

基于网络概率丢弃策略的自适应控制机制

张 达, 孙德辉, 张秋红

(北方工业大学现场总线技术及自动化北京市重点实验室, 北京 100041)

摘 要: 提出一种基于网络节点分组概率丢弃策略的单神经元自适应 PID 控制机制, 并对其进行了相关性能的分析。在单节点的网络业务流模型基础上, 运用 OPNET 仿真软件对其进行不同输入和工作条件下的仿真。结果显示, 在所设计的单神经元自适应 PID 控制机制下, 节点平均队列稳定性好且具有较好的鲁棒性。

关键词: 网络节点; 概率丢弃; 平均队列; 自适应控制

Adaptive Control Mechanism Based on Probability Drop Scheme of Network

ZHANG Da, SUN Dehui, ZHANG Qiuhong

(Key Laboratory of Beijing for Field-bus Technology & Automation, North China University of Technology, Beijing 100041)

【Abstract】 To provide solution to the congestion problems, a single nerve cell adaptive PID control mechanism, which is based on the probability drop scheme of the network node, is proposed and analyzed. Simulation that runs on the OPNET software is carried out on single node traffic model. The simulation results show that the mechanism proposed works well in terms of stability of the average queue size and system robustness.

【Key words】 Network node; Probability dropping; Average queue; Adaptive control

随着 Internet 的迅速发展, 网络规模越来越大, 结构日趋复杂, 仅仅依靠端到端的拥塞控制是不够的, 网络必须参与资源的控制工作, 因此网络中间节点在拥塞控制中的作用更受关注。目前已提出的流量控制机制主要是通过闭环调节输入端信源流量及队列节点输出端流量来控制节点队列以避免网络拥塞。调节输入端流量的缺点是, 限制输入速率, 约束用户的工作效率, 在实际中实现起来困难。调节输出端流量的缺点是, 信源全部进入队列中排队造成队列节点负荷过重, 以及调整局部输出端有可能造成下一级节点的拥塞。为此, 本文提出了以网络节点缓冲区平均队列为控制对象, 采用单神经元自适应 PID 控制与概率丢弃算法相结合的主动队列管理闭环控制策略, 并对其进行了稳定性和鲁棒性的分析, 给出了控制结构框图、相关数学模型和控制算法。经过 OPNET 在线仿真, 取得了明显的控制效果。

1 闭环控制结构与对象模型

在图 1 所示控制模型中, 该控制机制的具体运行过程为: 数字通信网络通常由一系列局域分布的信源、信终端及中间节点组成, 由信源端激发的数据包通过一系列中间节点被输送到信终端节点。在此我们讨论一对信源、信终端节点的网络模型。G 为交换机瓶颈节点的缓冲区队列平均长度的期望值 (给定值), Y 为根据瞬时队列长度计算出的平均队列长度 (被控制量), N 为缓冲节点的瞬时输出信源。系统中的时延 τ 表示从信源节点到交换节点的路径延迟。其中, Y 的值根据 RED 算法由公式 $Y(n) = Y(n-1) * (1-w) + w * q^{[1]}$ 得出, 其中 q 为瞬时队列长度, w 为瞬时队列长度加权系数, 满足 $0 < w < 1$, Y(n) 为 n 时刻的平均队列长度。

对于图 1 所示的网络节点控制结构模型, 其动态行为可以描述为图 2 的形式。

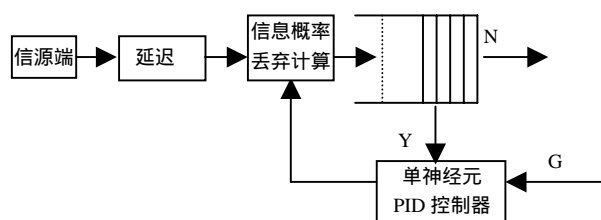


图 1 基于概率丢弃控制策略的网络节点控制结构

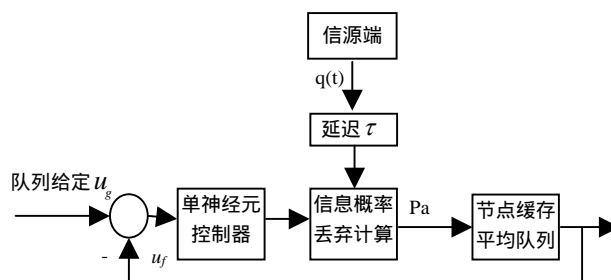


图 2 网络节点闭环控制系统结构

设定 $q(t)$ 为信源端的发送速率, P_a 为丢弃概率。设每 T_s 进行一次缓冲区占有量检测和调节, 则在不同的工作方式下, 控制器的输出和丢弃概率控制的取值情况如下:

(1) 当网络节点刚开始工作, 缓冲区的队列远远小于给定的期望队列值时, 偏差 $e = u_g - u_f$ 较大, PID 控制器的输出处于限幅状态, 即 $u(k) = u_m$, 丢弃控制概率

基金项目: 北京市教委重点资助立项课题 (KM200310009033); 北京市现场总线及自动化重点实验室开放课题资助项目 (200300015)

作者简介: 张 达(1980-), 女, 硕士生, 主研方向: 网络拥塞控制; 孙德辉, 博士、教授; 张秋红, 硕士生

收稿日期: 2005-12-12 **E-mail:** zhangda2004@163.com

$$u_p(k) = \frac{u_m - u(k)}{u_m} = 0, \text{ 此时没有分组丢失。}$$

(2)当缓冲区的队列达到并超过期望的队列时,偏差 $e = u_g - u_f$ 小于 0, PID 控制器的输出从限幅值上退下来,

此时丢弃控制概率 $0 < u_p(k) = k \cdot \frac{u_m - u(k)}{u_m} < 1$, 丢弃控制单元按

照对应的概率值有选择的丢弃分组信息。

(3)当 $u(k) = 0$ 时, 丢弃控制概率 $u_p(k) = 1$, 所进入的分组全部丢弃。一般情况下应尽量避免这种情况发生。

2 控制算法及其实现

单神经元作为构成神经网络的基本单位, 具有自学习和自适应能力, 而且结构简单且易于计算, 与传统的PID控制器相结合, 可以在一定程度上解决传统PID控制器不易在线实时整定参数、难以对一些复杂过程和参数慢时变系统进行有效控制的不足^[2]。因而提出一种单神经元自适应PID控制结构与算法, 对于实现网络节点队列控制取得了明显的效果。控制器结构如图3所示。

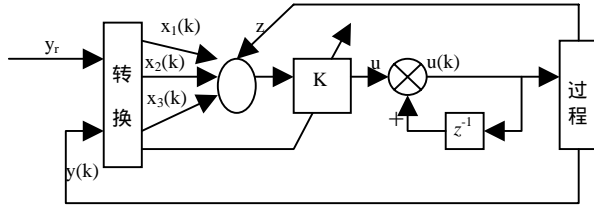


图3 单神经元自适应PID控制器结构

在图中转换器的输入为设定值 $y_r(k)$, 输出为 $y(k)$; 转换器的输出为神经元学习控制所需要的状态量 $x_1(k), x_2(k), x_3(k)$ 。这里

$$\begin{aligned} x_1(k) &= y_r(k) - y(k) = e(k) \\ x_2(k) &= \Delta e(k) \\ x_3(k) &= e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{aligned} \quad (1)$$

$z(k) = x_1(k)$ 为性能指标或递进信号。在图3中 K 为神经元的比例系数, $K > 0$ 。神经元通过关联搜索来产生控制信号, 即

$$u(k) = u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 \omega_i(k) x_i(k) \quad (2)$$

式中 $\omega_i(k)$ 为对应于 $x_i(k)$ 的加权系数。

在单神经元控制器中引入二次型性能指标, 通过修改神经元控制器的加权系数, 使性能指标趋于最小, 从而实现自适应PID的最优控制。

设二次型性能指标函数为

$$J = -\frac{1}{2} [y_r(k+1) - y(k+1)]^2 \quad (3)$$

使加权系数 $\omega_i(k)$ 的修正沿着 J 的减小方向, 即对 $\omega_i(k)$ 的负梯度方向搜索调整, 可以有更加明确的物理意义。

$\omega_i(k)$ 的调整量为

$$\begin{aligned} \Delta \omega_i(k) &= \omega_i(k+1) - \omega_i(k) = -\eta_i \frac{\partial J}{\partial \omega_i(k)} \\ &= \eta_i z(k+1) \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \cdot \frac{\partial u(k)}{\partial \omega_i(k)} \\ &= \eta_i z(k+1) x_i(k) \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \end{aligned} \quad (4)$$

式中 $\eta_i (i = I, P, D)$ 为学习速率。

利用式(1)的定义, 并将式(2)代入式(4)后, 可得:

$$\Delta \omega_1(k) = \eta_I K z(k+1) e(k) \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)}$$

$$\Delta \omega_2(k) = \eta_P K z(k+1) [e(k) - e(k-1)] \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)}$$

$$\Delta \omega_3(k) = \eta_D K z(k+1) [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)}$$

由于在PID控制算法中, $\partial y(k+1) / \partial u(k)$ 通常未知, 可以近似用符号函数 $\text{sgn}[\partial y(k+1) / \partial u(k)]$ 取代, 其所产生的误差可通过调整学习速率 η_i 来修正。

对上述算法进行规范整理后, 可得学习算法如下:

$$u(k) = u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 \omega_i(k) x_i(k)$$

$$\omega_i(k) = \frac{\omega_i(k)}{\sum_{i=1}^3 |\omega_i(k)|} \quad (i=1,2,3)$$

$$\omega_1(k+1) = \omega_1(k) + \eta_I K z(k+1) x_1(k) \text{sgn}\left(\frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)}\right)$$

$$\omega_2(k+1) = \omega_2(k) + \eta_P K z(k+1) x_2(k) \text{sgn}\left(\frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)}\right)$$

$$\omega_3(k+1) = \omega_3(k) + \eta_D K z(k+1) x_3(k) \text{sgn}\left(\frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)}\right)$$

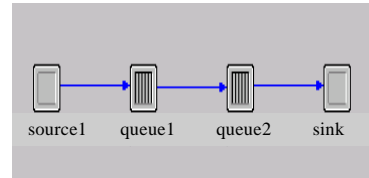
$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

3 基于 OPNET 的仿真运行及性能评价

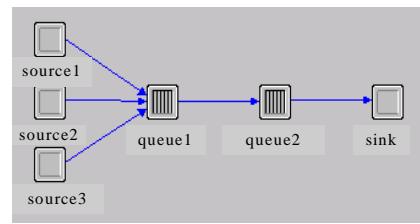
实验采用 OPNET 专用仿真软件进行建模和仿真运行, 取得了令人满意的控制效果。

3.1 仿真模型的建立

采用图4所示的仿真模型对该系统进行了仿真。



(a) 稳定性及抗扰性实验模型



(b) 鲁棒性实验模型

图4 节点仿真模型

3.2 仿真结果分析

系统在单神经元自适应PID控制器的作用下, 通过在线调整信源端的丢弃概率, 使其节点平均队列保持稳定。因此分析网络的动态行为, 瞬时平均队列长度和响应时间是两个主要指标。

3.2.1 稳定性

图5~图7给出了在信源端服从泊松分布的情况下, 节点缓冲区队列长度和丢包率的动态特性。在图5中给定队列为500packets。可以看出, 平均队列长度能迅速收敛到目标值附近, 波动范围也不超过 ± 100 packets。由此可以得出结论: 该

控制机制是稳定的，并具有极好的瞬态和稳态性能。

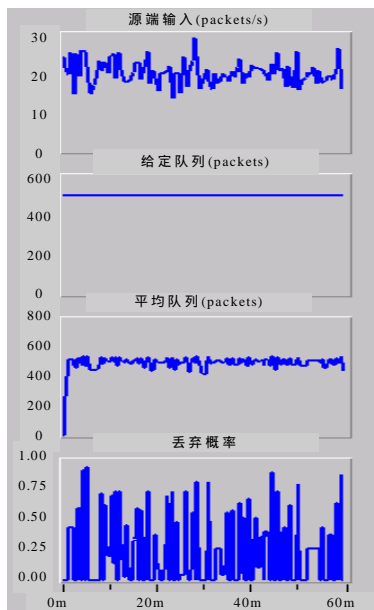


图 5 稳定性实验

3.2.2 抗扰性

图 6 给出了系统在受到较大扰动即节点的输入速率突然发生变化时的实验结果，从中可看出单神经元自适应 PID 控制机制能迅速响应系统扰动的突变情况，调整丢包率，队列长度仍稳定在给定值附近，波动在 $\pm 100\text{packets}$ 范围内。

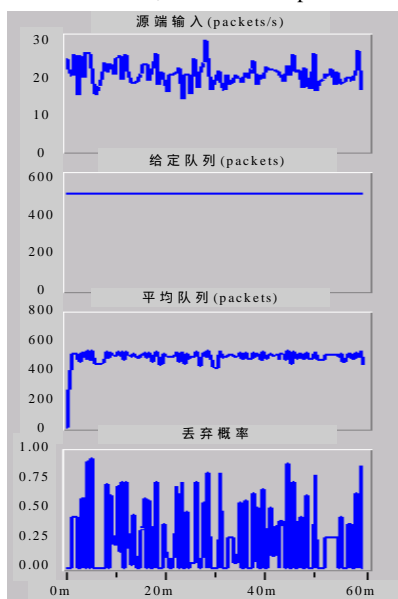


图 6 抗扰性实验

3.2.3 鲁棒性

这里的鲁棒性是指当信息源的连接数突然发生变化时，单神经元自适应 PID 仍然有很好的控制效果。从图 7 可知：当信源连接数增多时通过调整丢包速率，保证平均队列长度稳定在期望值附近。

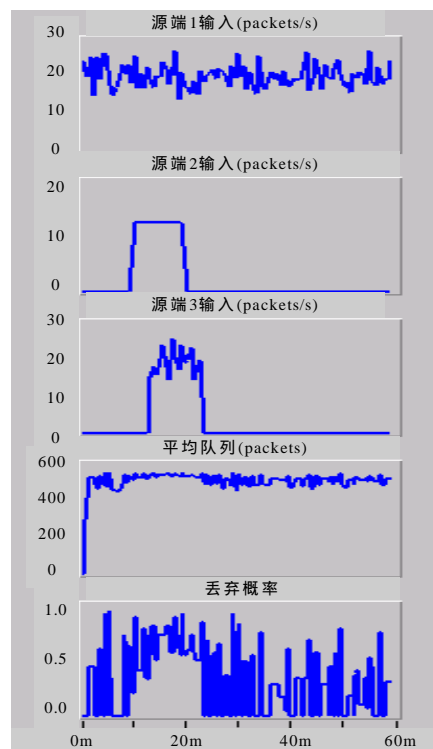


图 7 鲁棒性实验

4 结论

针对 ATM 网络中缓冲区队列平均长度进行了相关的分析，提出了一种基于网络节点分组概率丢弃策略的单神经元自适应 PID 控制机制。在节点业务流模型基础上，运用 OPNET 软件对其进行了不同工作条件下的仿真，结果显示，在所设计的控制机制下，队列稳定性好、抗干扰能力强且具有较好的鲁棒性。

参考文献

- 1 林 闯, 单志广, 任丰原. 计算机网络的服务质量(QoS)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- 2 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- 3 尹 敏, 谭连生. 一类基于速率的 PD 拥塞控制方法[J]. 计算机工程, 2003, 29(17): 63.
- 4 陈 敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

(上接第 116 页)

参考文献

- 1 Kitazawa S, Soshi M, Miyaji A. An Agent-based Model of Anonymous Communication Protocols[C]. Proc. of the 10th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, Massachusetts, 2001: 177-181.
- 2 Tóth G. General-purpose Secure Anonymity Architecture[EB/OL].

http://home.mit.bme.hu/~tgm/phd/palyazatok/2003/siemens_dokt/siemens-2003-eng-final.pdf, 2003.

- 3 吴振强, 杨 波. 基于葱头路由技术和 MPLS 的隐匿通信模型[J]. 西安电子科技大学学报, 2002, 29(4): 513-517.
- 4 王伟平, 陈建二, 陈松乔等. 匿名通信中短距离优先分组重路由方法的研究[J]. 软件学报, 2004, 15(4): 561-570.