

# 基于 RTP 的实时多媒体数据网络传输 拥塞控制策略

万正道, 杨永超

(邯邢矿山管理局安徽开发有限公司, 安徽 六安 237462)

**摘要:** 本文首先介绍了实时多媒体数据网络传输现状, 分析了在 RTP/RTCP 协议下其速率控制及其必要性, 详细阐述了现目前常用的网络拥塞控制方法, 即反馈控制与自适应控制及其改进平稳自适应算法等控制策略, 结合视音频传输中实时性和快速性, 采用了接收端滑动控制方法, 使传输过程既充分利用了带宽又不引起网络拥塞, 取得了良好的实验结果。

**关键词:** RTP; 拥塞控制; 多媒体; 网络

中图分类号: TP311.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2010)07-0044-04

## The Congestion Control Strategy of Real-time Multimedia Data Transmitting over the Network

WAN Zheng-dao, YANG Yong-chao

(Handan-Xingtai Mining Development Co., Ltd., luan 237462 China)

**Abstract:** This paper introduces the status of real-time multimedia data transmitted over the network, and analyses the rate control and needing of RTP / RTCP protocol, describes the current network congestion control method, that is the feedback control and adaptive control and its stable and adaptive algorithm of improving control strategies, with receiver-side sliding control method by combinationing of real-time video and audio transmission and making full use of both transmission bandwidth and also without network congestion, and achieved good results.

**Key words:** RTP; congestion control; multimedia; network

### 1 引言

对用户而言, Intenet 网络是公平的无限制数据发送的网络, 但是如果用户向因特网发送大量数据, 忽视网络传输能力的话, 会导致网络拥塞, 因此对因特网进行流量控制是必须的。尤其是在网络多媒体数据传输, 为追求实时性一般均采用 UDP 协议, 缺少拥塞控制机制, 所以必须给 UDP 增加流控机制<sup>[1]</sup>。图 1 描述的是拥塞控制对保障网络性能的重要性。

### 2 传输方案

多媒体数据流实时传输协议, 主要包括: 流协议 ST-II、实时传输协议 RTP、资源预留协议 RSVP<sup>[1],[2],[3],[4]</sup>、

实时流协议 RTSP、IPV6<sup>[9]</sup>协议等。

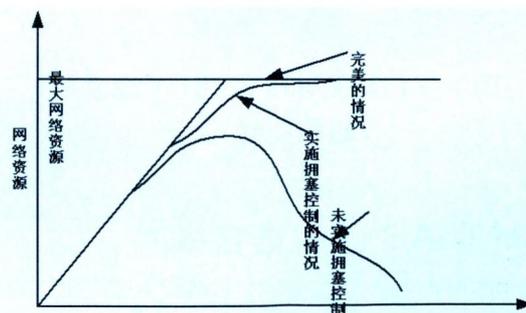


图 1 拥塞控制对网络性能的影响

在上述流媒体协议中, 有的因为网络环境和设备条件等的限制, 还没有普及应用。目前在流式传输的实现方案中, 一般采用 HTTP/TCP 来传输控制信息, 采用 RTP/UDP 来传输实时音视频数据。控制策略常是通过

报头中的序号,时戳等字段,以及RTCP报文可提供一种基于无连接传输协议的端到端控制机制<sup>[6], [7], [8]</sup>,即:

(1) 序号字段可用于排序RTP报文分组,以消除重复分组,保持视频或音频流内同步和连续的播放。

(2) 时戳字段可作为流间同步标识,以保持视频或音频流间同步和连续的播放。

(3) RTCP报文提供一种基于接收者反馈的网络传输QOS监测机制,发送者可以利用这种机制实施端到端的强制性同步控制,以改善当前网络传输的QOS。

### 3 控制策略

实时流媒体应用如视音频等都要求数据流的平滑性,即发送方的发送速率不能有太剧烈的抖动,剧烈的速率变化成为流媒体应用的一大障碍,为了改变这种发送方速率的抖动状况,出现了基于速率的拥塞控制算法,即按每秒发送多少比特来控制数据发送。因为流媒体本质都是基于速率的。速率控制方法根据网络可用带宽的变化,动态调整媒体流的速率,把网络拥塞发生的可能性降到最低

为了便于分析实时多媒体数据传输中的速率控制问题,先描述一个基于源端速率控制的传输框架。如图2。

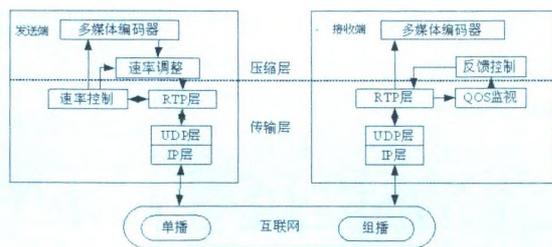


图2 多媒体实时传输分层框架

在中间要经过多个节点的传输系统里,网络状况变化对视音频实时性影响很大,一般均是丢包率和延时抖动作为判断网络状况的依据。即网络状态是丢包率和延时抖动的函数。

$$NetState = NetState(P(n), D(n)) \quad (1)$$

其中P(n)为丢包率,D(n)为延时抖动。RTP丢包率的计算采用式(2):

$$p(n) = \frac{w(n) - w(n-1)}{(q(n) - q(n-1))(t(n) - (t(n-1)))} \quad (2)$$

其中W(n)表示当前收到的RTCP回包RR中的丢包数;q(n)为接受到的最高包序号;t(n)为RTP包的时间戳。传输延时时间采用下式计算:

$$D(n) = T_{send}(n) - L_{srlast}(n) - D_{srrr}(n) \quad (3)$$

其中 $T_{send}(n)$ 是发送端收到RR包的时间, $L_{srlast}(n)$ 为接收端最后收到的SR时间戳, $D_{srrr}(n)$ 是接收端最后收到SR到其发送RR之间的延迟时间。

### 3.1 反馈拥塞控制分析

反馈控制,即由接收方统计流的包丢失率,再反馈给发送方,发送方根据此信息调整发送的速率来避免网络的拥塞。

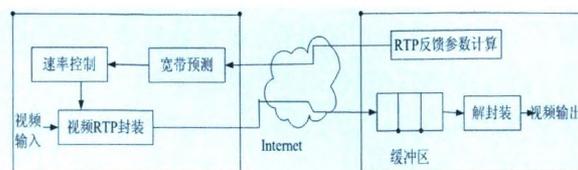


图3 拥塞控制框图

算法描述为:

P(n)表示返回的RTCP包所包含丢包率,含义是反映了接收端从前一个RTCP包后的n个包时间间隔内数据包丢失情况,SV表示发送端初始速率,并设两个阈值 $SV_{min}, SV_{max}$ 。

$SV_{min}$ 为最小速率, $SV_{max}$ 为最大速率, $\eta$ 表示线性增量因子, $\gamma$ 乘性减少因子, $P(n)_{max}$ 为最大丢包率。

控制过程为,在发送端:初始输出速率 $SV=SV_c > SV_{min}$ ,每个RTP包又一个包序列号。

对应没n个RTP包,发送一个RTCP控制包,依据RTCP反馈的含有丢包率P(n),输出速率做出调整,调整方案为:

$$\begin{aligned} & \text{if } (P(n) < P(n)_{max}) \\ & SV = \min \{ (SV + \eta), SV_{max} \} \\ & \text{else } SV = \max \{ (SV \times \gamma), SV_{min} \} \end{aligned}$$

在接受端,每收到n个数据包或者最小5秒发送一个RTCP反馈包到发送端,该反馈包包含从发出上一个反馈包到发送此包期间的丢包率p(n)。

这种控制算法的线性增量因子增加会使发送端引发更多的丢包率,如果用乘性减少因子可以减少拥塞时间,但是易使网络发生抖动。视频质量不稳定。

### 3.2 自适应控制策略分析

为解决抖动,采用自适应控制方案,该方案也是基于反馈算法,但需要经过一个低通滤波器,进行平滑处理。在该算法里,RTCP依然作为反馈控制协议。

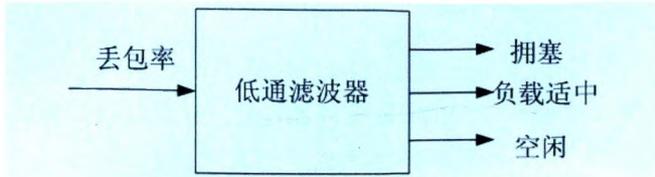


图4 自适应控制流程

设最新的丢包率为  $p'(n)$ ，经低通滤波器后的丢包率为：

$$p(n) = (1 - \varphi) \times p(n-1) + \varphi \cdot p'(n) \quad (4)$$

其中  $p(n)$  为平滑后的数据， $\varphi$  为滤波器参数，在  $[0, 1]$  区间调整， $\varphi$  的取值决定了平滑丢包率受原值和当前反馈值的影响程度。当  $\varphi$  增加时，当前包丢失率对最终结果影响较大，减小  $\varphi$  使最新丢包率接近原值，以前的结果对当前的新值影响较大。调整策略为：

$$sv(t+1) = \begin{cases} sv(t) + \eta, & \overline{p(n)} \leq P(n)_{\max} \\ \gamma sv(t), & \overline{p(n)} > P(n)_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

设  $\overline{p(n)}$  为平均丢包率，其中  $sv(t+1)$ ， $sv(t)$

分别是  $t+1$  和  $t$  时刻的 RTP 包速率， $\eta > 0, 0 < \gamma < 1$ ，这种自适应算法也有其局限性，它利用最小 5 秒反馈一次的 RTCP 包提供的丢包率来调节 RTP 发送速率，若增长因子太大，数据包抖动厉害，若定的太小，速率增长速度太慢，采用平稳自适应算法<sup>[5]</sup>解决次问题。

### 3.3 改进的自适应控制策略

平稳自适应控制调整方案<sup>[5]</sup>为(5)式。在该算法中，此时的  $\eta$  不是定量而是变量，设  $sv_{lasttime}$  为前一次发生拥塞时的 RTP 包的速率， $sv_{\Delta}$  为常增量， $sv_{gate}$  是判断恢复速率是否足够接近上一次发生拥塞时的速率  $sv_{lasttime}$  的门限值，是一个相对值。网络发生拥塞时，不管数据包速率好多，都会将其速率减少  $\gamma sv(t)$ ，没有数据包拥塞时， $\eta$  是动态变化的，其逻辑变化规则如下：

当 RTP 包第一次进入网络， $\eta = sv_{\Delta}$ ，此时的 RTP 包按常量  $sv_{\Delta}$  增长；

当网络曾出现拥塞，如果：

$sv_{lasttime} - sv(t) < sv_{gate} \times sv_{lasttime}$ ，且网络中现在没有拥塞，则

$$\eta = (1 - \exp^{-0.5 \times (1 - \frac{sv(t)}{sv_{lasttime}})}) (sv_{lasttime} - sv(t)) \quad (6)$$

如果  $sv_{lasttime} - sv(t) \geq sv_{gate} \times sv_{lasttime}$ ，且网络中没有拥塞则有： $\eta = sv_{\Delta}$ ，其中  $r$  是发送端到接收端可利用的最大带宽。

该平稳算法<sup>[10]</sup>的基本思想时用网络发生拥塞时的信

息来控制增加的幅度，既能提高带宽的利用率，还能减少发生拥塞的几率。但是其缺点是其鲁棒性不够好。为改善传输系统稳定性，实行自适应动态调整算法。数据经平滑处理后为(4)式中的  $p(n)$ 。

设平均丢包率为  $\overline{p(n)}$ ， $sv(n) \in [sv(n)_{\min}, sv(n)_{\max}]$ ， $sv(n)_{\min}, sv(n)_{\max}$  分别为最小传输速率和最大传输速率，设两个阈值  $k_1, k_2$ ，满足  $0 < k_1 < k_2 < 1$ ，令  $q(n)$  表示  $p(n) \geq k_2$  所占的比例，有  $q(n) = K\{p(n)\} / N$ ，其中  $K\{p(n)\}$  表示  $p(n) \geq k_2$  的个数。则有：

$$sv(n) = \begin{cases} \min\{sv(n-1) + \alpha[1 - \overline{p(n)}], sv(n)_{\max}\}; \max\{p(n)\} \leq k_1 \\ sv(n-1); \overline{p(n)} \leq k_1, k_1 < \max\{p(n)\} \leq k_2 \\ \max\{sv(n-1) - \overline{p(n)}(1 - q(n)\beta_1 + q(n)\beta_2), sv(n)_{\min}\}; \overline{p(n)} > k_1, \max\{p(n)\} \geq k_2 \end{cases} \quad (7)$$

其中  $\alpha, \beta_1, \beta_2$  为调整比例因子，其中  $\alpha > 0, 0 < \beta_1 < \beta_2$ ，保证了  $p(n) \geq k_2$  后  $sv(n)$  能迅速下降，这需要通过实验取得，当  $k_1 < \max\{p(n)\} \leq k_2$  且  $\overline{p(n)} \leq k_1$  时，为了避免频繁调整传输速率及一个过度过程，所以在该区间内不改变调整速率， $k_2$  的选取标准是丢包的程度尽管影响到了传输但是解码后的多媒体效果在可以接受范围内。该算法尽管解决了上述问题，但  $p(n)$  需要在客户端实现，明显不合适。

在视频会议或者远程教学系统中，接收端是动态变化，导致网络数据包的分发和接受变化频率高，本文里采用接收端数据缓冲区的滑动控制策略。接收端滑动控制原理见图 5。

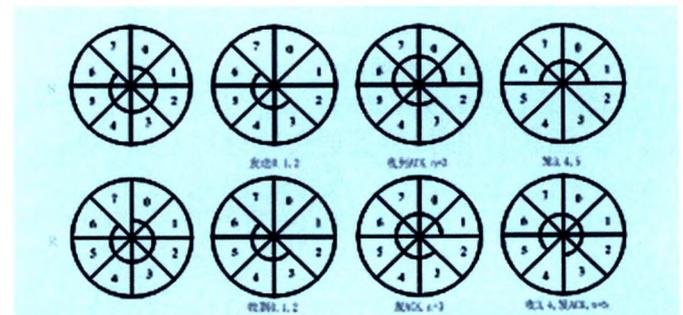


图5 滑动控制窗原理

假设有 8 个数据包，发送端首次发送 1 个数据包，如收到对方确认信息，第二次发送的帧序号数为上一次数加 1，它必须位于发送窗口内。发送方保存所有已发送、但未确认的数据帧，以备出错重发。连续发出多 后，因还未收到对方确认信息，发送窗口缩 1；当收到对方确认回答后，清除已确认的 所占的 缓冲区，因而发送窗口扩大。依次思想，控制策略为：

(下转第 54 页)

对象结构化编程过程有了更好的了解,同时可以看出,将状态转移法应用在具体的子功能模块编程中,减少了设计经验对PLC软件设计的影响,并且形成一种较为固定完整的实现框架模式。最终达到在实际应用时,可以根据PLC程序结构设计思路,功能模块的组成及相应状态图,为程序的阅读交流、修改优化,设备的正常运行维护等工作提供可靠的依据。

## 参考文献:

(上接第46页)

首先在接收端缓冲区设定初值为  $N_{\max}$ ;如果连续三次由于缓冲区太小导致到达的期望数据包被确认为丢失包,就令先到达的数据包数  $k = k + 1$ ,如果  $k$  的增加达到最大值  $N_{\max}$ ,保持  $k = N_{\max}$  不变;

如果连续三次期望数据包与当前处理数据包之间的间隔小于当前缓冲区大小  $n$ ,则缓冲区减小一个单元,  $k = k - 1$ ,即减小一个数据分组平均长度,如果  $k$  达到最小值就保持  $k = N_{\min}$ 。

## 4 测试结果与数据分析

在实验室环境下,测试RTCP报文统计丢包率变化与相应缓冲区大小调整关系,同时也反映了在某一时间段内网络传输包传输质量,在sniffer Pro软件中做分析。该实验反映出,接收端缓冲区选取65536B最为合适。需要说明的是,丢包数是在一段时间内(本次实验定为15S)的平均丢包数量。

表1 接收端缓冲区滑动控制策略测试结果

数据包大小	缓冲区大小	平均丢包数	丢包率
12000	1024B	376	3.13%
12000	8196B	209	1.74%
12000	65536B	180	1.5%
12000	102	763	6.36%

当丢包率大于5%时,接收端多媒体数据基本是停滞,这种具有滑动大小的缓冲区控制算法不仅能及时响应网络变化,还能节省接收端的缓冲资源。如何确定缓冲区大小是对多媒体传输质量起着相当重要的作用,本文采用滑动策略对缓冲区大小采用试探法,同时如何能够保证在缓冲区能迅速准确将需要的数据包找出来,一般都是采用索引表的方法,本文没有做详细阐述,需进一步研究讨论。

## 5 结束语

[1] 张逸群,张晶亮,王一兵.PLC编程的面向对象程序设计方法[J].煤矿机电,2009(5):69-71.

[2] 廖常初.PLC梯形图的顺序控制设计法与顺序功能图[J].电工技术杂志,2001,(10):51-53.

[3] 廖常初.PLC编程及应用[M].北京:机械工业出版社,2003.

[4] 刘镔,周海等.深入浅出西门子S7-300PLC[M].北京:2004.

作者简介:曾海燕(1981-),女,实验师,硕士,研究方向:电气自动化。

本文详细阐述了现目前常用的网络拥塞控制方法,即反馈控制与自适应控制及其改进平稳自适应算法等控制策略,结合视音频传输中实时性和快速性,采用了添加时间戳和在接收端建立滑动控制的自适应缓冲区方法,改善了多媒体数据传输质量,使传输过程既充分利用了带宽又不引起网络拥塞,取得了很好的实验结果,验证了该方法的可行性和有效性。

## 参考文献:

[1] 黄晓武.实时传输、控制协议(RTP/RTCP)分析[J].福建电脑,2003,11:23-25.

[2] 李太君,吴泽晖.流媒体传输协议及其应用开发[J].计算机工程与应用.2004.(3):46-48.

[3] 余胜生,邓家义,周敬利.视频实时传输中的速率控制研究[J].计算机工程与应用.2002.(11):37-39.

[4] SCHULZRINNE H,CASNER S,Frederick Retal. RTP:a transport protocol for real-time applications[S]. RFC 1889,InternetEngineering TaskForce,1996.89-102.

[5] 宋振龙,彭宇行.一种实时数据流量控制算法[J].计算机工程.2004.(5):17-18.

[6] 程万翔,张轶博,雷振明.平稳的RTP自适应算法[J].齐齐哈尔大学学报.2002,1:23-26.

[7] RICHARD MARQUEZ,Eitan Altman,and Solazver Sole-alvarez.IEEE Transactionson Automaticcontrol,2005,50(12):2065-2069.

[8] PERKINS C.RTP:Audio and Video for the Internet [M].MA:Addison Wesley,2003.864-875.

[9] 流媒体技术基础-流媒体传输协议.http://www.wezu.net/blog/default.asp?tag=RPVP

[10] H.SCHULZRINNE,S.CASNER,R.FREDERICK, andV, JACOBSON.,Rtp:atransportProtocoiforreal-aPPLieatinns.IntemetEngineeringl'ask[C].Poree,RFC1889,1996:2-79.

[11] 董振亚.频流式传输拥塞控制研究与实现[D].[国防科技大学硕士学位论文].2003.

作者简介:万正道,男(1982-),工学硕士,助理工程师,研究方向:检测技术与自动化装置。