED 队列

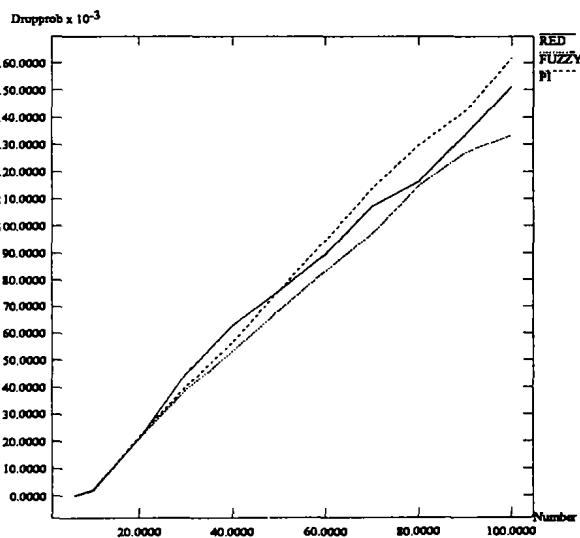


图10 丢包率

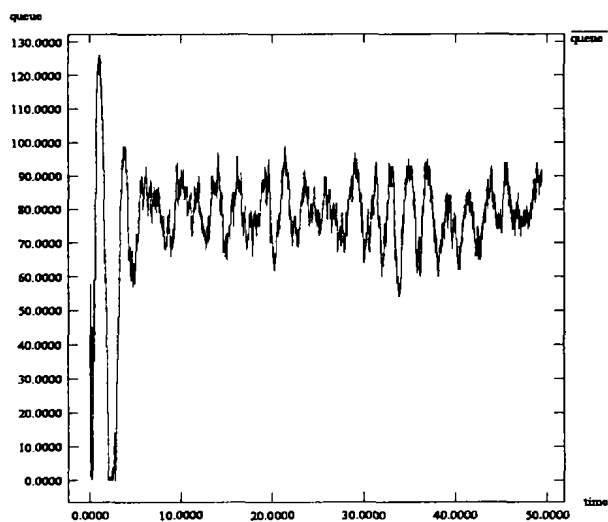


图8 模糊队列

从图7,8,9很明显地看出,RED算法很容易导致队列长度的不稳定,甚至严重的振荡,恶化了系统的性能。RED算法的超调也非常大,几乎接近缓冲区的总长度。尽管模糊逻辑算法和PI算法的仿真结果有很多相似的地方,PI算法的瞬时

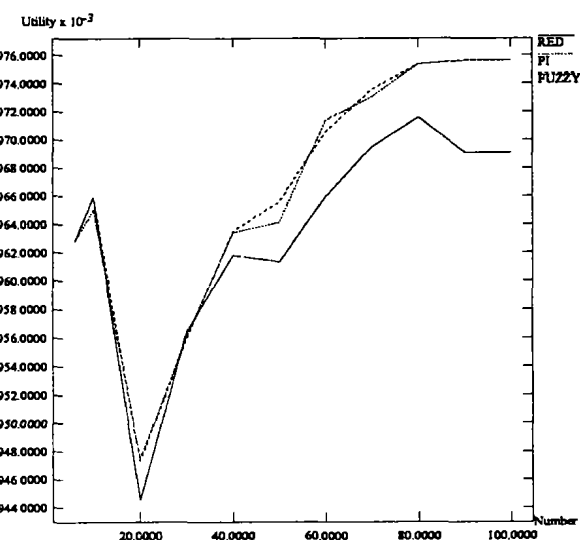


图11 链路的利用率

我们进一步比较在网络连接变化的情况下,RED,PI,模  
(下转第111页)

显示结果。清除 DataSet 中数据表的方法为:

```
DataSet.Tables.Clear()
```

采用了以上命令后,就不能直接使用 DataGrid 的分页功能,因为每次提交都要清除数据表,重新调用存储程序,所得结果始终都是满足条件的第一页的记录,而不能达到分页效果。所以,仍然用查询图形(图像)素材的方法,利用 ViewState 和存储过程中的条件通过代码来分页。

#### 6.4 声音和视频素材的预览

当查询出声音或视频素材的基本资料后,应该提供给用户预览的功能。为了播放声音和视频,在 .NET 中可采用现成的 COM 控件。本项目中,在网页中引入 Windows Media Player 控件,它既可以播放声音,又可以播放视频信号。在 DataGrid 中增加一列超级链接按钮,使用它们把选中的声音或视频素材文件路径和文件名赋给 Windows Media Player

控件的 filename。这样就可以对选中的素材进行预览。

**结束语** 以上对 ASP.NET 在基于 B/S 结构的教育资源数据库中应用进行了探讨,并以实例方式提出了基本结构和部分实现技术。由于 ASP.NET 在动态网页设计方面日益显现的优势,使用它进行功能强大的 Web 项目设计也日渐普遍,在远程教育方面的应用前景也十分广阔。

#### 参考文献

- 1 但正刚,等. ASP.NET 高级编程. 北京:清华大学出版社,2002
- 2 王超,张鹏. ASP.NET/XML 深入编程技术. 北京:北京希望电子出版社,2002
- 3 恒逸资讯,郑淑芬,许嘉仁,张书源. 新一代 C# 与 ASP.NET 权威指南. 北京:中国青年出版社,2001
- 4 现代远程教育建设技术规范(试行). 2000
- 5 中国现代远程教育技术标准体系(已发布试用标准简介). 2002

(上接第35页)

糊逻辑算法的丢包率和链路带宽的利用率。图10,11表明当网络连接数目从6增加到100时,模糊逻辑控制算法仍然保持较高的带宽利用率和较低的丢包率,表现出良好的鲁棒性。

#### 4.2 非响应流的仿真

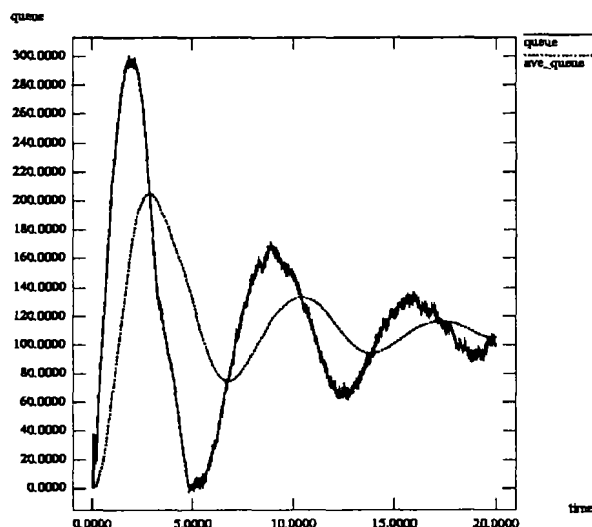


图12 具有 CBR 流的 RED 网关

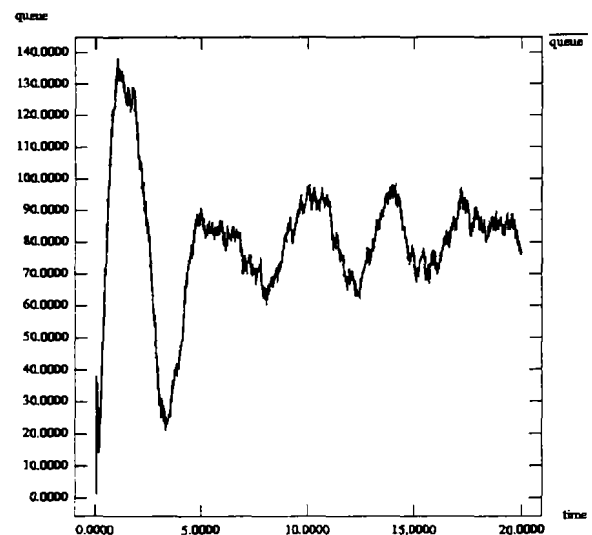


图13 具有 CBR 流的模糊网关

这组实验采用类似4.1节实验的网络拓扑结构,区别在于

40条 FTP 数据流和一条速率为1Mbps 的 CBR 数据流竞争带宽为2.0Mbps 的链路。以 RED 算法和模糊逻辑算法为例(图12、图13),模糊逻辑算法避免队列的振荡,并保持较低的队列长度和较小的时延抖动。

**结论** 由于 Internet 中数据流的突发性和网络的复杂性,即使通过网络物理器件性能的提高,拥塞依旧会发生,这是由于网络的非线性本质所决定。本文研究了拥塞控制系统的数学模型,提出一种新的基于模糊逻辑拥塞控制策略,并与 RED,PI 算法进行仿真比较研究系统的性能。通过实验,我们发现 RED 算法不仅对于参数的变化十分敏感<sup>[3]</sup>,而且其性能往往受到网络条件的影响,在负载较重时,缓冲队列剧烈振荡。PI 算法也存在队列波动较大的缺陷。模糊逻辑算法提高了系统的性能,如较低的队列长度和丢包率,较小的时延抖动,较高的链路利用率以及鲁棒性。

#### 参考文献

- 1 Floyd S, Jacobson V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance. IEEE / ACM Transaction on Networking, 1993,1(4)
- 2 Low S H. TCP Congestion Controls: Algorithms and Models. Tutorial Slides, 2000. Available at: <http://netlab.caltech.edu>
- 3 Ranjan P, Abed E H. Nonlinear Instabilities in TCP-RED. In: Proc. of IEEE Infocom, 2002
- 4 Wu F C, Kandlur D, et al. A Self-Configuring RED Gateway. In: Proc. of IEEE Infocom 1999. New York, USA. 1999. 1320~1328
- 5 Ott T J, Lakshman T V, Wong L H. SRED: Stabilized RED. In: Proc. of IEEE Infocom 1999. New York, USA. 1999. 1346~1355
- 6 Wu C F, Kandlur D, et al. Blue: A New Class of Active Queue Management Algorithms. [Technical Report]. 1999. <http://www.eecs.umich.edu/~wuchang/blue/>
- 7 Hollot C V, Misra V, Towsley D, Gong W B. Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows. In: Proc. of IEEE Infocom 2001. Volume, 3, 1510~1519
- 8 Athuraliya S, Li V H, Low S H, Yin Q. REM: Active Queue Management. IEEE Networks, 2001,15(3): 48~53
- 9 Kunniyur S, Srikant R. Analysis and design of an Adaptive Virtual Queue (AVQ) Algorithm for Active Queue Management. ACM Computer Communication Review, 2001,31(4): 123~134
- 10 Hu Q, Petr D W. A Predictive Self-Tuning Fuzzy-Logic Feedback Rate Controller. IEEE/ACM Transaction on Networking, 2000,8(6)
- 11 Ascia G, Catania V, Ficili G, Panno D. A Fuzzy Buffer Management Scheme for ATM and IP Networks. In: Proc. of IEEE Infocom 2001 New York, USA. 2001
- 12 Loukas R, Kohler S, Andreas P, Tran-Gia P. Fuzzy RED: congestion control for TCP/IP Diff-Serv. In: Electrotechnical Conf. 2000. MELECON. 10th Mediterranean, 2000,1:19~22
- 13 Misra V, Gong W-B, Towsley D. Fluid-based Analysis of a Network of AQM Routers Supporting TCP Flows with an Application to RED. Conference of ACM Sigcom00, 2000
- 14 LBNL Network Simulator. Available at <http://www.isi.edu/nsnam/ns>