

RTP/RTCP自适应流量控制算法

蒋建国, 苏兆品, 李 援, 梁立伟

(合肥工业大学计算机与信息学院, 安徽合肥 230009)

摘 要: 在研究 RTP/RTCP协议的基础上, 通过引入综合预测量, 设计了一种流量控制算法, 此算法使用了变常数增长和变常数减少的方法对发送速度进行自适应调整. 最后给出了一组实验, 以说明该算法可以有效的提高 RTP流的平稳性, 减小抖动, 增加网络带宽的利用率.

关键词: RTP/RTCP; 综合预测; 自适应流量控制

中图分类号: TP393.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 09-1659-04

Adaptive Flow Control Algorithm for RTP/RTCP

JIANG Jian-guo, SU Zhao-pin, LI Yuan, LIANG Li-wei

(Dept. of Computer & Information, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

Abstract On the base of research on real time transport protocol and real time transport control protocol (RTP/RTCP), a flow control algorithm is proposed by introducing synthesis prediction, and variable increase and decrease are used to adjust sending rate adaptively. Finally, the experiments are carried out to illustrate that the algorithm can enhance the stabilization of RTP flow, decrease the jitter, and utilize network bandwidth efficiently.

Key words RTP/RTCP, synthesis prediction, adaptive flow control

1 引言

对用户而言, 因特网是一个公平的、不限制数据发送的网络. 但如果用户向因特网中发送大量的数据, 而不考虑网络传输能力的话, 就会导致网络拥塞, 因而对用户数据流进行控制是必须的. 目前, 在因特网中传输诸如 IP 电话、视讯会议之类的实时业务的需求变得越来越强烈, 考虑到这些业务的广播特性和实时的特性, 一般用 UDP 协议作为其传输层协议. 由于 UDP 协议缺少拥塞控制机制, 而且实时业务对网络传输时延、延时抖动等特性较为敏感, 当大量的实时业务进入网络时, 网络可能产生严重的拥塞, 导致实时业务的服务质量难以得到保证. 因此, 给 UDP 增加流量控制成为当务之急^[1-5].

目前, 因特网中的实时业务一般采用 RTP/RTCP 协议. RTP 流的速度和编码方式可以反映媒体流的质量. 用户一般不希望媒体流速度变化较快, 所以要合理调节发送速度, 减少流的抖动, 提高平稳性.

2 相关工作

文献 [1] 采用了乘增长和乘减少的方法进行流量控

制, 但从文献 [2] 可以知道, 为了保证每个流的公平性, 自适应算法应该采用加增长和乘减少的策略. 文献 [3] 中采用了常数加增长和乘减少的自适应算法, 并以 RTCP 作为自适应反馈控制的协议. 文献 [4] 提出了一种平稳的、变常数增长的自适应算法 (简称为平稳算法), 但由于其增长函数设置不合理, 使传输的带宽限制在前一次拥塞发生时的拥塞带宽之下, 不能适合网络带宽动态变化的特点, 不利于提高网络带宽的利用率.

目前的流量控制算法虽然可以减少报文的丢失率, 但由于只考虑用当前网络状态来调整发送速度, 而忽视了整个网络背景对发送速度的指导作用, 这在一定程度上会增加流的抖动性; 而且算法只是单独对加增长或乘减少因子进行了自适应控制, 并没有做到发送速度完全根据网络的状态进行自适应调整.

本文在借鉴前人工作的基础上, 设计了一种自适应流量控制算法, 该算法是基于发送方的流量控制机制, 即由接收方统计数据流的信息, 再反馈给发送方, 发送方综合考虑长期的网络背景和当前的网络状态, 采用变常数增长和变常数减少的方法对发送速度进行自适应调整, 避免网络的拥塞, 使实时业务的服务质量得到保证.

3 RTP/RTCP自适应流量控制算法

RTP/RTCP协议常用在分组网中传输实时数据, 一般用UDP协议作为其传输层协议. RTP协议为实时业务提供端到端的传输服务, 向接收端传送恢复实时信号所必需的定时和顺序信息; RTCP协议周期性地向 RTP会话中的参与者传输控制分组, 提供数据传送过程中监测 QoS的手段. 为了支持广播, RTCP数据的发送频率一般设定为最小5s一次^[6].

3.1 综合预测量

由于用户希望媒体流的速度变化平稳、抖动小, 所以 RTP流要实时地根据网络的状态调整发送速度. 由RFC1889知, 前 i 个 RTP传输间隔内发送方的报文丢失率 L 为一种长时间测量网络拥塞的方法, 计算方法如式(1)所示; 间隔抖动 J 字段提供了短时间测量网络拥塞的方法, 可以直接从 RTCP报文中获取, $J = \text{jitter}^{[4-7]}$.

$$L = \frac{\text{cumu_lost}_i - \text{cumu_lost}_{i-1}}{\text{highest_num_receive}_i - \text{highest_num_receive}_{i-1}} \quad (1)$$

其中: cumu_lost_i 表示从会话开始到第 n 个传输间隔内所丢失的 RTP数据包总数; $\text{highest_num_receive}_i$ 表示从会话开始到第 n 个传输间隔内所接收到的 RTP数据包的最大序列号^[6].

报文的丢失说明网络已经发生了拥塞, 而间隔抖动是暂时的拥塞, J 可以在报文丢失之前预测网络是否要发生拥塞. 因此, 当发送端接收到接收端发来的 RTCP报文时, 综合当前报文中的间隔抖动值 J 与前 i 个 RTP传输间隔内发送端的报文丢失率 L 调整 RTP流的发送速度, 定义综合预测量如式(2)所示.

$$r = w_1^* \frac{L}{L_{\max}} + w_2^* \frac{J}{J_{\max}} \quad (2)$$

L_{\max} 表示实时业务允许的最大丢包率; J_{\max} 表示实时业务允许的最大间隔抖动; w_1, w_2 分别表示报文丢失率和间隔抖动在整个预测过程中所占的权重, 且 $w_1 + w_2 = 1$ 我们可以根据网络环境人为指定 w_1, w_2 的取值. 在相对平稳的网络环境中, 适当增加 L 的预测权重, 取 $w_1 > w_2$; 而在复杂多变的网络环境中, 要增加 J 的预测权重, 即取 $w_1 < w_2$.

可见, r 既反映了长期的网络背景, 也包含目前网络的状态, 由其来预测发送速度, 可避免 RTP数据包的丢失, 减小流的抖动性.

3.2 RTP/RTCP自适应流量控制算法

加增长乘减少的流量控制算法一般表示为^[4-5]:

$$v(t+1) = \begin{cases} v(t) = a_p & r_{\text{loss}} \leq \text{TH}_{\text{loss}} \\ b_p v(t), & r_{\text{loss}} > \text{TH}_{\text{loss}} \end{cases} \quad (3)$$

式中 $a_p \geq 0, 0 \leq b_p < 1$

其中 $v(t+1)$ 表示 $t+1$ 时刻 RTP流的发送速度, a_p 是加增长常量, b_p 是乘减少因子, r_{loss} 是报文的丢失率, TH_{loss} 是报文丢失的门限, 反映用户对报文丢失率的容忍程度,

一般由人指定; 此算法是根据发送方的报文丢失率来调节的, 当报文的丢失率超过了门限 TH_{loss} , 降低报文的发送速度; 如果丢失率没有超过门限 TH_{loss} , 则增加报文的发送速度. 此算法可以保证信道中各流是公平的^[2], 但具有一定的局限性.

对于 TCP, 它在每个环回时间内就会调整窗口, 常数加增长乘减少的方法可以快速地调整窗口以适应网络的变化. 但对于 RTP, 它利用 5s 反馈一次的 RTCP所提供的 QoS 信息来调节 RTP发送速度^[8-10], 如果常数 a_i 和 b_i 设定得太大, RTP流的抖动会很大, 也会加剧网络的拥塞; 如果设定得太小, RTP流的速度增加就会太慢或减小的太快, 不利于网络带宽利用率的提高. 而且此算法只根据前一个 RTP传输间隔内发送方的报文丢失率来调节发送速度的, 没有考虑整个网络背景对发送速度的影响.

本文提出的 RTP/RTCP自适应流量控制算法是利用 RTCP作为反馈信息协议, 在引入综合预测量 r 的基础上, 采用变常数增长和变常数减少的方法调整 RTP流的发送速度, 具体表示如下:

$$v(t+1) = \begin{cases} v(t) + (1 - 5 \times r)^r \times v(0), & \text{若 } 0 \leq r \leq c \\ \left(1 - \frac{r}{2}\right)^r v(t), & \text{若 } c < r \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

其中 r 是综合预测量, 可由式(2)得出; c 表示进行流量增长和减少的阈值, 反映了用户对网络状态的接受程度, 一般由人指定, 取值范围为 $[0, 1, 0, 2]$. $v(0)$ 表示初始时刻的 RTP流发送速度; 5和 $1/2$ 为曲线的修正因子. 采用修正因子的目的是降低恢复速度的变化, 使数据发送更加平稳. 把式(2)代入到式(4)得到式(5).

由函数的性质可知: $v(t+1)$ 分别为 L 和 J 的减函数.

$$v(t+1) = \begin{cases} v(t) + [1 - 5 \times (w_1^* \frac{L}{L_{\max}} + w_2^* \frac{J}{J_{\max}})]^{w_1^* \frac{L}{L_{\max}} + w_2^* \frac{J}{J_{\max}}} \times v(0), & \text{若 } 0 \leq r \leq c \\ \left(1 - \frac{w_1^* \frac{L}{L_{\max}} + w_2^* \frac{J}{J_{\max}}}{2}\right)^{w_1^* \frac{L}{L_{\max}} + w_2^* \frac{J}{J_{\max}}} v(t), & \text{若 } c < r \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

在 $r \leq c$ 时, $v(t+1)$ 随着 L 或 J 的减小而逐渐加快增加的速度, 从而提高网络带宽的利用率; 当 $r > c$ L 或 J 的增加都能增加 $v(t+1)$ 减小的速度, 使 RTP流具有较小的丢包率和较好的平稳性. 因此, $w_1^* L/L_{\max}$ 保证 RTP流有较小的丢包率, 而 $w_2^* J/J_{\max}$ 则保证 RTP流有较好的平稳性.

在网络传输过程中, 发送速度要受到网络带宽的限制, 设 v_{\max} 为网络所允许的最大发送速度, v_{\min} 是用户所能承受的最小发送速度. 当 $v_{\min} < v(t) < v_{\max}$ 时, 按下面的算法

进行 RTP 流发送速度的调整

(1) 当 RTP 流第一次进入网络时, 按速率 $v(0)$ 发送报文;

(2) RTP 流进入网络的时间间隔小于 i 时, 发送方将直接按照前一个传输间隔内的丢包率调整发送速度: 如果丢包率 $f \leq L_{max}$, 则 $v(t+1) = v(t) + (1 - 5 \times f) \times v(0)$; 否则 $v(t+1) = \left[1 - f/2\right]^r v(t)$. 由文献 [5] 知, $f = \frac{\text{fraction_bst}}{256}$;

(3) RTP 流进入网络的时间间隔大于 i 时, 发送方按照下述方式调整发送速度: 如果综合预测量 $0 \leq r \leq c$ 时, 则 $v(t+1) = v(t) + (1 - 5 \times r)^r \times v(0)$; 否则 $v(t+1) = \left[1 - r/2\right]^r v(t)$.

i 表示从第 i 个传输间隔开始进行综合预测. 此算法的思想是利用前 i 个 RTP 传输间隔内发送方的报文丢失率 L 和当前报文中的间隔抖动 J 作为综合预测量, 并采用变常数增长和变常数减少的方法对发送速度进行自适应调整. 每当接收到一个 RR 包, 就记录 RR 包中的控制信息: 累计包丢失数, 接收到的包扩展最高的序列号, 间隔抖动等. 首先根据式 (1) 计算报文丢失率 L , 并根据式 (2) 计算综合预测量 r , 然后根据式 (4) 进行流量的控制. 若 $0 \leq r \leq c$ 时, 说明网络没有发生拥塞, 按照 r 的大小增加发送速度, 这样就提高了带宽的利用率, 又不会因为速度增加的太快而导致 RTP 流的抖动; 若 $c < r \leq 1$ 时, 说明网络已发生拥塞, 或者是将要发生拥塞, 发送端根据拥塞的程度来降低发送速度, 这样既降低了 RTP 流速度的抖动和包的丢失率, 又不会因为速度减小的太快而降低了带宽的利用率.

4 仿真结果

通过局域网来测试此算法的性能. 在局域网内, 有 15 台 PC 机连到服务器. 设定发送端初始报文的大小为 1024bit, L_{max} 为 0.04, J_{max} 为 5000 (相当于 0.07s), c 设为 0.2. 各流在 0~5s 之间随机加入网络, 分布为均匀分布. 图 1 是利用本文算法产生的流 1、3、5 在每 5s 收到 RTCP 报文后 RTP 发送报文大小的改变曲线.

从图 1 可以看出, 网络中的各流能够公平的共享信道带宽. 对流 1 分别采用本文新控制算法、文献 [4] 中的平稳算法和常数加增长乘减少的普通算法进行流量控制, 其发送速度的变化曲线如图 2 所示. 与平稳算法和普通算法相比, 新控制算法使 RTP 流的平稳性增加, 以较小的抖动代替了较大的抖动.

对流 1、流 3、流 5 分别采用三种算法进行流量控制, 每条流在 1000s 内所收到报文总量如表 1 所示, 平均报文丢失率如表 2 所示. 由表 1 可以看出, 新控制算法增加了报文的传输总量, 从而具有较高的带宽利用率. 而表 2 中新控制算法的报文丢失率比平稳算法和普通算法有所增加, 但是增加的幅度不大, 可以满足实时业务的需求.

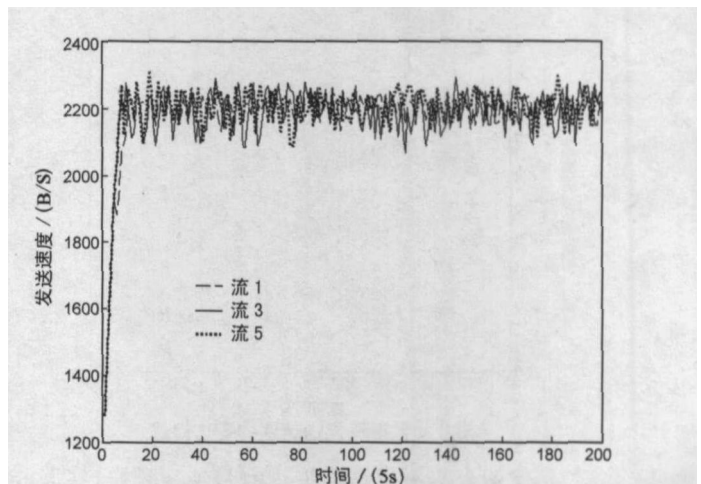


图 1 数据流发送速度的变化曲线

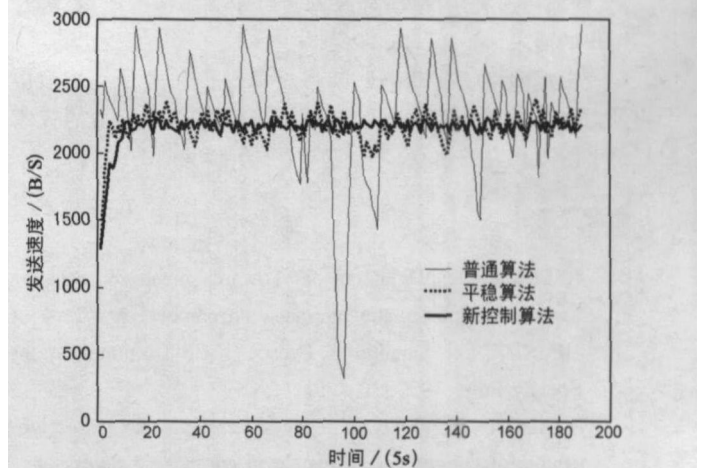


图 2 三种算法数据流发送速度的变化曲线比较

表 1 三种算法收到的报文总量的比较 (单位: B)

流的序号	新控制算法	平稳算法	普通算法
1	2228718	2222375	1963625
3	2273375	2263218	2033625
5	2230718	2217968	2033437

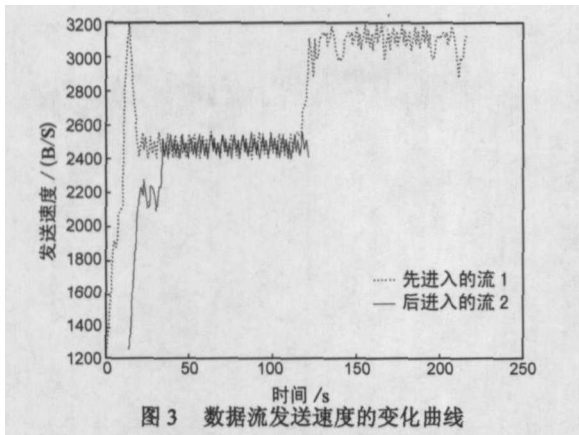
表 2 三种算法平均报文丢失率的比较

流的序号	新控制算法	平稳算法	普通算法
1	0.02376	0.02026	0.01568
3	0.02468	0.02027	0.01559
5	0.02282	0.02076	0.01485

图 3 说明了新控制算法具有公平性. 流 1 先进入网络, 流 2 后进入网络, 后进入网络的流 2 可以很快的与先进入的流 1 共享信道的带宽; 当流 2 退出网络后, 流 1 就又能很快的恢复原来的发送速度, 不会由于前一次的拥塞而限定在一定的带宽范围内, 克服了文献 [4] 的缺点.

5 结论

流量控制算法在实时业务中具有非常重要的地位, 在研究 RTP/RTCP 协议的基础上, 通过引入综合预测量, 设计了一种新的流量控制算法, 此算法使用了变常数增长和



变常数减少的方法对发送速度进行自适应调整。实验表明,此算法具有公平性,可以提高 RTP流的平稳性,减小抖动,增加信道利用率,明显改善实时业务服务的质量,满足用户的需求。

根据网络状况动态地调整流量增长和减少的阈值以及报文丢失率和间隔抖动在整个预测过程中所占的权重是下阶段研究的重点。

参考文献:

- [1] R E H Marakby, D Hutchison Towards managed real-time communications in the internet environment [A]. Proc of HPCS 97 [C]. Chalkidiki Greece IEEE Communications Society Press 1997 21- 29.
- [2] D Chiu, R Jain Analysis of the increase and decrease algorithms for congestion avoidance in computer network [J]. Journal of Computer Networks 1989, 17(1): 1- 14
- [3] I Busse, B Deffner, H Schulzrinne Dynamic QoS control of multimedia applications based on RTP [J]. Computer Communication, 1996, 19(1): 49- 58
- [4] Cheng Wanxiang, Lei Zheming An modified RTP adaptive algorithm [A]. Proc of Info-tech and Info-net [C]. Beijing IEEE Press 2001, 2 33- 38
- [5] 雷振明, 张铁博, 程万翔. 一种改进的 RTP 自适应算法 [J]. 高技术通讯, 2002 (8): 9- 12
Lei Zheming, Zhang Yibo, Cheng Wanxiang An modified RTP adaptive algorithm [J]. High Technology Letters

2002, (8): 9- 12 (in Chinese)

- [6] Schulzrinne H, Casner S RTP: A Transport Protocol for real-time application [DB/OL]. IETF, RFC1889 < URL: <http://www.ietf.org/RFC/RFC1889.txt>.
- [7] 邱小燕, 吴产乐, 叶刚. RTP 协议中 RTCP 传输间隔算法 [J]. 武汉大学学报 (理学版), 2005, 1: 7476
Qiu Xiaoyan, Wu Chanle, Ye Gang RTCP transmission interval algorithm in RTP [J]. Wuhan University Journal (Natural Science Edition), 2005 1: 749- 1276 (in Chinese)
- [8] 鞠九滨, 谢忠诚, 张钊. 基于实时传输协议的丢包实时修复 [J]. 软件学报, 2001, 07(12): 1042- 1049.
Zhang Ke, Xie Zhongcheng, Ju Jiubin Real-time repairing lost packets based on real-time transport protocol [J]. Journal of Software, 2001, 07(12): 1042- 1049. (in Chinese)
- [9] 陈怡秋, 陈晓光. 基于 UDP 的无线自相似环境下 MPEG-4 码率自适应控制 [J]. 通信学报, 2005 26(5): 17- 23
Chen Yiqiu, Chen Xiaoguang On adaptive MPEG-4 rate controlling in self-similar wireless network environment [J]. Journal of China Institute of Communications, 2005, 26(5): 17- 23 (in Chinese)
- [10] 胡玉琦, 贾仁祥, 高远. VODStar 视频点播系统的设计、实现及性能测试 [J]. 计算机研究与发展, 2003, 11(40): 1643- 1649.
Hu Yuqi, Yan Renxiang, Gao Yuan Design, implementation and performance test of a video-on-demand system [J]. Journal of Computer Research and Development, 2003, 11(40): 1643- 1649. (in Chinese)

作者简介:

蒋建国 男, 1955年10月生, 安徽宁国, 合肥工业大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能信息处理、传感与智能控制等。

E-mail: jgj@ah165.net

苏兆品 女, 1983年9月生, 山东菏泽, 合肥工业大学博士研究生, 主要研究方向为计算机网络、智能信息处理和智能控制等。

E-mail: szhp@163.com

李援 男, 1979年5月生, 山东东营, 合肥工业大学博士研究生, 主要研究方向为网络传输与网络安全等。

梁立伟 男, 1981年7月生, 山东莱阳, 合肥工业大学硕士研究生, 主要研究方向为视频处理等。