

文章编号: 1001-0920(2004)09-1064-03

主动队列管理中 PI 字节模式和包模式

蔡小玲¹, 汪小帆², 王执铨¹, 孙金生¹

(1. 南京理工大学 自动化系, 江苏 南京 210094; 2 上海交通大学 自动化系, 上海 200030)

摘要: 主动队列管理(AQM)是近年来 TCP 端到端拥塞控制的一个研究热点, 其中 PI 拥塞控制机制是建立在 RED 拥塞控制基础上的一种控制机制 PI 机制基于两种方法控制网络拥塞现象: 跟踪实时队列长度及拥塞情况下以一定概率丢弃到达队列的数据包 以上方法的计算可以基于包数目或字节数, 而方法选择的不同对网络会产生不同的影响 仿真量化地测定使用不同队列计算和标注方法情况下对通信性能产生的影响 同时, PI 控制器与 RED 控制器在相同模式和参数设置下进行比较, 可显示出 PI 控制具有一定的优越性

关键词: 主动队列管理; PI; RED; 比例积分控制; 字节模式; 包模式; 标注概率

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

PI s byte mode and packet mode in AQM

CAI Xiaoling¹, WANG Xiaofan², WANG Zhiquan¹, SUN Jinsheng¹

(1. Department of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2 Department of Automation, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China Correspondent: CAI Xiaoling, E-mail: cxl_hello@163.com)

Abstract: AQM is hot in the current researches about TCP end-to-end congestion control PI congestion control algorithm is one of active queue management mechanism. PI depends on two calculations to control congestion: tracking real-time queue length and the probability that an incoming packet is marked. These two calculations can be done in terms of the number of the packets arriving at the router or in terms the size of those packets (in bytes). These calculations offer different costs and benefits to traffic. The impact of using the different queuing and marking probability on the performance of traffic traversing is analyzed. At the same time, the PI mechanism is compared with the RED mechanism, and the result shows that the former has some advantages.

Key words: AQM; PI; RED; byte-mode; packet-mode; packet marking probability

1 引言

近年来, 网络拥塞控制受到了广泛的关注 以前几乎所有 TCP 流量控制的工作都将重点放在终端系统 最近, 越来越多的研究更强调网络中间节点所发挥的作用, 路由器队列机制受到了关注 队列的传统处理方法是丢尾, 而 AQM 机制是提前将拥塞程度通知源端, 比较典型的 AQM 算法包括 RED^[1]、REM^[2]、PI^[3,4]等

2 PI 控制器的字节模式和包模式

文献[4, 5]描述了含 PI 控制机制的 TCP 流量控制系统, 文中采用的 PI 参数设置为: $K_P = 1.8194 \times 10^{-5}$, $K_I = 9.6426 \times 10^{-6}$. PI 的传递函数为

$$G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$$

本文仿真中, 各源端的包被设置成不同的大小, 以此来研究包大小的不同设置所带来的影响 仿真

收稿日期: 2003-09-18; 修回日期: 2004-03-11

基金项目: 博士点基金资助项目(20020288025); 江苏省自然科学基金资助项目(BK2001054)

作者简介: 蔡小玲(1977—), 女, 江苏常州人, 博士生, 从事控制理论与控制工程的研究; 王执铨(1939—), 男, 湖南武汉人, 教授, 博士生导师, 从事混沌控制理论及应用、动态大系统的研究

器采用 ns-2 1 b9a 为估测 PI 的性能, 构造一个含有路由瓶颈的网络拓扑, 如图 1 所示 瓶颈含一个 1.5 M bps 的链路, 单向延迟为 70 m s, 各有 5 个节点与路由器相连

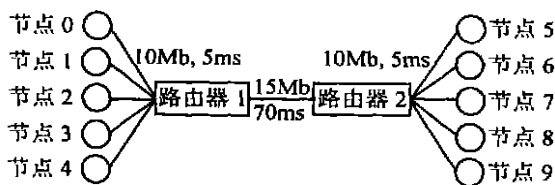


图 1 仿真拓扑图

为在瓶颈产生通信, 10 个节点都连接了 FTP 发送器和接收器, 这样在一个方向上同时有 10 个数据流在争用有限的带宽 所有的 TCP 连接都使用 SACK^[6], 最大声明窗口为 500 个包 10 个 TCP 发送端的包大小是不同的, 以此观察不同包大小的数据流间的相互作用 缓存设为 70 个包, 期望平均队列大小为 500 字节, 参考队列长度 qref_i 设为默认的 50 仿真运行 5 m in

文中使用一些缩写来表示不同计算模式 “pq” 表示根据包计算队列长度, “bq” 表示根据字节计算队列长度 类似地, “pm” 表示基于包计算丢弃率, 而 “bm” 表示基于字节计算丢弃率 它们的组合表示两种选择的组合, 如 “pq_i bm” 表示根据包计算队列长度并根据字节大小计算丢弃率

3 衡量准则及结果

3.1 衡量准则

本文采用两个准则来比较 PI 控制性能 第一个准则是瓶颈利用率, 定义为通过瓶颈链路的所有字节占有所有数据包 (包括数据包、确认帧、报头字节和数据字节) 的比率; 本文还采用 Jain 公平指数^[7] 测量不同队列的公平性

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (1)$$

其中: x_i 表示一个特定节点收到的所有的字节数, n 是节点总数 如果指标为 1, 表示每个客户都发送了相同数目的字节

3.2 仿真结果

3.2.1 包大小相同的仿真

每次仿真所有的数据包都设置成相同大小, 这样便于观察不同模式的特性 采用相同包大小是为了防止采用不同队列长度时混淆这些特性 仿真中设置的包大小分别为 296, 576, 1 500, 4 352 和 1 600 字节 其中的一些包大小代表了 Internet 链路的 M TU 值, 如 Ethernet 的 1 500 字节, 而其他的用来

检测参数性能 (如 16 000 字节), 采用图 1 提供的网络拓扑和参数, 仿真结果参见表 1 和表 2

表 1 各流设置相同包大小时的 PI 带宽利用率

PI	bq _i bm/%	bq _i pm/%	pq _i bm/%	pq _i pm/%
296	94.3	94.5	80.7	81.1
576	83.5	91.1	83.7	83.1
1 500	87.5	88.8	86.7	86.8
4 352	82.8	82.4	84.6	82.8
16 000	69.2	71.4	80.6	77.8

表 2 各流设置相同包大小时的 RED 带宽利用率

RED	bq _i bm/%	bq _i pm/%	pq _i bm/%	pq _i pm/%
296	87.6	83.8	76.2	72.2
576	81.6	81.6	80.4	80.7
1 500	76.0	80.9	85.1	89.1
4 352	71.8	79.6	80.7	89.6
16 000	62.2	61.1	59.8	80.0

表 1 显示了所有数据源的平均利用率 (包括数据和 ACK 包), 可以看出, 基于字节的计算模式的性能普遍好于包模式, 而包大小为 16 000 字节时, 情况则相反 因为相对于包的计算, 根据字节计算时, 对于包比较大的情况, 队列更容易拥塞, 导致更多的包被丢弃 相对于采用包来计算丢弃率, 采用字节计算时, 在包为 1 500, 4 352, 16 000 字节的情况下, 每个包被标注的概率要分别乘以 3, 8, 7, 32 的因子 因此包较大时, 带宽利用率普遍不如包较小的情况

注意包为 296 字节时, 不同模式的带宽利用率的差别可达 13.8%, 但在包设置为 576~ 4 352 字节之间时, 结果差别不是很大, 说明不同模式对不同网络设置产生的影响也不同

本文计算了每个仿真的公平指数, 基本上都大于 0.90, 有的甚至达到了 0.99, 显示了采用不同包大小时高度的公平性 小于 0.90 的一种情况是 bq_i bm 队列处理 16 kB 包

另外, 还将 PI 的通信结果和 RED 在相同网络环境下的通信结果^[8] (表 2) 相比较 由两个表比较可知, 在图 1 的网络情况下, PI 的控制机制无论是哪种情况都取得了比 RED 更高的带宽利用率, 有的甚至比 RED 高出了 10.8%. 因为 RED 本身算法的限制, 它根据平均队列长度来计算丢弃概率, 而 PI 跟踪的是实时队列长度, 所以 RED 的响应速度远小于 PI 机制, 这也可能是 PI 取得更多带宽的原因之一 而相对公平性来说, PI 不如 RED, RED 所达到的公平指数基本上达到 0.99 以上, 这也是

RED 的一个优越性

从表中也可以看出,无论是在PI还是在RED的情况下,丢弃概率的模式选择对结果的影响不是很大

3.2.2 极端情况的仿真

本章节的仿真采用的包大小与基本仿真中的一样(296, 576, 1 500 和 16 000 字节),包之间的大小差异比较大,每个方向的每个FTP数据流都使用不同包大小

表3和表4分别显示了采用PI和RED控制情况下极端包大小组合的仿真结果。报告值是在拓扑的右边接收端中检测的,包括到达接收端的数据和到达发送端的ACK。表中*表示瓶颈链接的总利用率,#表示PI的公平指数

表3 极端情况下的PI仿真结果

PI	pq		bq	
	*	#	*	#
pm	79.3%	0.4541	71.4%	0.3158
bm	78.9%	0.5500	71.3%	0.3027

表4 极端情况下的RED仿真结果

RED	pq		bq	
	*	#	*	#
pm	84.6%	0.4124	68.3%	0.5492
bm	59.8%	0.8153	57.5%	0.9346

首先注意到PI仿真结果中,相对于采用字节计算模式,采用包计算模式可获更多总带宽利用率和更高的公平性,所获带宽率也比较均衡,都在70%以上,情况要比RED好。但是,PI所获得的公平性要比RED的差很多,有的低近0.63,这与前面的仿真结果一致。而且,由图1可以看出,pq_pm队列得到了比其他3种变化更多的总带宽利用。在这种情况下,大的包可以帮助得到更多的带宽,但并不能增加队列的占用率

对于PI选择计算模式,需要权衡公平指数和利用率。但基本上说,选择包计算队列会取得更高的带宽率和公平性

3.2.3 包大小相似的仿真

此仿真中采用的包都设置成相似大小的包,第1个仿真中采用的包字节大小各为:350,500,750,800,1000;第2个仿真中为:1个1250,3个1500,1个1750。因为两个仿真结果相差不大,故只提供仿真2的结果,如表5所示

表5 相似包设置的PI仿真结果

RED	pq		bq	
	*	#	*	#
pm	79.3%	0.9717	88.7%	0.9886
bm	87.1%	0.9721	88.9%	0.9736

从表中可以看出,当各数据流的数据包大小相近时,PI可以同时取得高带宽率和公平指数,且与文献[7]的结果相比,在bq_bm情况下,带宽率要高很多,最大差值可达22.7%。

4 结论

本文研究了PI控制机制的不同运算模式(即选择不同方式计算队列长度,及不同方式计算丢弃概率),并将其仿真结果与RED的仿真结果相比较,得到如下结果:

- 1) 极端情况的仿真证实,即使在相同模式下,不同包大小存在性能的差异性;
- 2) 计算丢弃概率时,计量单位的选择对其性能影响更大,这一点与笔者所做的REM仿真结果一致,且其队列测量模式产生的结果差别很小;
- 3) 相同情况下PI可以获得比RED更高的带宽率,但公平性比RED差

AQM作为对网络拥塞控制的一种较有效的机制,受到了广泛的关注,而路由器的队列管理机制作为中间环节,现在也是一个研究的热点,未来一定可以研究出更完美的算法,保证网络的畅行无阻

参考文献(References):

- [1] Sally Floyd, Van Jacobson. Random early detection gateways for congestion avoidance [J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1993, 1(4): 397-413
- [2] Sanjeeva Arunaliya, Victor H Li, Steven H Low, et al. REM: Active management [J]. *IEEE Network*, 2001, 15(3): 48-53
- [3] Hollot C V, Misra V, Towsley D, et al. Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows [J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2002, 47(6): 945-959
- [4] Hollot C V, Misra V, Towsley D, et al. A control theoretic analysis of PI [A]. *Proc of INFOCOM 2000 Conf* [C]. Tel Aviv, Israel, 2000
- [5] Misra V, Gong W B, Towsley D. Fluid-based analysis of a network of AQM routers supporting TCP flows with an application to PI [A]. *Proc of the ACM SIGCOMM 2000 Conf* [C]. Stockholm, 2000. 151-160

(下转第1070页)

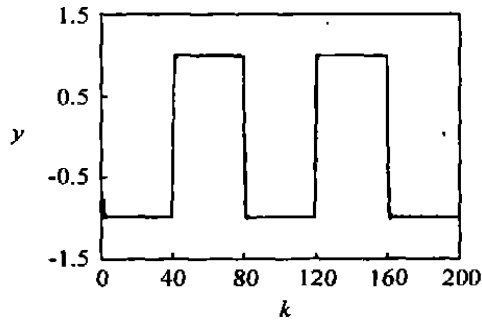


图3 方波参考输入响应

出 $y(3)$ 和模型输出 $\hat{y}(3)$ 很好地跟踪了参考值 在 $k = 50 \sim 100$ 时出现一个随机阶跃干扰, 在 $k = 50$ 时出现了偏离, 但在下一采样周期, 便抑制了干扰的影响, 表现出良好的鲁棒性

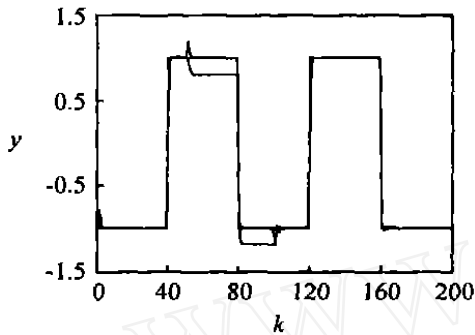


图4 方波参考输入的响应

4 结 论

利用 SVMR 进行控制方法的研究是一种新的尝试 将 SVMR 应用于非线性预测控制的模型预测, 将 GA 用于滚动优化的非线性预测控制结构, 不需了解太多对象的先验知识, 只研究对象的输入输出数据便可以对非线性系统进行控制 仿真实验表明, 这种方法效果好, 是预测控制中的一种重要方法

参考文献(References):

- [1] 徐立鸿 预测控制的研究现状及问题[J] 控制理论与应用, 1994, 11(1): 121-125
(Xu L H. Predictive control current state and problem [J] *Control Theory and Application*, 1994, 11(1): 121-125)
- [2] 席裕庚 预测控制[M] 北京: 国防工业出版社, 1993
- [3] Andreas Draeger, Sebastian Engell, Horst Ranke Model predictive control using neural networks [J] *IEEE Control systems October*, 1995, 3(s): 61-66
- [4] 王定成, 方廷健, 高理富, 等 支持向量机回归在线建模及应用[J] 控制与决策, 2003, 18(1): 89-91.
(Wang D C, Fang T J, Gao L F, et al Support vector machines regression on-line modelling and its application [J] *Control and Decision*, 2003, 18(1): 89-91)
- [5] 王定成, 方廷健, 唐毅, 等 支持向量机回归与控制的综述[J] 模式识别与人工智能, 2003, 16(2): 192-196
(Wang D C, Fang T J, Tang Y, et al Review of support vector machines regression theory and control [J] *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2003, 16(2): 192-196)
- [6] Vapnik V. *The Nature of Statistical Learning Theory* [M] New York: Springer, 1999
- [7] Miler K-R, Smola A J, Ratsch G, et al Predicting time series with support vector machines[A] *Proc of ICANN 97, Springer Lecture Notes in Computer Science*[C] New York: Springer, 1997. 999-1004
- [8] Drucker H, Burges C J C, Kaufman L, et al Support vector regression machines [J] *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1997: 9(S): 155-161.
- [9] Onnen C, Babuska R, Kaymak U, et al Genetic algorithms for optimization in predictive control [J] *Control Engineering Practice*, 1997, 5(S): 1363-1372

(上接第 1066 页)

- [6] Matt Mathis, Jamshid Mahdavi, Sally Floyd, et al TCP selective acknowledgement options [DB/OL] [http://www. faqs org/rfcs/rfc2018 htm1](http://www.faqs.org/rfcs/rfc2018.html) 1996
- [7] Raj Jain. *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design,*

Measurement, Simulation and Modeling [M] New York: Wiley-Interscience, 1991.

- [8] Wesley M Eddy, Mark Alman. A comparison of RED's byte and packet modes[J] *Computer Networks*, 2003, 42(2): 261-280