

基于 CHOKe 模型和神经网络的拥塞控制方法

李 琴,周井泉

(南京邮电大学 电子科学与工程学院,江苏 南京 210003)

摘 要: PID 控制能有效实现网络拥塞控制,实现对网络的主动队列管理,但是 PID 控制器的参数是固定的,不能实时调整。针对网络拥塞控制问题中的参数时变、非线性等问题,文中将 CHOKe 模型中的“击中”理念和神经网络中的可变学习速率的反向传播算法(VLBP 算法)相结合,提出了一种基于 CHOKe 模型和神经网络的 PID 拥塞控制的算法-CNRPID 算法。该算法能够在线调节 PID 控制器中的参数。仿真结果表明:CNRPID 算法的鲁棒性和平均队列长度等都要优于传统的 PID 算法。

关键词: 拥塞控制;CHOKe 模型;神经网络;可变学习速率的反向传播算法

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)04-0096-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.04.024

Congestion Control Method Based on CHOKe Model and Neural Network

LI Qin,ZHOU Jing-quan

(College of Electronic Science and Engineering,Nanjing University of Posts & Telecommunications,
Nanjing 210003,China)

Abstract: PID controller is an effective AQM method to control network congestion,but the parameters of the PID controller are fixed,which can't adjust. In view of variable parameters and nonlinear problems in network congestion control,a new network congestion control algorithm,CNRPID,based on "hit" concept in CHOKe model combined with Variable Learning rate Back Propagation algorithm (VLBP algorithm) in neural network is proposed. The new algorithm can adjust the parameters of PID control online. The simulation results show that the robust and average queue length of CNRPID algorithm is superior to traditional PID algorithm.

Key words: congestion control;CHOKe model;neural network;VLBP algorithm

0 引 言

近年来,主动队列管理算法已经成为了网络拥塞控制问题研究的热点之一,专家学者们相继提出了 RED^[1],ARED^[2],PID^[3],PID-Controller^[4]等 AQM^[5-7]算法。为了使 AQM 算法能够更好地适应网络的动态变化,专家学者们将神经元应用于 PID 控制,文献[8]提出了单神经元自适应 PID 控制器在 AQM 中的应用,文献[9]提出了改进的单神经元自适应的 PID 控制算法。

为了提高单神经元的 PID 控制算法的性能,文中引入了 CHOKe 模型中的“击中”理念,将其与神经网络中的 VLBP 算法相结合,设计了一种新的主动队列

算法 CNRPID,实现 PID 控制器参数的在线调节。

1 VLBP 算法

VLBP 网络是三层神经网络,如图 1 所示。

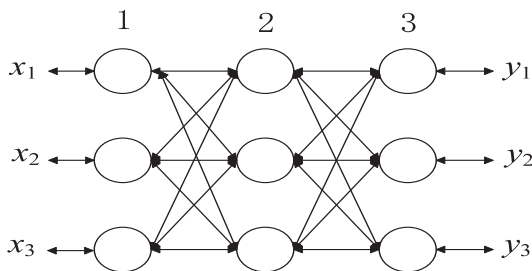


图1 VLBP 网络原理图

收稿日期:2013-06-11

修回日期:2013-09-19

网络出版时间:2014-01-28

基金项目:江苏省自然科学基金项目(CXLX12_0471)

作者简介:李 琴(1989-),女,江苏南通人,硕士研究生,研究方向为网络的可靠性技术;周井泉,博士,教授,硕士生导师,研究方向为通信网络的信息管理和控制。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140128.1152.045.html>

VLBP 神经网络输入层的输入为:

$$O_i^{(1)} = X(i) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

网络隐含层的输入、输出分别为:

$$\text{net}_j^{(2)}(k) = \sum_{i=0}^3 w_{ji}^{(2)} O_i^{(1)} \quad (2)$$

$$O_j^{(2)}(k) = f(\text{net}_j^{(2)}(k)) \quad (j = 1, 2, 3)$$

式中, $w_{ji}^{(2)}$ 表示隐含层的加权系数;上角标(1)、(2)、(3)分别表示输入层、隐含层和输出层。

隐层神经元的激活函数取双曲正切函数:

$$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

输出层的输入输出分别为:

$$\text{net}_k^{(3)}(k) = \sum_{j=0}^3 w_{kj}^{(3)} O_j^{(2)} \quad (4)$$

$$O_k^{(3)}(k) = g(\text{net}_k^{(3)}(k)) \quad (k = 1, 2, 3)$$

$$O_1^{(3)}(k) = k_{pr} \quad (4)$$

$$O_2^{(3)}(k) = k_{ir}$$

$$O_3^{(3)}(k) = k_{dr}$$

VLBP 神经网络中采用均方误差作为性能指标,

如式(5),权值调整公式如式(6):

$$E(k) = \frac{1}{2} (r(t) - y(t))^2 \quad (5)$$

$$w(k) = w(k-1) + \eta * \nabla E(k) + \alpha * \nabla E(k-1) \quad (6)$$

式(5)中, $r(t)$ 表示期望输出值; $y(t)$ 表示实际输出值。式(6)中, w 表示权值; η 表示学习率; α 表示动量系数。

VLBP 的规则如下:

1) 如果均方误差在权值更新后增加了,且超过了某个设置的百分比 ξ (典型值为 1% ~ 5%),则权值更新将会被取消,学习速率被乘以一个因子 ρ ($0 < \rho < 1$),并且动量系数 α 被设置为 0。

2) 如果均方误差在权值更新后减少了,则权值更新被接受,而且学习速率被乘以一个因子 $\beta > 1$ 。如果 α 被设置为 0,则恢复到以前的值。

3) 如果均方误差的增长小于 ξ ,则权值更新被接受,但学习速率不变。如果 α 过去被设置为 0,则恢复到以前的值。

2 CNRPID 算法

在网络中,数据的到达速率大于路由器的出口带宽是造成网络 congestion 的主要原因,而队列长度的增加和缓冲区的溢出则是网络 congestion 的直观表现。所以为了更加实时地跟踪表示网络的动态过程,加快系统的响应速度,保持较低的丢包率和较高的吞吐量等一些 QoS 指标,将数据的到达速率与队列长度相结合是必要的。

常规的 PID 控制系统是由模拟 PID 控制器和被控对象组成,控制律为:

$$u(t) = K_p * e(t) + T_i \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

式中, K_p 为比例系数; T_i 为积分时间系数; T_d 为微分时间系数。

对式(6)进行离散化,得到 PID 控制器的数字表达式为:

$$u(t) = u(t-1) + K_p(e(k) - e(k-1)) + T_i e(k) + T_d(e(k) - 2 * e(k-1) + e(k-2)) \quad (8)$$

设网络的期望队列长度为 q_0 ,在 k 时刻队列长度为 $q(k)$,则其偏差为:

$$x_1 = e_1(t) = q(t) - q_0 \quad (9)$$

偏差的一阶差分为:

$$x_2 = \nabla e_1(t) = e_1(t) - e_1(t-1) \quad (10)$$

偏差的二阶差分为:

$$x_3 = \nabla^2 e_1(t) = e_1(t) - 2 * e_1(t-1) + e_1(t-2) \quad (11)$$

则根据 PID 控制器的数学表达式,由队列长度 $q(k)$ 引起的丢包率可以表示为:

$$p_1(t) = p_1(t-1) + k_{p1} * x_2 + k_{i1} * x_1 + k_{d1} * x_3 \quad (12)$$

同理,设参考速率为 r_0 ,在 k 时刻数据的到达速率为 $r(t)$,则由到达速率 $r(t)$ 引起的误差可表示为:

$$e_2(t) = r(t) - r_0 \quad (13)$$

式中 $r(t)$ 和 r_0 满足下式的关系^[10]:

$$r_0 \leq C$$

$$\frac{r(t+1)}{r(t)} = e^{-\gamma(r(t) - r_0)} \quad (14)$$

则由到达速率 $r(k)$ 引起的丢包率可以表示为:

$$p_2(t) = p_2(t-1) + k_{p2} * (e_2(t) - e_2(t-1)) + k_{i2} * e_2(t) + k_{d2} * (e_2(t) - 2 * e_2(t-1) + e_2(t-2)) \quad (15)$$

权值 k_{p1} 、 k_{i1} 、 k_{d1} 、 k_{p2} 、 k_{i2} 和 k_{d2} 的在线调节采用 VLBP 算法,即

$$w(k) = \begin{cases} w(k-1) & \mu \geq \xi \\ w(k-1) + \eta * \beta * \nabla E(k) + \alpha * \nabla E(k-1) & \mu < 0 \\ w(k-1) + \eta * \nabla E(k) + \alpha * \nabla E(k-1) & 0 \leq \mu < \xi \end{cases} \quad (16)$$

式中, $\mu = \frac{E(k) - E(k-1)}{E(k-1)}$,当 $\mu \geq \xi$ 时,学习速率 $\eta = \eta * \rho$,动量系数 $\alpha = 0$ 。

式(16)中的 γ 根据 T-S 模型^[11]进行调整:将误差 $e_2(k)$ 作为 T-S 模型规则的输入,并在其模糊论域定

义 3 个模糊子集,分别为正(P)、零(Z)、负(N),模糊子集的隶属度函数采用高斯型,规则如下:

$$\gamma = \begin{cases} 1.1 * \gamma & e_2(k) \text{ 为 P} \\ \gamma & e_2(k) \text{ 为 Z} \\ 0.9 * \gamma & e_2(k) \text{ 为 N} \end{cases} \quad (17)$$

隶属度函数取为

$$\sigma_1(e_2(k)) = \begin{cases} 1 & e_2(k) > 8 \\ e^{\left(\frac{-(e_2(k)-e_2(k)^2)}{32}\right)} & e_2(k) \leq 8 \end{cases} \quad (18)$$

$$\sigma_2(e_2(k)) = e^{\left(-\frac{e_2(k)^2}{32}\right)} \quad (19)$$

$$\sigma_3(e_2(k)) = \begin{cases} 1 & e_2(k) < -8 \\ e^{\left(-\frac{(e_2(k)+8)^2}{32}\right)} & e_2(k) \geq -8 \end{cases} \quad (20)$$

运用 CHOKe 模型中的“击中”理念,首先让数据到达速率击中数据流,若是被击中则丢弃;否则让期望队列长度来击中数据流,若是击中则丢弃,否则传输,如图 2 所示。

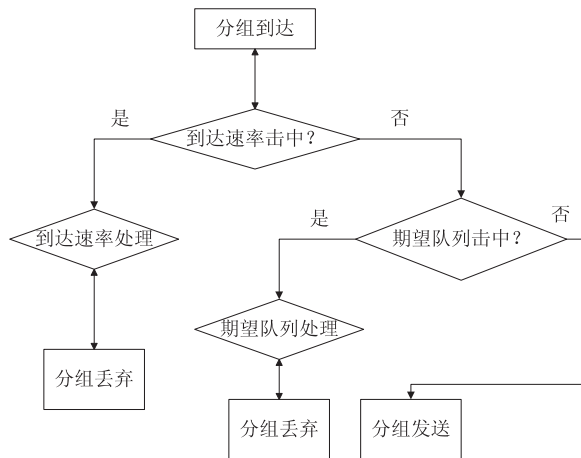


图 2 CHOKe 模型的原理图

经过 CHOKe 模型的“击中”理念后的丢包率为:

$$p(t) = p_2(t) + (1 - p_2(t)) * p_1(t) \quad (21)$$

3 NS 仿真结果

采用 NS2 网络仿真软件,构建的网络拓扑结构如图 3 所示。节点 s_0 和 s_1 之间是瓶颈链路,其带宽容量为 15 Mbps,延迟为 30 ms;源节点和目标节点到瓶颈链路之间均使用 Drop Tail,带宽容量为 10 Mbps,延迟为 5 ms。瓶颈链路之间的平均数据包大小为 500 bytes,缓冲区的队列长度为 300 packets,期望队列长度为 100 packets。 k_{p1} 取值为 0.008, k_{i1} 取值为 0.001, k_{d1} 取值为 0.000 1, k_{p2} 取值为 0.006 2, k_{i2} 取值为 0.001 529 6, k_{d2} 取值为 0.003 159 2, ξ 取值为 4%, γ 取值 0.001, η 取值 $7.9e-5$, r_0 取值 12 Mbps, ρ 取值为 0.8, β 取值为 2。

实验 1:为了验证基于 CHOKe 模型和神经网络的 CNRPID 算法的性能,文中建立了如下的网络机制:发送端是 120 个 FTP 数据流,模拟时间为 60 s。图 4 中的 APID 是传统 PID 算法^[12]。图 4 给出的是 0~5 s 的瞬时队列长度。图 4 显示:CNRPID 算法的鲁棒性要优于 APID 算法,且 CNRPID 算法在很短的响应时间内达到了稳定且收敛性很好,AWCPID 算法的队列长度范围是 [80, 120],而 RSPID 算法的队列长度范围是 [95, 105]。

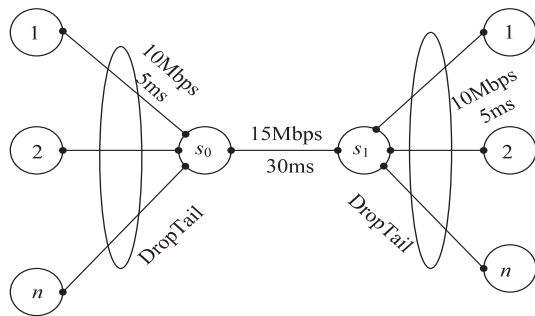


图 3 网络拓扑结构图

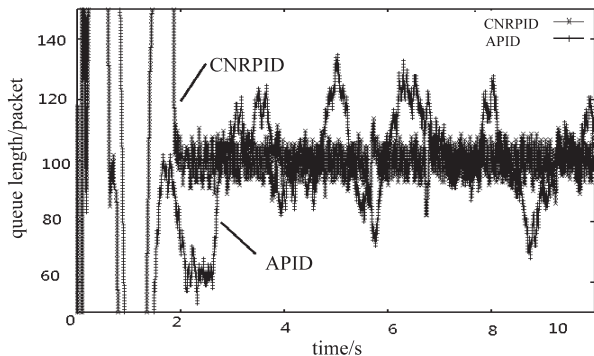


图 4 实时队列长度变化

实验 2:为了验证 CNRPID 算法的队列抖动性能,文中建立了如下的网络机制:发送端仍旧是 FTP 流,在 20 s 之前是 120 个 FTP 流,在 20 s 的时候系统加入 60 个 FTP 流,在 40 s 的时候系统再加入 60 个 FTP 流,其队列瞬时长度如图 5 所示。图 5 是 19~41 s 的瞬时队列长度:APID 算法在 20 s 时的瞬时队列长度分别为 260 packets 和 5 packets,在 40 s 的时候为 220 packets 和 60 packets;而 CNRPID 算法在 20 s 时刻的瞬时队列长度是 160 packets 和 20 packets,在 40 s 时刻的瞬时队列长度是 165 packets 和 25 packets。由此可见, CNRPID 算法鲁棒性能要比 APID 算法要好。

4 结束语

文中提出了一种新的基于 CHOKe 模型和神经网络的 PID 控制器的主动管理算法,即 CNRPID 算法。该算法以 CHOKe 模型中的“击中”理念来处理基于期望队列长度和期望到达率的丢包率问题,应用 VLBP 网络中的权值修正来在线调节 PID 控制器的比例系

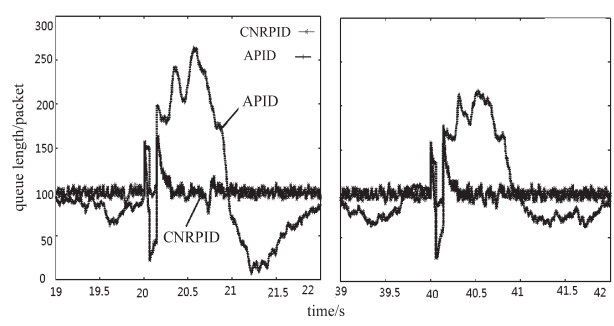


图5 算法的瞬时队列长度

数、积分时间系数和微分时间系数,以适应动态网络的变化。仿真结果表明,CNRPID 算法的鲁棒性能和平
均队列长度要优于传统 APID 算法,且 CNRPID 算法的
响应时间比较短。由此可见,CNRPID 算法在一定程
度上对 TCP/IP 的拥塞控制有显著的效果,能够保证
QoS 指标。

参考文献:

[1] Floyd S, Jacobson V. Random early detection gateways for congestion avoidance[J]. IEEE/ACM transactions on network-
ing,1993,1(4):397-413.
[2] Floyd S,Gummadi R,Shenker S. Adaptive RED: An algorithm
for increasing the robustness of RED's active queue manage-
ment[EB/OL]. 2008-11-01 [2012-02-12]. [http://www.
icir.org/floyd/red.html](http://www.icir.org/floyd/red.html).

(上接第 95 页)

4 结束语

负载平衡是无线传感器网络定位系统最需要实现
的一个目标。然而,传统的 DV-Hop 算法在这方面并
不擅长,特别是在非均匀分布的无线传感器网络中。
在该文中,把代理的概念引入到无线传感器网络中,提
出了一个基于代理的负载平衡 DV-Hop 改进定位算
法。不仅从理论上分析了算法效率的提升,也通过在
非均匀分布无线传感器网络中的模拟实验进行了验
证。

参考文献:

[1] Hill J,Szewczyk R,Woo A,et al. System architecture direc-
tions for networked sensors[J]. Acm sigplan notices,2000,35
(11):93-104.
[2] Zhang T,He J,Li X,et al. A novel secure localization scheme
for wireless sensor networks[J]. Journal of convergence infor-
mation technology,2012,7(5):218-218.
[3] 李明忠. 无线传感器网络自定位算法研究[D]. 西安:西安

[3] 任丰原,王福豹,任 勇,等. 主动队列管理中的 PID 控制
器[J]. 电子与信息学报,2003,25(1):94-99.
[4] Athuraliya S,Low S H. REM: Active queue management[J].
IEEE network,2001,15(3):48-53.
[5] 卜 婷. 单神经元自适应 PID 控制 AQM 算法的改进[J].
微计算机信息,2011,27(10):124-126.
[6] 高 峰. 基于 BP 网络的 PID 控制器参数整定法研究[J].
深圳职业技术学院学报,2012(5):39-41.
[7] 黄剑平. 基于 BP 神经网络的 PID 控制研究[J]. 计算机仿
真,2010,27(7):167-170.
[8] 张世韬,杨 风,郝 骞. 单神经元 PID 控制器研究及仿真
[J]. 机械工程与自动化,2009,39(3):69-70.
[9] Govindaswamy V V,Zaruba G,Balasekaran G. RECHOKe: A
scheme for detection, control and punishment of malicious
flows in IP networks[C]//Proceedings of IEEE GLOBECOM'
07. Piscataway,NJ:IEEE Press,2007:16-21.
[10] 孙莹莹,蒲海涛. 一种基于不完全微分 PID 的随机早期检
测算法[J]. 青岛大学学报(工程技术版),2010,25(4):52
-56.
[11] Aweja J,Quellette M,Montumo D Y,et al. Design of rate-
based controllers for active management in TCP/IP networks
[J]. Computer communication,2008,31(14):3344-3359.
[12] Takagi T,Surgeon M. Fuzzy identification of systems and its ap-
plication to modeling and control[J]. IEEE transactions on
systems,man,and cybernetics,1985,15(1):116-132.

电子科技大学,2009.
[4] 张 恒. 无线传感器网络定位技术研究[D]. 西安:西安科
技大学,2012.
[5] 徐 迪,刘瑞兰. 基于 QPSO 算法的无线传感器定位研究
[J]. 计算机技术与发展,2012,22(2):41-44.
[6] Harter A,Hopper A. A distributed location system for the ac-
tive office[J]. Network,1994,8(1):62-70.
[7] 胡中栋,曾 珽,肖 红. 基于地形改正的无线传感器网络
DV-Hop 定位算法[J]. 传感器与微系统,2013(6):147-
149.
[8] 焦斌亮,张 可. 基于 SPE 的无线传感器网络定位算法
[J]. 小型微型计算机系统,2013,34(2):269-271.
[9] 万国峰. 基于锚节点和高斯函数的测距算法[J]. 计算机工
程,2013(2):73-76.
[10] 裴菊静,王经卓,许红艳. 基于 CC2510 的 DV-Hop 定位算
法的改进[J]. 传感器与微系统,2013,32(1):135-136.
[11] 郑久虎,钱焕延,高德民,等. 基于跳数修正的 DV-Hop 定
位的改进算法[J]. 计算机科学,2013,40(1):63-67.
[12] 石琴琴,窦晨超,张建平,等. 无线传感器网络节点三维空
间自定位研究[J]. 计算机测量与控制,2012,20(12):3408
-3411.

基于CHoKe模型和神经网络的拥塞控制方法

作者：[李琴](#)，[周井泉](#)，[LI Qin](#)，[ZHOU Jing-quan](#)

作者单位：[南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京, 210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)



英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(4)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201404024.aspx