

一种改进的主动队列管理算法^{*})

陈建孝¹ 易 勇² 周驰岷²

(韩山师范学院数学与信息技术学院 潮州 521041)¹ (成都大学信息科学与技术学院 成都 610106)²

摘 要 传统的主动队列管理算法(AQM: Active Queue Management)存在响应时间较长等问题,PID(Proportional Integral Differential)主动队列管理算法对此作出了一定改进,然而在时延较大时也不能使队列长度收敛到期望值。本文利用BP神经网络自适应控制的特点,针对无线信道(TCP Westwood)提出了一种基于BP神经网络整定的PID主动队列管理算法。

关键词 主动队列管理,PID BP神经网络,无线信道

An Enhanced Active Queue Management Algorithm

CHEN Jian-Xiao¹, YI Yong², ZHOU Chi-Min²

(Department of Mathematics and Information Technology, Hanshan Teachers College, Chaozhou 521041)¹

(Faculty of Information Science and Technology, Chengdu University, Chengdu 610106)²

Abstract The AQM(Active Queue Management) algorithm have too long respond time and some other problems. Though it makes some enhancement, the PID (Proportional Integral Differential) active queue management algorithm can not make the queue length converge to expectation with longer delay. Because of self-adapt control of BP(back-propagation) neural network, this issue bring forward a BP neural network based PID active queue management algorithm on wireless channel (TCP Westwood).

Keywords AQM, PID BP neural network, Wireless channel

在 Internet 发展初期,拥塞控制主要通过 TCP 协议中基于滑动窗口的流量控制完成^[1],TCP 的流量控制算法也经过了 Tahoe, Reno, New Reno, SACK 和 Vegas 等多个版本的改进。目前,主动队列管理(Active Queue Management, AQM)算法^[2]成为网络拥塞控制领域的研究重点。TCP Westwood(TCPW)^[3,4]是针对无线信道的传输层控制协议,它较好地解决了无限误码导致丢失的分组丢失对网络性能影响的问题。为了进一步提高传输性能,文[3]将基于 PID 的 AQM 与 TCPW 相结合,使 TCP 协议具有较高的拥塞窗口,提高了带宽利用率。

1 TCP 拥塞控制模型

Misra 等^[6]把 Internet 中的信息流看作一个连续的流体,建立了 AQM 作用下 TCP 连接的拥塞窗口的非线性动态模型:

$$\left. \begin{aligned} W'(t) &= \frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)W(t-R(t))}{2R(t-R(t))} p(t-R(t)) \\ q'(t) &= \frac{N(t)}{R(t)} W(t) - C \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中, $W(t)$ 为窗口大小, $N(t)$ 为 TCP 连接数, C 为连接节点的服务能力, $R(t)$ 为往返时延, $q(t)$ 为连接节点平均队列长度, $p(t)$ 为连接节点的包丢失率。随着网络线路上硬件和网络能力的提高,队列时延会逐渐减少,与传播时延相比非常小,从而在网络通信时延中可以只考虑传播时延,而忽略队列时延。上式中,第一个微分方程描述的是 TCP 的 AIMD(Additive Increase Multiplicative Decrease)策略,而第二个方程描述了路由器缓存空间的变化。

Hollot 等人^[7]以该动态模型为基础,用小信号理论在稳定工作点对其进行局部线性化,得到了 TCP 拥塞控制系统的线性化模型。图 1 为其系统方框图,其中 R_0 为稳定工作点的往返时间。

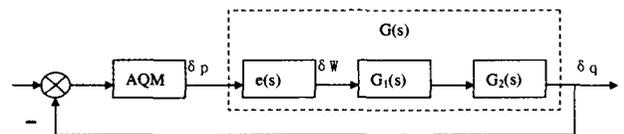


图 1 TCP 的 AQM 系统方面框图

AQM 作为控制器,根据系统的输出队列长度 q 作为输入量来产生被控对象的输入丢失概率 p ,从而使队列长度达到期望值。被控对象传递函数 $G(s) = e(s)G_1(s)G_2(s)$,其中:

$$G_1(s) = \frac{R_0 C^2}{s + \frac{2N}{R_0^2 C}}, G_2(s) = \frac{N}{s + \frac{1}{R_0}} \quad (2)$$

2 改进的 PID 主动队列管理算法

根据上述模型,产生了 PI、PID 等主动队列管理算法。这些算法改善了网络的拥塞性能,但在大时滞、小期望队列时,性能有所下降。

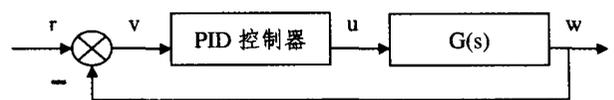


图 2 PID 主动队列管理算法框图

^{*}基金项目:国家自然科学基金,60573043。陈建孝 讲师,研究方向:计算机教育,计算机软件与理论;易 勇 教授,博士,主要从事计算机网络、分布式测控网络、Petri 网理论教学与研究。

2.1 PID 主动队列管理算法

利用上述 TCP 拥塞控制模型,得到加入了 PID 的主动队列管理算法^[13],其系统框图如图 2 所示。PID 表达式的离散形式为(3):

$$Vu(x) = k_p \left\{ \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) v(x) - \left(1 + \frac{2T_d}{T} \right) v(x-1) + \frac{T_d}{T} v(x-2) \right\} \quad (3)$$

其中 $T_i = \frac{k_p}{k_i}$, $T_d = \frac{k_d}{k_p}$, T 为采样时间。

采用文[13]中得到的调节参数: $k_p = 2.583911 \times 10^{-6}$, $k_i = 2.982912 \times 10^{-5}$, $k_d = 3.507352 \times 10^{-8}$ 。

2.2 基于 BP 神经网络整定的 PID 主动队列管理算法

本文利用 BP 神经网络^[10]将无线信道(TCPW)中继节点的 AQM 和源端链路的拥塞窗口调整相结合,设计了一种改进的 PID 控制器,系统框图如图 3 所示。BP 神经网络根据系统的运行状态,调节 PID 控制器的参数,以期达到某种性能指标的最优化。即使输出层神经元的输出状态对应于 PID 控制器的 3 个可调参数 k_p 、 k_i 、 k_d ,通过神经网络的自学习、调整权系数,使其稳定状态对应于某种最优控制下的 PID 控制器参数。

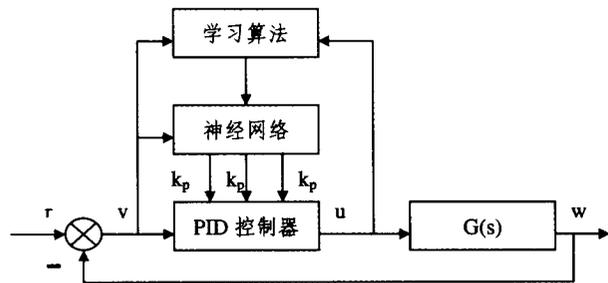


图 3 基于 BP 神经网络的 PID 主动队列管理算法框图

BP 神经网络是一个 3 层网络,有 M 个输入节点, N 个隐含节点, 3 个输出结点。输入节点对应所选的系统运行状态量,输出节点分别对应 PID 控制器的 3 个可调参数 k_p 、 k_i 、 k_d 。网络输入层节点的输出如(4),其中输入变量 M 的个数取决于被控系统的复杂程度:

$$O_i = x_{y-i} = v(y-i), (i=0,1,2,\dots,M-1) \quad (4)$$

网络隐含层的输入输出如下:

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_j(y) &= \sum_{i=0}^M W_{ij} O_i(y) \\ O'_j(y) &= f(\Gamma_j(y)), (j=0,1,\dots,N-1) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式(5)中 W_{ij} 为隐含层加权系数, W_{iM} 为阈值。隐含层神经元的活化函数取正负对称的 Sigmoid 函数为:

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{v^x - v^{-x}}{v^x + v^{-x}} \quad (6)$$

网络输出层的输入输出如下:

$$\left. \begin{aligned} \Gamma'_k(y) &= \sum_{j=0}^N W'_{kj} O'_j(y) \\ O''_k(y) &= g[\Gamma'_k(y)], (k=0,1,2) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

输出层输出结点分别对应 3 个可调参数 k_p 、 k_i 、 k_d ,因为参数不能为负,所以输出层神经元的活化函数取非负的 Sigmoid 函数:

$$g(x) = \frac{1}{2} (1 + \tanh(x)) = \frac{v^x}{v^x + v^{-x}} \quad (8)$$

取性能指标函数如下:

$$D = \frac{1}{2} [r(y+1) - w(y+1)]^2 = \frac{1}{2} v^2(y+1) \quad (9)$$

依最速下降法修正网络的权系数,按 D 对加权系数的负梯度方向搜索调整,并附加一个使搜索快速收敛全局极小的惯性项式(10),其中 η 为学习效率, α 为惯性系数:

$$VW'_{kj}(y+1) = -\eta \frac{\partial D}{\partial W'_{kj}} + \alpha VW'_{kj}(y) \quad (10)$$

经过以上分析,我们得到网络输出层权的学习算法为:

$$\left. \begin{aligned} VW'_{kj}(y+1) &= \eta \delta'_k O'_j(y) + \alpha VW'_{kj}(y) \\ \delta'_k &= e(y+1) \operatorname{sgn} \left(\frac{\partial w(y+1)}{\partial O'_k(y)} \right) \frac{\partial Vu(y)}{\partial O'_k(y)} g'[\Gamma'_k(y)] \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

其中 $g'(x) = g(x)(1-g(x))$

结论 本文通过将 BP 神经网络用于无线信道的 PID 主动队列管理,根据网络层中继节点队列的变化信息,通过神经网络将其反馈到分组发送的源端。对源端 TCPW 协议控制下的拥塞窗口调整作出优化,进一步提高了无线信道的性能。由于基于 BP 神经网络的 PID 控制器具有参数自整定的功能,因而由它构成的控制系统的控制品质明显优于常规 PID 控制,能够适应被控对象在较大范围内的变化,具有较强的自适应能力和鲁棒性,是一种值得推广的针对不确定性大延迟对象的控制方案。

参考文献

- 1 Jacobson V. Congestion avoidance and control. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1988, 18:314~329
- 2 Braden B, Clark D, Crowcroft J. et al. Recommendations on queue management and congestion avoidance in the Internet. RFC2309, Internet Engineering Task Force, 1998, 1~17
- 3 Gerla M, Sanadidi M Y, Wang R, et al. TCP Westwood: Congestion Window Control Using Bandwidth Estimation [C]. Proceedings of IEEE Globe com, 2001, 3:1698~1702
- 4 Casetti M, Gerla M, Mascolo S. al. TCP Westwood: Band width Estimation for Enhanced Transport over Wireless Links [A]. ACM Mobicom [C], 2001, 287~297
- 5 续欣, 汤凯, 马刘非. 无线误码信道上的拥塞控制策略[J]. 通信学报, 2004, 25(12): 8~13
- 6 Morari V, Gong W, Towsley D. Fluid-based analysis of a network of AQM routers supporting TCP flows [A], In: Proc. ACM/SIGCOMM 2000 [C], Sweden, 2000. 151~160
- 7 Hollot C, Misra V, Towsley D, Gong W. Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2002, 47:945~959
- 8 Richard Stevens W. TCP/IP Illustrate
- 9 Padhye J, Firoiu V, Don Towsley Y, Kurose J. Modeling TCP Throughput: A Simple Model and its Empirical Validation
- 10 杨亚伟. BP 算法优化及应用研究[C]. 见: 2005 年全国理论计算机科学技术年会论文集, 2005
- 11 胡方伟, 葛思攀, 张志祥. 一种新的基于遗传算法和 BP 算法的模糊神经网络[C]. 见: 冶金轧制过程自动化技术交流会论文集, 2005
- 12 张运陶, 杨晓丽. 自适应径向基神经网络及其应用[C]. 见: 第十届全国信息技术化工应用年会论文集, 2005
- 13 任丰原等. 主动队列管理中的 PID 控制器[J]. 电子与信息学报, 2003, 1: 94~99