

ATM 网络模糊拥塞控制策略研究^{*})

刘志新 关新平 秦 刚

(燕山大学电气工程学院 秦皇岛 066004)

摘 要 ATM 网络信息拥塞是制约网络发展的一个重要因素。本文针对单瓶颈节点网络,考虑两个饱和和非线性因素,制定控制规则,寻找优化参数,设计模糊控制器。仿真结果表明在回路时延和可用带宽大幅波动的情况下,系统仍具有较好的控制效果,保证服务质量,进一步验证了算法的有效性。

关键词 ATM 网络,拥塞控制,模糊控制,服务质量

Research on Congestion Control Scheme of ATM Networks Based on Fuzzy Control

LIU Zhi-Xin GUAN Xin-Ping QIN Gang

(Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

Abstract Information congestion is an important factor that restricts the development of ATM networks. In this paper, single bottleneck node network is considered. With two saturation factors, we make control rules, find optimal parameters and design the controller. The simulation results show good performance under the conditions that round-trip time and available bandwidth exist large oscillation. The quality of service is guarantee and the validity of fuzzy control scheme is verified.

Keywords ATM networks, Congestion control, Fuzzy control, QoS

1 引言

未来宽带通信网络将向服务业务多种类型、复合应用的方向发展。基于宽带综合业务数字网的 ATM 网络是一种能同时支持不同业务类型,具有不同服务质量要求的高速通信技术。但是由于多种不同业务并存,且服务优先级不同,网络拥塞问题在所难免,进而导致数据丢失,传输时延增大,恶化 QoS 指标,因此行之有效的拥塞控制方案是必要的。

在 ATM 论坛中已经明确定义出五种网络业务类型,恒定比特率(CBR),可变比特率(VBR),可用比特率(ABR),未定义比特率(UBR),保证帧比特率(GFR)。其中 ABR 业务适用于对传输时延要求不高,但对数据丢失率比较敏感的信息业务,接受网络服务的优先级低于 CBR、VBR 业务,并且它是唯一一种可以采用反馈机制进行流量控制的业务类型。目前采用的流量控制策略主要分为两类,一是基于经验算法调节的方案^[1~3],如 EFCT, EPRCA, CAPCA, ERICA 等,这些算法的优点是策略简单,易于实现,但欠缺系统的观念,难以保证系统的全局性能,缺乏有效的理论指导。另一类方案是从控制系统理论出发,建立网络系统模型,利用稳定性理论分析网络的性能,设计保证网络系统 QoS 的控制算法^[4,5],如 PID 控制,自适应控制, H_∞ 控制, Smith 预测控制等。显然控制理论的介入为分析复杂网络问题提供了理论工具,但同时也加大了系统的复杂性。值得提出的是这些控制器的设计往往在对系统模型进行适当的简化和线性化的基础上进行,不可避免地会使结果带有较大的保守性。

模糊控制作为智能控制的一个重要分支在工程实际中得到广泛应用,它模拟人类的学习和推理方法,对系统的不确定性,时变性具有较好的适应和调整能力^[6]。本文利用模糊控

制方法克服现有方法中由于模型建立、线性化及参数时变性给网络系统带来的不利影响,设计模糊 PID 控制器,仿真结果表明模糊控制策略的有效性和优越性。

2 网络系统描述

由于 ATM 网络中只有 ABR 业务为可调整发送速率的业务类型,将不可控业务流视为扰动,这里简单介绍 ABR 业务流量的传输与控制。在 ATM 网络系统中,信息传输的最小单位为固定大小的数据包,称为信元。用于传递网络运行信息和反馈信息的是一种特殊的信元——RM 信元。信息的传输是建立在虚连接基础上的,当源端有业务请求时,按照连接接纳控制(CAC)策略决定网络是否为该呼叫提供服务,一旦该连接被接纳入网,需遵循事先约定,源端发送速率应介于 MCR 与之间,按照统计复用原则共享网络带宽资源。网络传输链路的容量是有一定限度的,这也就限制了物理链路上虚连接的发送速率。对于一条虚连接而言,在从源端到终端的传输过程中会经过若干条链路和多个交换机,我们称将一条虚连接的发送速率限制到最小值的链路为该虚连接的瓶颈链路或瓶颈节点。算法在每个节点执行的同时,伴随着瓶颈节点的寻找过程,因此可以假设一条虚连接在传输路径上只有一个瓶颈节点。针对上述特点,建立单瓶颈节点网络模型如图 1 所示。

在交换机处需设置缓存用以缓冲等待交换服务的数据,设缓冲容量为 $B(\text{cells})$,留给 ABR 业务使用的可用带宽为 $C(t)$,缓冲区内排队信元长度的观测值为 $q(t)$,假设有 n 条业务虚连接瓶颈在该节点,第 i 条连接发送速率为 $r_i(t)$,回路时延为 τ_i ,由上述过程可对交换机动态行为描述如下:

$$q(n+1) = \text{Sat}_{0,B} \{ q(n) + \sum_{i=1}^n Tr_i(n-\tau_i) - TC(n) \} \quad (1)$$

^{*})课题资助基金:国家自然科学基金(60174010&60404022);教育部科学技术重点项目(204014)。

$$r_i(t) = \text{Sat}_{MCR,PCR}\{r_i(t)\} \quad (2)$$

$$\text{Sat}_{M,N}(x) = \begin{cases} N & x > N \\ M & x < M \\ x & M \leq x \leq N \end{cases} \quad (3)$$

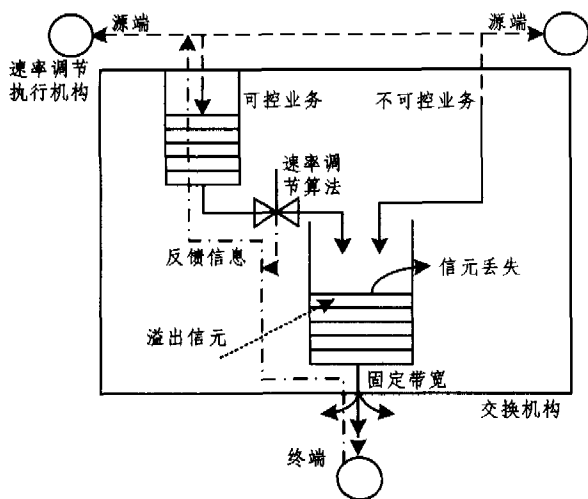


图1 单瓶颈节点网络模型

我们所采取的控制算法位于交换节点处,控制的目标为:设计控制律 $r(t)$,在信元传输回路时延 τ_i 和可用带宽 $C(t)$ 存在且波动的情况下,控制队列长度 $q(t)$ 至期望值 Q_T 或稳定在一定的范围之内。

3 模糊控制器设计

模糊控制器设计通常分为三个过程:模糊化,模糊推理和解模糊。这里选择输入量为两个:偏差 e 和偏差变化量 $\dot{e}$ 。输出为三个控制参数分别为 PID 参数 K_p, K_i, K_d ,采取的控制结构图如图 2 所示。

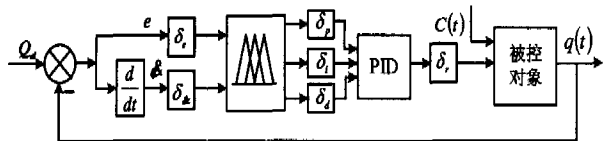


图2 模糊控制结构图

图中被控对象为式 1~3 所描述的非线性系统。 $\delta_e, \delta_{\dot{e}}$ 分别为模糊量化因子。模糊子集均选为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。为保证量化因子作用是将输入物理量映射至模糊论域上,选择 $\delta_e = n/|e|_{\max}, \delta_{\dot{e}} = n/|\dot{e}|_{\max}, n, m$ 为模糊论域最大值, $|e|_{\max}, |\dot{e}|_{\max}$ 为两个输入量的最大估计值。

模糊推理运用 MIN-MAX 方法。例如若存在如下 n 条的控制规则:

If E is A_i and EC is B_j then K is $C_{ij} (i, j=1, 2, \dots, n)$

其中 A_i, B_j, C_{ij} 是定义在输入和输出量论域 X, Y, Z 上的模糊集,则推理关系可以描述为

$$R = \bigcup_{i,j} (A_i \times B_j \times C_{ij})$$

R 的隶属度函数为

$$\mu_R(x, y, z) = \bigvee_{i=1, j=1}^{i=n, j=n} [\mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_j}(y) \wedge \mu_{C_{ij}}(z)]$$

当存在前件 If x_1 is A_0 and x_2 is B_0 时,求取推理结论 K ,

$$K = (A \times B) \circ R$$

其隶属度函数为

$$\mu_K(z) = \bigvee_{\substack{x \in X \\ y \in Y}} [\mu_R(x, y, z) \wedge \mu_{A_0}(x) \wedge \mu_{B_0}(y)]$$

因此控制规则的模糊关系为一个 $n \times n$ 的矩阵。解模糊时采用加权平均法,再乘以一个比例因子得到实际的输出量。

通过模糊推理运算得到的参数 K_p, K_i, K_d 具有自适应性,控制律可描述为

$$r(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \dot{e}(t) \quad (4)$$

在选择描述某一模糊变量的各个子集时,要使它们在整个论域上分布合理,即它们应该较好地覆盖整个论域。通常的做法是在定义这些模糊子集时要注意使论域中任何一点对这些模糊子集的隶属度的最大值不能太小,否则在这样的点附近将出现控制动作的死区,使控制性能变坏。量化因子 $\delta_e, \delta_{\dot{e}}$ 和比例因子 δ_r 对输出均有影响,这些值的选取以及模糊规则的制定都要依赖于先验知识和试探过程。本文中通过实验方法制定了表 1 的模糊控制规则。

表1 模糊规则表

K_p, K_i, K_d	e						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PS
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	PM	PM	PM	PS	PS	ZO	NS
	NB	NM	NS	NS	ZO	PO	PS
	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
	PB	PS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB
	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

4 仿真结果

选择如图 3 所示网络拓扑结构。各个连接对回路时延 (RTT) 不同,分别为 τ_1, τ_2, τ_3 。在该瓶颈节点输出链路的可利用带宽为 $C(t)$,由于高优先级业务 (CBR, VBR) 的突发性,选取 $C(t)$ 的变化特性为符合高斯分布的随机信号。相关的参数如表 2 所示,仿真结构如图 4 所示。

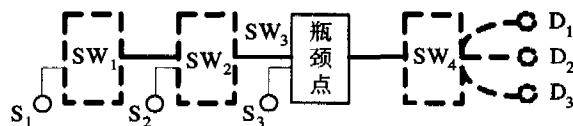


图3 网络拓扑结构图

可用带宽的波动情况如图 4(a) 所示,假设满足高斯随机分别 $N(45000, 2000^2)$ 。在表 2 参数组合下的控制器作用下队列长度如图 4(b) 所示,并与常规 PID 控制做了比较。FuzzyPID 控制效果总体上要优于常规 PID。控制队列长度

(下转第 126 页)

- 9 Jurgens M, Lenz H-J. The R*-tree: an improved R*-tree with materialized data for supporting range queries on OLAP-data. In: 1998 Proc. Database and Expert Systems Applications Conf., 1998. 186~191
- 10 Kanth K V R, Agrawal D, et al. Index non-uniform spatial data. In: 1997 Proc. Database Engineering and Applications Symposium Conf., 1997. 289~298
- 11 Sozer A, Yazici A. Access structures for fuzzy spatial queries. In: 2002 Proc. Fuzzy Information Processing Society, 2002. 383~388
- 12 Kwon Dongseop, Lee Sangjun, et al. Index the current positions of moving objects using the lazy-update R-tree. In: 2002 Proc. Mobile Data Management Conf., 2002. 113~120
- 13 Shekhar S, Chawla S, et al. Spatial databases—accomplishments and research needs. Knowledge and Data Engineering, IEEE

- Transactions on, 1999, 11:45~55
- 14 Gunther O, Nolte H. Spatial database indices for large extended objects. In: 1991 Proc. Data Engineering Conf., 1991. 520~526
- 15 Fu Xiaodong, Wang Dingxing, et al. GPR-Tree: a global parallel index structure for multiattribute declustering on cluster of workstations. In: 1997 Proc Advances in Parallel and Distributed Computing Conf., 1997. 300~306
- 16 Schnitzer B, Leutenegger S T. Master-client R-trees: a new parallel R-tree architecture. In: 1999 Proc. Scientific and Statistical Database Management Conf., 1999. 68~77
- 17 Xiao Weiqi, Feng Yucai. Parallel Ladex spatial index mechanism. In: Geoscience and Remote Sensing, 1997. IGARSS '97. Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development, 1997 IEEE International, 1997, 1: 216~218

(上接第 66 页)

的波动幅度要明显低于常规 PID 控制器控制的队列长度。在不同的参数组合控制下,控制效果如图 4(d),(e)所示。由仿真结果可见,量化因子,时延等级,可用带宽波动幅度对队列长度均有影响。总体来讲,可用带宽波动越强烈越易使缓冲区队列长度进入抽空或饱和非线性区,导致带宽利用率降低,信元丢失率升高。回路时延始终是恶化网络性能的重要因素,按最大时延设计控制器尽管可以保证系统的稳定性,但具有一定的保守性。

结论 本文针对单瓶颈节点网络模型,设计模糊拥塞控制器。在式(1)~(3)两个非线性环节作用下,以交换机队列长度为控制目标,假设最大传输时延可估计的情况下,考虑存在时延抖动,可用带宽大幅波动时,设计控制器,保证网络 QoS。分别选择不同的控制器参数组合,仿真结果验证了方法的有效性。但是按照最大回路时延设计控制器,会给系统带来一定的保守性,模糊规则的制定依赖于先验知识。如何降低系统保守性,寻求控制策略的简单性和有效性的折中是需要进一步讨论的问题。

参考文献

- 1 Bonomi F, Fendick K W. The rate-based flow control framework for the available bit rate ATM service. IEEE J. Select. Areas commun, 1995, 13(7):1267~1283
- 2 Chong S, Lee S, Kang S. A simple, scalable, and stable explicit rate allocation algorithm for MAX-MIN flow control with minimum rate guarantee. IEEE/ACM Transaction on Networking, 2001, 19(3):322~335
- 3 Kalyanarman S, Jain R, Fahmy S, Goyal R, Vandalore B. The ERICA switch algorithm for ABR traffic management in ATM networks. IEEE/ACM Transaction on networking, 2002, 8(1): 87~98
- 4 Pitsillides A, Lambert J. Adaptive Congestion Control in ATM Base Networks: Quality of Service and High Utilization. Computer Communications, 1997(20):1239~1258
- 5 Quet P F, Ramakrishnan S, Ozbay H. On the Controller Design for Congestion Control with a Capacity Predictor. In: Proc. of the Conf. on Design and Control, Orlando, FL, 2001. 598~603

- 6 Fei X, He X. Fuzzy Neural Network Based Traffic Prediction and Congestion Control in High-Speed Networks. J. Comput. Sci & Technol, 2000(15):144~149

表 2 仿真参数

	图 b	图 c	图 d
期望队列	500(cell)		
MCR, PCR 值	$MCR = 0, PCR = 3.3 \times 10^4$		
最大时延	$\tau_{1max} = 100ms, \tau_{2max} = 30ms, \tau_{3max} = 15ms$		
量化因子	$\delta_e = 0.0012$ $\delta_{K_i} = 500$	$\delta_e = 0.001$ $\delta_{K_d} = 0.08$	
	$\delta_{K_e} = 300$ $\delta_e' = 0.4$	$\delta_{K_e} = 200$ $\delta_e' = 0.6$	$\delta_{K_e} = 300$ $\delta_e' = 0.4$
可用带宽 (cell/s)	$N \begin{pmatrix} 45000 \\ 2000^2 \end{pmatrix}$	$N \begin{pmatrix} 45000 \\ 1000^2 \end{pmatrix}$	$N \begin{pmatrix} 45000 \\ 6000^2 \end{pmatrix}$

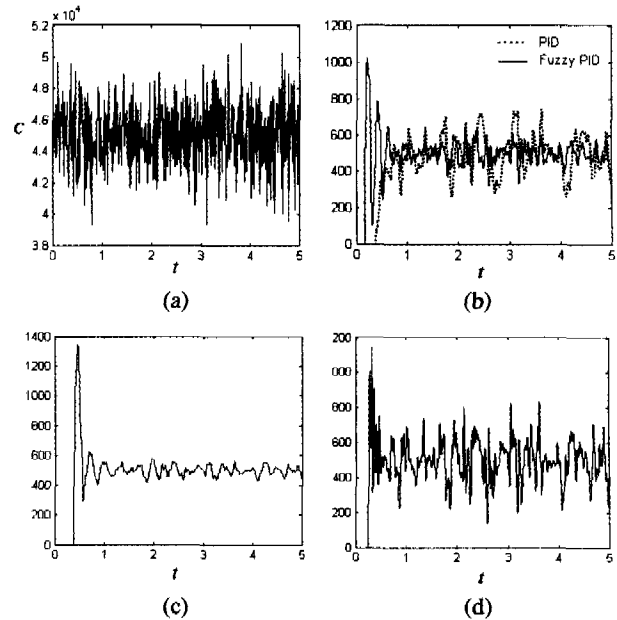


图 4 仿真结果图