

基于模糊免疫 PID 的多媒体流自调整算法研究

孙雁飞 张顺颐 饶翔 石进*

(南京邮电学院江苏省通信与网络技术工程研究中心 南京 210003)

*(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)

摘要: 提出了一种基于模糊免疫 PID 的多媒体流自调整算法(MFIPID), 实现对多媒体流的在线自调节和多媒体流资源有效管理。分析多媒体流自适应模型, 实现 IP 网络可用带宽的预估计, 采用全论域范围内带有自调整因子的模糊规则自调整方法进行免疫抑制量的模糊非线性逼近, 并与免疫反馈机理相结合, 多媒体流传输过程中自适应整定 PID 参数以改进传统 PID 算法。仿真验证了 MFIPID 算法的有效性。

关键词: 多媒体流传输, 资源管理, 模糊逼近, 免疫反馈, PID 自调节

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)10-1651-06

The Research of Multimedia Streams Self-regulating Algorithm Based on Fuzzy Immune PID

Sun Yan-fei Zhang Shun-yi Rao Xiang Shi Jin

(Jiangsu Province Engineering Research Center of Telecommunication & Network Technology,

Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 21000, China)

*(State Key Laboratory of Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract A multimedia streams self-regulating algorithm based on fuzzy immune PID is proposed to attain the goal of on-line self-regulating of multimedia streams and effective resource management. Model of adaptive session is analyzed, and available bandwidth' future estimation is achieved. The fuzzy nonlinear approximation of immune' suppresser is fulfilled by fuzzy rules' self-tuning with self-tuning factor in full domain. Then, in order to improve the traditional PID algorithm fuzzy nonlinear approximation is combined with immune feedback mechanism to adjust PID factors during the course of multimedia transmission. Simulation validates the theoretical results of MFIPID.

Key words Multimedia transmission, Resource management, Fuzzy-approximation, Immune feedback, PID self-tuning

1 引言

通过有效的资源管理来保证系统的服务质量是多媒体领域的研究热点, 保证稳定的多媒体流是多媒体通信系统的基本要求。多媒体流传输包括媒体源端-网络-目的端的过程, 所以保证稳定的多媒体系统就要合理调度以下 4 种资源: 线程、I/O 带宽、缓冲区和网络带宽。而网络状况, 如带宽、丢包率、时延等处于时变状态。

Nahrstedt 分析了网络多媒体系统的资源管理^[1](所有资源基于服务质量管理), 提出了资源管理的三层模型和多媒体协商、CPU 调度、缓冲区分配和差错控制方法。当前一些研究集中在设计多媒体中间件或应用层软件^[2-5], 有些解决方案只考虑服务器的一个或部分与多媒体应用相关的资源, 或

者对动态资源管理的研究较少。文献[6]在文献[1]的基础上提出了自适应保证 QoS 的 AQUA 算法, 但 AQUA 在调整时没有考虑可利用资源的动态振荡变化, 系统 QoS 的调整有可能产生振荡, 使系统不稳定。文献[7]考虑到多媒体流 QoS 有一定的范围, 以及资源动态变化的特点, 给出了自适应 QoS 保证的管理结构和管理流程, 并将自动控制的 PID 调节原理用于多媒体流 QoS 管理。但多媒体系统存在反馈滞后、参数时变、非线性等特点, 该文中 PID 控制器参数一经整定完毕在调节过程中固定不变, 这样不能在各种资源条件下很好地完成多媒体流速率调节功能。

另外, 随着多用户多业务的加入, 网络资源的变化明显, 对某一多媒体流传输过程而言可以认为这是一个多变多干扰的系统。为了克服以上特性对多媒体传输带来的负面影

响,本文考虑调节多媒体流速率实现多媒体流由小到大去迅速适应资源的动态变化,同时做到避免速率变化给系统带来的振荡,从多媒体资源管理的角度优化多媒体传输性能。

在传统调节算法中,PID是最早发展起来的策略之一,也是最先被考虑用于多媒体流速率调节的策略之一^[7]。考虑到多媒体传输环境的多变性,将自适应的思想引入PID控制实现对控制器参数进行在线自整定是一个重要的研究方向。

本文将分析多媒体流自适应节模型,实现IP网络可用带宽预估计,结合免疫反馈机理和模糊逼近思想,对传统PID进行适应多媒体流资源状况的改进,提出一种基于模糊免疫PID的多媒体流自调整算法(MFIPID)来实现对多媒体流速的在线调节和多媒体资源的管理。

2 多媒体流自适应节模型

文献[8]中,一条多媒体流可以用 $S(\lambda, T, B, D, G)$ 五元组表示,其中 λ 为多媒体流的速率; T 为一组线程; B 为一组分配给 S 的缓冲区; D 为I/O处理; G 为一组网络处理。

2.1 节 S 的资源分配定理

给定一个节 S ,它有 m 个线程, h 个网络处理, $m+h$ 个缓冲区,则CPU利用率 U ,缓冲区 M ,I/O带宽 I 和网络带宽 J 的分配为

$$U = \lambda \left(\sum_{i=1}^m e_i + c_i \sum_{i=1}^m \frac{1}{x_i} \right) \quad (1)$$

$$M = \sum_{i=1}^{m+h-1} 2u_i \times x_i + u_m \quad (2)$$

$$I = \lambda u_1 \quad (3)$$

$$J = \lambda \sum_{i=1}^h u_{(i+m)} \quad (4)$$

其中参数 c_i 为线程的切换时间, e_i 为处理一个多媒体数据单元的执行时间, x_i 为每个线程周期内处理的多媒体单元数, u_i 为第 i 个多媒体数据的存储单元。

为适应系统可用资源的动态变化,文献[7]提出自适应节的概念,即一条具有自适应能力的多媒体流可以用自适应节五元组 $S_a(\lambda_a, T, B, D, G)$ 表示,其中 λ_a 为可变多媒体流速率, $\lambda_a \in [\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ 。

2.2 自适应节 S_a 的传输速率计算定理

$$\lambda_1 = U_{av} / \left[\sum_{i=1}^m e_i + c_i \sum_{i=1}^m \frac{1}{x_i} \right] \quad (5)$$

$$\lambda_2 = I_{av} / u_1 \quad (6)$$

$$\lambda_3 = J_{av} / \sum_{i=1}^h u_{(i+m)} \quad (7)$$

$$\lambda^* \leq \min(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \quad (8)$$

其中 U_{av} , I_{av} , J_{av} 分别为系统可提供CPU、I/O利用率和网络可

利用带宽。

3 IP网络可用带宽预估计

IP网络的实际工作状态相当复杂,在构造数学模型的基础上可以用以下参数来做定性分析:(1)丢包率 P_L ;(2)环回时间RTT;(3)重传超时RTO。依据 P_L , RTT, RTO的综合分析可以对当前可利用的IP网络带宽资源做出预估计。

基于两状态马尔可夫链Gibert模型分析IP网络的丢包率^[9],如图1所示。其中 G 表示正常的状态, B 表示出错的状态,持续时间服从平均长度为 T_B , T_G 的指数分布, b 和 g 表示 G 和 B 之间的转移概率。所以分组丢失的概率为

$$P_L = \frac{T_B}{T_B + T_G} = \frac{1/g}{(1/g) + (1/b)} = \frac{g}{b+g} \quad (9)$$

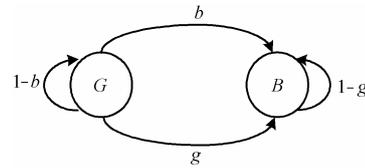


图1 Gibert模型

这里定义 N_1 表示前一个分组丢失而成功接收到的分组数目, N_2 表示前一个分组丢失而丢失的分组数目, N_3 表示前一个分组成功接收而分组丢失的数目, N_4 表示前一个分组成功接收而成功接收的分组数目,则

$$b = \frac{N_1}{N_1 + N_2}, \quad g = \frac{N_3}{N_3 + N_4} \quad (10)$$

对IP网络数据报文环回时间RTT的平滑的估计^[10]可以采用如下方式:

$$\overline{\text{RTT}} = \alpha \times \overline{\text{RTT}} + (1 - \alpha) \times (T_R - T_S - \Delta T) \quad (11)$$

其中 $\overline{\text{RTT}}$ 表示当前分组环回时间, T_R 为发送方收到应答报文的时刻, T_S 为数据发送的时刻, ΔT 是接收方对报文分组的处理时间。 α 是加权系数,考虑多媒体传输实时性的要求设定为0.75,而在传统的TCP拥塞控制算法中一般设置为0.875,设定稍小的值可以增强RTT近期值对RTT估计值的影响。

重传超时RTO可以被定义为

$$\text{RTO} = \text{RTT} + k \times \text{RTT}_{\text{VAR}} \quad (12)$$

k 为系数,一般推荐值为4; RTT_{VAR} 为RTT变化的平滑估计,可以计算为

$$\text{RTT}_{\text{VAR}} = \gamma \times \overline{\text{RTT}}_{\text{VAR}} + (1 - \gamma) \times |\text{RTT} - (T_R - T_S - \Delta T)| \quad (13)$$

$\overline{\text{RTT}}_{\text{VAR}}$ 为当前RTT变化值, γ 为权重系数,参照文献[11]设定为0.25。

综合丢包率 P_L 、分组环回时间RTT以及重传超时RTO的作用,参考文献[10]给出了当前可得网络带宽资源估算公式:

$$W_{av} = \frac{\text{PacketSize}}{\text{RTT} \times \sqrt{\frac{2P_L}{3}} + 3 \times \text{RTO} \times P_L \times \sqrt{\frac{3P_L}{8}} \times (1 + 32P_L^2)} \quad (14)$$

PacketSize为发送数据包的大小。式(14)中, RTT和 P_L 都是下一时刻的估计值, 所以该式可以考虑用来估计未来网络带宽的值, 即预估值。

4 基于模糊免疫 PID 的多媒体流自调整算法 (MFIPID)

当系统的可用资源变化时, 被调节的多媒体速率 λ 也随之变化。如果系统可用资源变化频繁, 甚至是大幅波动性变化, 则调节的 λ 也会震荡, 这不仅增大了系统开销, 而且不利于系统解决拥塞的问题。

为了解决上面提到的问题, 同时使多媒体流自适应的速率能及时跟踪资源的变化, 提出基于模糊免疫PID的多媒体流自调整算法(MFIPID)来实现多媒体资源的管理和利用。算法原理如图 2。监视模块监测多媒体流资源变化状况, 免疫PID模块实现多媒体流速率的在线自调节, 模糊自调整控制器实现免疫PID控制器中免疫抑制非线性函数 $f[\cdot]$ 的模糊逼近。算法初始, 调节系统设定值取多媒体自适应节保证传输质量的允许最小值 λ_{\min} (图中 1 状态)。调节过程中, 调节系统设定值为网络资源允许速率 λ^* (图中 2 状态), 实现网络实际速率对允许速率的跟踪。

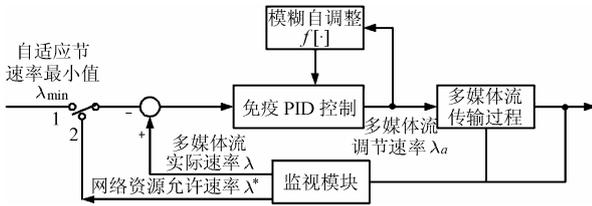


图 2 基于模糊免疫 PID 的多媒体流速率调节框图

4.1 免疫反馈机理^[12,13]

免疫系统具有本质的对外界事件的反应能力, 这样能够迅速适应情况的变化, 它保护机体抵御病原体、有害异物及癌细胞等致病因子的侵害。免疫系统最重要的细胞是淋巴细胞, 主要有 B 和 T 两类淋巴细胞, T 细胞在免疫反应中起关键作用, 本文借鉴 T 细胞的反馈调节机理。描述抗体之间的交互作用对于理解免疫系统的动态特性很重要, 抑制机理和主反馈机理之间的相互协作, 是通过免疫反馈机理对抗原的快速反应和很快的稳定免疫系统完成的。

当抗原进入机体, 将信息传递给 T_H 细胞和 T_S 细胞, T_S 细胞用于抑制 T_H 细胞的产生。然后共同刺激B细胞, 经过一段时间后, B细胞产生抗体以清除抗原。当抗原较多时, 机体内的 T_H 细胞也较多, 而 T_S 细胞却较少, 从而产生的B细胞会多些。随着抗原的减少, 体内 T_S 细胞增多, 它抑制了 T_H 细胞的产生, 则B细胞也随着减少。经过一段时间后, 免疫反馈系统便趋于平衡。

4.2 免疫反馈规律^[13-15]

基于上述T细胞反馈调节原理, 定义第 k 代的抗原数量为 $\varepsilon(k)$, 由抗原刺激的 T_H 细胞的输出为 $T_H(k)$, T_S 细胞对B细胞的影响为 $T_S(k)$, 则B细胞接收的总刺激为

$$S(k) = T_H(k) - T_S(k) \quad (15)$$

其中 $T_H(K) = k_1\varepsilon(k)$, $T_S(K) = k_2f[\Delta S(k)]\varepsilon(k)$ 。

若以抗原的数量 $\varepsilon(k)$ 作为偏差 $\tilde{e}(k)$, B细胞接收的总刺激 $S(k)$ 作为控制输入 $\tilde{u}(k)$, 则有如下反馈控制规律:

$$\tilde{u}(k) = K\{1 - \eta f[\Delta \tilde{u}(k)]\}\tilde{e}(k) = k_p\tilde{e}(k) \quad (16)$$

其中 $K = k_1$, $\eta = k_2/k_1$, $f[\cdot]$ 是一选定的非线性函数。参数 K 控制反应速度, 参数 η 控制稳定效果。

4.3 免疫PID控制算法

常规增量式 PID 控制离散形式如下:

$$\begin{aligned} u(k) &= u(k-1) + k_p[e(k) - e(k-1)] \\ &\quad + k_i e(k) + k_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \\ &= u(k-1) + k_p\{[e(k) - e(k-1)] + \frac{k_i}{k_p}e(k) \\ &\quad + \frac{k_d}{k_p}[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]\} \end{aligned} \quad (17)$$

其中 k_p, k_i, k_d 分别为比例、积分和微分系数, $u(k)$ 为控制器的输出, $e(k)$ 为反馈值与设定值(期望值)的偏差。 $k_i = k_p(T/T_i)$, $k_d = k_p(T_d/T)$, T 为采样周期, T_i 为积分时间常数, T_d 微分时间常数。

基于免疫反馈原理的控制器实际上就是一个非线性 P 控制器, 其比例系数 $k_{p1} = K[1 - \eta f(u(k), \Delta u(k))]$ 随控制器输出的变化而变化, 其中 K 为增益, 则免疫 PID 控制器的输出为

$$\begin{aligned} u(k) &= u(k-1) + k_{p1}\{[e(k) - e(k-1)] + \frac{k_i}{k_p}e(k) \\ &\quad + \frac{k_d}{k_p}[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]\} \\ &= u(k-1) + k_{p1}\{[e(k) - e(k-1)] + k'_i e(k) \\ &\quad + k'_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]\} \end{aligned} \quad (18)$$

其中 $k'_i = \frac{k_i}{k_p} = \frac{T}{T_i}$, $k'_d = \frac{k_d}{k_p} = \frac{T_d}{T}$, 即

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= k_{p1}[(1 + k'_i + k'_d)e(k) - (1 + 2k'_d)e(k-1) + k'_d e(k-2)] \\ &= Ae(k) + Be(k-1) + Ce(k-2) \end{aligned} \quad (19)$$

其中 $A = k_{p1}(1 + k'_i + k'_d)$, $B = -k_{p1}(1 + 2k'_d)$, $C = k_{p1}k'_d$ 。

4.4 免疫反馈规律函数 $f[\cdot]$ 的模糊逼近

控制器性能在很大程度上依赖于参数 K , η 和非线性函数 $f[\cdot]$ 的选取。文献[16]已经证明模糊系统能逼近任意的线性或非线性函数。本文讨论用一种二维全论域范围内带有自调整因子的模糊控制规则自调整^[17]的模糊逼近器来实现P型免疫反馈规律的非线性函数 $f[\cdot]$ 。

该模糊逼近器两个输入变量分别是免疫PID控制器输出 $u(k)$ 和输出变化 $\Delta u(k)$; 输出变量是抑制量 $f[u(k), \Delta u(k)]$, 对应的模糊变量分别为 U, UC, F 。取 U, UC, F 的论域均为 $[-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4]$ 。考虑 $f[u(k), \Delta u(k)]$ 是抑制量, 则在全论域范围内带有自调整因子的模糊规则可表示为

$$\left. \begin{aligned} F &= -\beta U + (1-\beta)UC \\ \beta &= \frac{1}{4}(\beta_s - \beta_0)|U| + \beta_0 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

式中 $0 \leq \beta_0 \leq \beta_s \leq 1$, $\beta \in [\beta_0, \beta_s]$, 模糊规则按 U 的大小在线自动调整其对控制作用的权重, 符合人在决策过程中的思维特点, 而且非常易于实现。

对应于实际多媒体系统, 设免疫PID控制器输出 $\lambda_a(k)$ 的基本论域是 $[u_a, u_b]$, 输出变化 $\Delta \lambda_a(k)$ 的基本论域是 $[u_{ca}, u_{cb}]$, 输出变量是抑制量 $f[\lambda_a(k), \Delta \lambda_a(k)]$ 的基本论域设为 $[f_a, f_b]$ 。

模糊化过程表示为

$$\left. \begin{aligned} U &= 2 \times 4 [\lambda_a(k) - (u_a + u_b)/2] / (u_a - u_b) \\ UC &= 2 \times 4 [\Delta \lambda_a(k) - (u_{ca} + u_{cb})/2] / (u_{cb} - u_{ca}) \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

模糊判决过程表示为

$$f[\cdot] = [(f_b - f_a)F + 4(f_b + f_a)] / (2 \times 4) \quad (22)$$

4.5 多媒体流自适应节模糊免疫 PID 调节算法

定义自适应节 S_i 的系统误差为 $e(k) = \lambda(k) - \lambda^*(k)$, 即实际调节后的速率和计算的速率之差。

定义系统的准误差为 $e'(k) = \lambda(k-1) - \lambda^*(k)$, 即当前的实际速率和计算的速率之差。得到

$$e(k) = e'(k) + \Delta \lambda(k) \quad (23)$$

自适应节 S_i 的模糊免疫PID速率调节公式为

$$\lambda(k) = \lambda(k-1) + \Delta \lambda(k)$$

$$\Delta \lambda(k) = Ae(k) + Be(k-1) + Ce(k-2)$$

$$= A[e'(k) + \Delta \lambda(k)] + Be(k-1) + Ce(k-2) \quad (24)$$

$$\text{则 } \Delta \lambda(k) = [Ae'(k) + Be(k-1) + Ce(k-2)] / (1-A) \quad (25)$$

其中 $A = k_{p1}(1+k'_i+k'_d)$, $B = -k_{p1}(1+2k'_d)$, $C = k_{p1}k'_d$ 。

4.6 自适应节 S_a 的速率调节算法

初始化 根据多媒体资源状况, 参数 $k_{p1}, k, \eta, \lambda_a, \lambda^*, \lambda_{\min}, \lambda_{\max}, T, T_i, T_d$ 等初始化。取 m 为正整数变量。

步骤 1 $E_1=0, E_2=0, m=1, \lambda^* = \lambda_{\min}$ 。

步骤 2 监视模块读取当前多媒体速率 λ 。

步骤 3 $E_2=E_1, E_1 = \lambda - \lambda^*$ 。

步骤 4 按自适应节传输速率计算定理计算多媒体资源允许多媒体速率 $\lambda^*, E_3 = \lambda - \lambda^*$ 。

步骤 5 若 $m=1$, 转步骤 6, 否则转步骤 7。

步骤 6 免疫反馈比例系数 k_{p1} 取初始化时数值, 转步骤 8 进行免疫PID调节, 计算多媒体流调节速率 λ_a 。

步骤 7 读取 $\lambda_a, \Delta \lambda$, 根据全论域范围带有自调整因子

的模糊规则进行 $f[\lambda_a, \Delta \lambda]$ 模糊逼近, 计算免疫反馈比例系数 $k_{p1} = K(1-\eta f(\lambda_a, \Delta \lambda))$, 转步骤 8 进行免疫PID调节, 计算多媒体流调节速率 λ_a 。

步骤 8 计算式(25)中参数 A, B, C 得多媒体速率调节增量 $\Delta \lambda$ 和调节量 λ_a 。

步骤 9 根据 λ_a 调整多媒体流发送端速率, $m=m+1$, 转步骤 2。

5 仿真研究

我们通过仿真软件对算法的有效性及其性能进行了测试, 仿真网络的拓扑结构如图 3 所示。

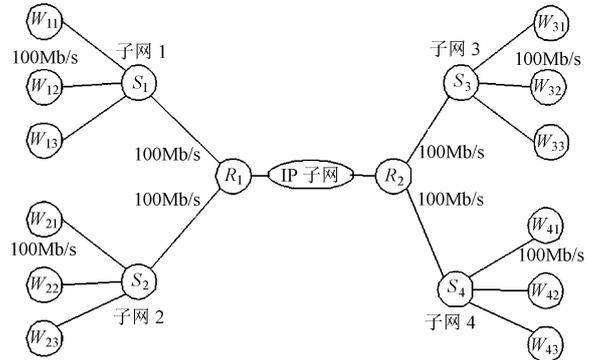


图 3 仿真网络拓扑结构

图 3 中选择 4 个子网, 通过 R_1, R_2 两个路由器连接在 IP 网络上, 每个子网由一个交换机连接 3 台节点计算机, 每个子网内部链路容量 100Mb/s, 延时 10ms。在节点 W_{11} , 向节点 W_{43} 实时发送标准 352×288 的图像。子网 2 业务源为随机的 FTTP 业务; 子网 3 除 W_{31} 可用来突然加入多媒体流业务作为网络干扰源外, 其它节点业务源为随机的 FTTP 业务。子网 1, 子网 4 除 W_{11} 和 W_{43} 节点外其它节点业务源为随机的 FTTP 业务。

仿真中 CPU 取 Intel 2.0GHz 模型; 媒体流自适应节的速率范围 $[\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ 取 $[15, 25]$ f/s (帧/秒: 每秒发送端发送图像的帧数); 节允许的平均端时延 0.25s; CPU 处理一个数据单元的时间范围为 $[1, 2]$ ms, 处理一个 I/O 请求的时间 0.6ms, 利用率 0.80; 最大可用内存 256MB; I/O 周期 3ms。CPU 调度采用最早 deadline 优先算法 (EDF), I/O 调度采用非抢占式调度策略。经过多次仿真调整, 免疫反馈中参数 $K=0.3, \eta=0.8, k'_i=0.3, k'_d=0.3$, 采样时间 $T=0.1$ s, k_{p1} 初值为 0.3, 多媒体流初始速率 $\lambda_a=15$ f/s。设免疫PID控制器输出 λ_a 的基本论域是 $[15, 25]$ f/s, 输出变化 $\Delta \lambda$ 的基本论域是 $[-5, 5]$ f/s, 输出变量是抑制量 $f[\lambda_a, \Delta \lambda]$ 的基本论域设选 $[0, 1]$ 。

图 4(a), 图 4(b) 所示为采用固定 PID 参数的传统 PID 调节时的多媒体流传输状况。网络可利用带宽和多媒体流传输速率互相影响, 网络带宽各个时刻尚有明显变化, 传输速率根据网络状况做了适当调整, 基本能跟踪网络带宽的变化,

无明显振荡发生。网络带宽保持在 $[250 - 500]$ kb/s 范围内, 平均带宽 359.5kb/s。传输速率保持在 $[14.8 - 24.1]$ f/s 范围内, 平均速率 16.87f/s。

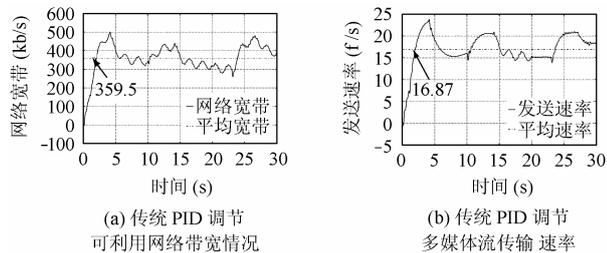


图 4

图 5(a), 图 5(b)所示为采用基于模糊免疫 PID 的多媒体流自调整算法(MFIPID)调节时的多媒体流传输状况。网络可利用带宽和多媒体流传输速率互相影响, 网络带宽各个时刻通常变化不明显, 在干扰(大负载业务加入网络)到来时, 网络迅速发生变化, 但很快又恢复网络正常传输状态。传输速率根据网络状况相应做出适当调整, 能及时跟踪网络带宽的变化, 基本无振荡发生。相对于传统 PID 调节而言, 网络带宽变化更加和缓, 网络适应能力更强。多媒体流传输速率更加平稳, 保持了多媒体流系统的稳定。网络带宽保持在 $[300 - 500]$ kb/s 范围内, 平均带宽 434.7kb/s。传输速率保持在 $[18 - 24]$ f/s 范围内, 平均速率 20.87f/s。同时, 相对于传统 PID 调节, 网络资源得到了充分利用, 平均可利用带宽提高了 75.2kb/s; 多媒体流平均发送速率也得到了提高, 提高了 4f/s, 使多媒体系统的传输质量得到了进一步的保证, 也说明网络拥塞状况得到了及时有效的缓解。

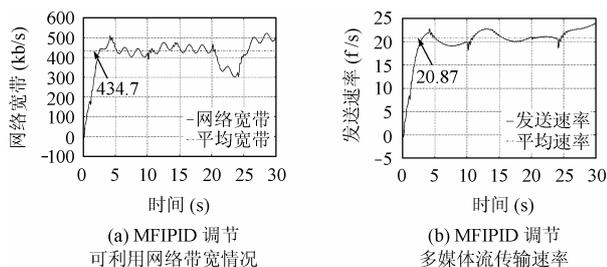


图 5

6 结束语

多媒体资源的有效管理是多媒体流传输质量的关键所在, 以此为应用背景, 本文提出的基于模糊免疫 PID 的多媒体流自调整算法(MFIPID), 将自动调节原理、人工智能和自适应思想进行了有机的结合。运用了多媒体流自适应节模型, 实现了 IP 网络可用带宽的预估计, 提高了多媒体资源管理的可靠性和准确性; 采用全论域范围内带有自调整因子的模糊规则自调整方法进行免疫抑制量的模糊非线性逼近, 并与免疫反馈机理相结合, 自适应整定 PID 参数以改进传统

PID 算法, 实现对多媒体流的在线调节和多媒体流资源管理。较传统 PID 算法, MFIPID 在保证多媒体流由小到大去适应和跟踪资源的动态变化过程中, 更有效地防止系统调节的振荡, 不仅保证了多媒体流要求的较高的传输速率, 而且进一步提高了多媒体资源的利用率, 也说明网络拥塞状况得到了及时有效的缓解。算法有效性得到了假定网络环境下的仿真验证。

参考文献

- [1] Nahrstedt K, Smith J M. The QoS broker[J]. *IEEE Multimedia*, 1995, 2(1): 53 - 67.
- [2] 郭乐深, 刘锦德, 杨涛等. 通过有效的端系统动态资源管理实现 QoS 控制[J]. *通信学报*, 2001, 22(6): 71 - 80.
- [3] Nahrstedt K, Xu D, et al.. QoS-aware middleware for ubiquitous and heterogeneous environments[J]. *IEEE Communi Magazine*, 2001, 39(11): 140 - 148.
- [4] 汤庸, 杨学良, 区海翔等. 基于 IP 网络的自适应 QoS 管理方案研究[J]. *计算机学报*, 2001, 24(1): 32 - 39.
- [5] Bellavista P, Corradi A, Montanari R. An active middleware to control QoS level of multimedia services[A]. *Proceeding of 8th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems FTDCS01*. Italy, 2001: 126 - 132.
- [6] Lakshman K, Yavatkar R. Integrated CPU and network - I/O QoS management in an end system[A]. *Proceeding of the 5th International Workshop on Quality of Service IWQOS'97*, New York, 1997: 105 - 117.
- [7] 张占军, 韩承德, 杨学良. 基于自适应的多媒体流 QoS 保证的研究[J]. *计算机学报*, 2000, 23(12): 1320 - 1325.
- [8] 张占军, 杨学良, 张靖. 基于节的分布式多媒体流的资源管理[J]. *计算机学报*, 1998, 21(11): 970 - 979.
- [9] Comer D E. *Internet working with TCP/IP, Vol.1: Principles, Protocols, and Architecture*[M]. 3rd Edition. Englewood Clis, NJ: Prentice Hall, 1995.
- [10] Zhang Q, Zhu W W, Zhang Y Q. Resource allocation for multimedia streaming over the Internet[J]. *IEEE Trans. on Multimedia*, 2001, 3(3): 339 - 355.
- [11] Floyd S, Handley M, Padhye J, et al.. Equation based congestion control for unicast applications. [Online]. Available: <http://www.ac.iri.org/tfrc>.
- [12] Jerne N K. The immune system [J]. *Scientific American*, 1973, 229(1): 52 - 60.
- [13] Ding Y Sh. A nonlinear PID controller based on fuzzy-tuned immune feedback law [A]. *Proceeding of the 3th World Congress on Intelligent Control and Automation WICCA*, Hefei, China,

- 2000: 1576 – 1580.
- [14] Kumar K, Neidhoefer. Immunized adaptive critics for level 2 intelligent control[A]. Proceeding of 1997 IEEE Intelligent on Systems, Man, and Cybernetics, Orlando, FL, USA, 1997, 1: 856 – 861.
- [15] Takahashi K, Yamada T. Application of an immune feedback mechanism to control systems [J]. *JSME International Journal, Series C*, 1998, 41(2): 184 – 191.
- [16] Wang L X. Fuzzy systems are universal approximators [A]. Proceeding of IEEE International Conference on Fuzzy Systems, San Diego, 1992: 1163 – 1170.
- [17] 李士勇. 模糊控制——神经网络和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998: 287 – 298.
- 孙雁飞: 男, 1976 年生, 博士生, 研究方向为网络性能监测与优化、媒体网络通信、IP 网络 QoS 监测、控制与管理.
- 张顺颐: 男, 1944 年生, 教授, 博士生导师, 中国电子学会通信分会理事, 中国通信学会通信软件分会理事, 华东高校计算机基础教学研究会名誉理事, 江苏省信息化建设领导小组办公室专家组成员, 江苏省信息化建设规划小组专家组成员, 国家 863 通信主题高速宽带通信技术经济专家组成员, 主要研究方向是计算机通信网及 IP 技术.
- 饶 翔: 男, 1977 年生, 博士生, 研究方向为网络性能监测与优化下一代网络的 QoS 体系结构.
- 石 进: 男, 1976 年生, 博士生, 研究方向为计算机系统结构、计算机网络体系结构.