

# 流媒体数据传输主动式滤波整流模型

田雪峰 张旭中 王宇

(电子科技大学 8010 教研室, 成都 610054)

**摘要** 针对采用 VBR 编码的流媒体数据, 由于其码率变化大, 常出现数据突发传输, 而传统的流控技术又需要大量的客户端反馈, 致使带宽调整具有较大的滞后性而不适合基于 UDP 的 VBR 流媒体服务的问题, 提出了一种基于流媒体数据传输速率本身特征的主动滤波整流模型。由于此模型无需客户反馈信息, 可利用服务器的数据缓冲对数据流进行滤波整流处理, 从而不仅减少了由 VBR 编码带来的数据突发传输, 而且可直接在服务器方提供稳定的数据流传输服务。

**关键词** 固定码率 可变码率 用户数据报协议 流媒体 傅里叶变换 信道 C 型滤波器 L 型滤波器 LC 滤波器

中图分类号: TN919.8 TP393.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)03-0375-05

## The Active Wave-filtering and Stream-stabilizing Model for Streaming-media

Tian Xue-feng, ZHANG Xu-zhong, WANG Yu

(8010 division, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054)

**Abstract** How to provide quality Streaming Media service with limited bandwidth is an important issue worthy of discussing and it has become the hotspot of streaming-media research. As a popular codec method usually used now, VBR (Variable Bit Rate) often causes the streaming-media's coding rate to alter remarkably and results in abrupt data transportation, which will affect the service quality significantly. To handle this problem, many flow control techniques have been brought forward. But on the other hand, the conventional technique of flow controlling requires feedbacks from clients and the bandwidth adjusting lags far behind the actual data transportation so that it is unsuitable for the VBR streaming-media service based on UDP (User Datagram Protocol). At the same time, it is yet not necessary to support fastidious real-time performance for some kinds of streaming-media service, like video service. In this paper, we present an active wave-filtering and stream-stabilizing model based on the feature of data transportation velocity. Because it does not require feedbacks from clients, it not only reduces the abrupt data transportation caused by VBR but also provides steady streaming-data transportation service by the means of filtering and stabilizing.

**Keywords** CBR (Constant Bit Rate), VBR (Variable Bit Rate), UDP (User Datagram Protocol), streaming media, Fourier transform, communication channel, C-filter, L-filter, LC-filter

## 1 引言

随着 Internet 的发展, 流媒体 (streaming media) 变得越来越普及。由于流媒体在播放前并不下载整个文件, 只将开始部分内容存入内存, 因此可由计算机对数据包进行缓存, 并将媒体数据正确输出。由于流媒体数据可随时传送、随时播放, 因此已

经在视频点播和远程教学等场合得到广泛的应用。通常, 流媒体服务是采用基于 UDP (user datagram protocol) 的 RTP (real-time transport protocol) 协议进行数据传输<sup>[1]</sup>。而如何利用有限的带宽向用户提供高质量的流媒体服务, 是本文的研究重点。

通常, 视频编码的码率控制模式有如下两大类, 即固定码率 (CBR, constant bit rate) 和可变码率 (VBR, variable bit rate), 其中 CBR 模式为了保持

码率一致,在码率过小时,就填充无用数据,而码率过大时,则适当降低码率,因而其编码效率较低,特别在快速运动的画面部分,由于强行降低码率而使图像出现马赛克;而VBR模式的码率则可以随着图像复杂程度的不同而变化,不仅编码效率较高,而且快速运动画面也很少出现马赛克,因此特别适用于基于以太网的视频流媒体业务<sup>[2]</sup>,但是,也正因VBR可以在很宽的范围内调整流媒体图像传输质量和传输速率(例如,在MPEG-4视频流中,码率峰值可达均值的4倍以上,如图1所示),且其码率调整是突发性的,故将对流媒体数据传输产生巨大的影响,即由于UDP本身缺乏流控和拥塞控制,码率的突发变化将导致网络拥塞,并将引起突发丢包,因而极大地影响播放质量。如图1所示的流媒体服务,有效带宽为1Mbps的网络是无法保证其服务质量的。如果使用RSVP(resource reservation protocol)协议预留足够的信道带宽虽可以防止突发丢包,但会导致极大的信道带宽浪费(平均带宽利用率小于25%),这将大大降低网络的吞吐量,进而降低流媒体服务的客户并发数。

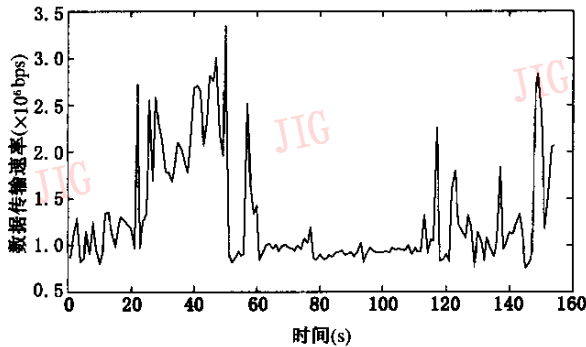


图1 影片《侏罗纪三》视频流的码率变化曲线  
(MPEG-4 编码,平均比特率为 905.67Kbps)

RTP流本身的速率和编码算法反映着流媒体数据的质量。因为用户一般不会希望流媒体数据传输速率变化过快,所以要合理地调节自适应算法,以减少流媒体数据的抖动和提高流媒体数据的平稳特性<sup>[3]</sup>。事实上,并非所有的流媒体服务都要求很严格的实时性,例如视频点播,远程教学等。由于它们使用了客户端接收缓冲,因此允许传输数据存在一定的延迟。针对这类应用,可以牺牲部分实时性,即以延迟换稳定,由于在服务器方可直接提供稳定的流媒体数据传输,从而可大大降低对信道带宽的需求。经过对文献<sup>[3,4,5]</sup>的分析,发现当前这方面的研究

方向主要集中在基于RTCP(real-time transport control protocol)反馈的类TCP(transfer control protocol)协议的被动式流控和拥塞控制上,即可根据RTCP反馈的丢包率来调整带宽,但其缺点是,由于调整动作具有延迟性,即当进行带宽调整时,拥塞可能已经发生,服务质量已经劣化,因此这类算法通常只适用于码率变化不剧烈的流媒体数据传输。同时,由于它需要大量的反馈报文,因此无形中也浪费了信道资源。

基于上述分析,针对流媒体数据传输的码率变化特点,本文提出了基于滤波器的主动式滤波整流模型。本模型的优点是无需客户反馈,即可直接利用服务器数据缓冲,这样既可主动在服务器方提供稳定的流媒体数据传输服务,也避免了突发变化,从而在保证高质量的流媒体服务基础上,不仅降低了对信道带宽的需求,而且提高了客户的并发数。本文首先分析其原理,然后提出数学模型,最后给出实验仿真。

## 2 问题分析

假设 $t$ 时刻的单路流媒体数据发送速率为 $I(t)$ ,如果将它作为以时间为自变量的一维信号函数,那么,根据傅里叶变换<sup>[6,7]</sup>,可以将 $I(t)$ 表示为

$$I(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k\omega_0 t) + b_k \sin(k\omega_0 t)) \quad (1)$$

$$(k = 1, 2, 3, \dots)$$

设提供单路流媒体服务所需信道带宽(即流媒体数据传输所需网络流速的峰值)为 $B$ ,如果不对源数据流进行整流处理,则有

$$B = \max(I(t)) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (\sqrt{a_k^2 + b_k^2}) \quad (2)$$

此时,对信道带宽的需求最高,而信道的利用率最低。根据傅里叶变换<sup>[6,7]</sup>,有

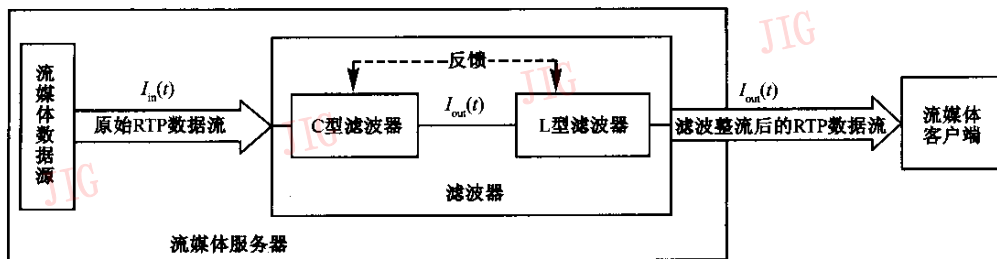
$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt \quad (T \text{ 足够大}) \quad (3)$$

$a_0$ 实际上代表时间 $T$ 内 $I(t)$ 的平均值,也就是说,在理想情况下,如果采用滤波技术滤除了全部 $k$ 次的正弦和余弦分量,那么在时间 $0 \sim T$ 内,带宽为 $a_0$ 的信道即可传输全部有效数据,但实际上,最好的滤波器也只能在一定程度上削弱 $I(t)$ 中 $k$ 次交流分量的峰值。由式(2)可知,一旦 $k$ 次交流分量的峰值得以削弱,那么对信道带宽的需求就会降低。在此基础上,本文提出了一种主动式滤波整流模型。

### 3 主动式滤波整流模型

#### 3.1 模型的提出

如图 2 所示,主动式滤波整流模型包括 C 型滤



流媒体服务系统中滤波整流模型

图 2 主动式滤波整流模型

#### 3.2 C 型滤波器

如图 3 所示,C 型滤波器包含一个数据缓冲区,其特征函数是如下一个一阶方程

$$I_{out}(t) = I_{in}(t) - \frac{dQ(t)}{dt} \quad (4)$$

其中,  $I_{in}(t)$ ,  $I_{out}(t)$  分别代表  $t$  时刻 C 型滤波器中的输入和输出网络流速。  $Q(t)$  代表  $t$  时刻缓冲队列中的数据量,而该缓冲队列是一个储存流媒体数据的仓库。

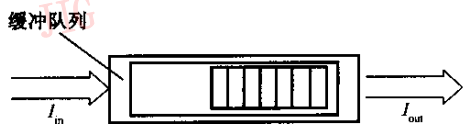


图 3 C 型滤波器

根据式(4),有

$$Q(t) = \int_{-\infty}^t [I_{in}(t) - I_{out}(t)] dt = Q(t_0) + \int_{t_0}^t [I_{in}(t) - I_{out}(t)] dt \quad (t > t_0) \quad (5)$$

式(5)表明,某一时刻缓冲队列的待发数据总量并不仅取决于该时刻的输入输出网络流速,而且与其历史相关,也即是说,C 型滤波器具有记忆性。它可通过对缓冲队列中在时间  $-\infty \rightarrow t$  内积累的待发数据量  $Q(t)$  进行动态调整来达到滤波整流的目的;当数据源发送数据速率提高时,即  $I_{in}(t) > I_{out}(t)$ ,则缓冲队列不但开始储存流媒体数据;当数据源发送数据速率降低时,即  $I_{in}(t) < I_{out}(t)$ ,则缓冲队列

波器和 L 型滤波器两个串连的组成部分。由于其原型来自于电路系统中的 LC 滤波器<sup>[7]</sup>,因此也称此模型为 LC 滤波器。之所以选用此原型,是因为从理论上说,LC 滤波器是滤波效能最高、整流效果最好的无源无耗滤波器。

不但开始释放以前储存的流媒体数据,而且发送速率变化越快,储存或者释放数据的时间越长。如果  $I_{in}(t)$  稳定,那么缓冲队列中的数据总量  $Q(t)$  最后也会达到一个稳定值,使得  $I_{in}(t) = I_{out}(t)$ ,即提高了稳定性,这样就可保证  $I_{out}(t)$  不会发生突变。

如图 4 所示,C 型滤波器的作用结果,使得  $I_{in}(t)$  的  $k$  次余弦分量  $a_k \cos(k\omega_0 t)$  或者正弦分量  $b_k \sin(k\omega_0 t)$  峰值大大削弱( $a_k > \hat{a}_k, b_k > \hat{b}_k$ ),从而不仅使输出网络流速达到一个较为稳定的值,而且使所需信道带宽  $B$  也得以降低。

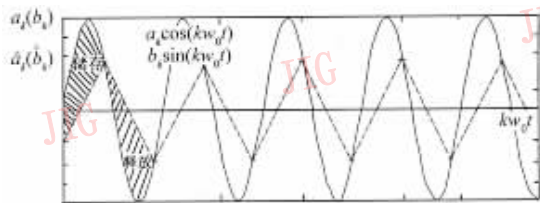


图 4 C 型滤波器对正弦波(余弦波)的滤波作用

并且,根据式(5),有

$$Q(t + \Delta t) - Q(t) = \int_{t_0}^{t+\Delta t} [I_{in}(t) - I_{out}(t)] dt \quad (6)$$

当  $\Delta t \rightarrow 0$  时,即使  $I_{in}(t)$  与  $I_{out}(t)$  在  $t$  时刻发生了跃变(不连续),但因为  $I_{in}(t)$  与  $I_{out}(t)$  都是有界的,所以仍然可得  $Q(t + \Delta t) = Q(t) = Q(t - \Delta t)$ ,即  $Q(t)$  在  $t$  时刻是连续有界的。这也从另一个侧面反映了 C 型滤波器的记忆性,此特性可以归结为:C 型滤波器的缓冲数据总量不能跃变。而正是由于 C 型滤波器的记忆性,使得先期到达的数据,实际上推迟

到后来某个时间才真正发送,从而带来了数据延迟。

### 3.3 L型滤波器

L型滤波器与C型滤波器原理不同,它是基于C型滤波器提供的待发数据量 $Q(t)$ 的反馈来检测近期平均待发数据总量 $Q_{\text{avg}}(t, T_1)$ 的变化,以便动态调节通过的网络流速。L型滤波器特征函数如下

$$Q_{\text{avg}}(t, T_1) - Q_{\text{avg}}(t, T_2) = L \frac{dI_{\text{out}}(t)}{dt} \quad (T_1 < T_2) \quad (7)$$

$$Q_{\text{avg}}(t, T) = \frac{\int_{t-T}^t Q(t) dt}{T} \quad (8)$$

其中,常数 $T_1$ 、常数 $T_2$ 是时延因子,常数 $L$ 是加增长因子。从式(7),式(8)可知,L型滤波器同样具有记忆性,其网络流速与 $Q(t)$ 近期的历史相关。由于 $Q(t)$ 在 $t$ 时刻是连续有界的,因此 $I_{\text{out}}(t)$ 同样不会发生跃变。 $Q_{\text{avg}}(t, T)$ 实质上为离 $t$ 时刻最近的 $T$ 时间内 $Q(t)$ 的平均值,其变化反映了近期流媒体数据平均发送速率的变化。

如果L型滤波器检测到 $Q_{\text{avg}}(t, T_1)$ 增加,那么可相应地提高网络流速;反之则降低网络流速,即调整的速度与加增长因子 $L$ 呈反比。如果数据流的平均发送速率很稳定,且相应有 $Q_{\text{avg}}(t, T_1) \approx Q_{\text{avg}}(t, T_2)$ ,那么即使实际的 $I_{\text{out}}(t)$ 存在一定的波动,网络流速同样可达到一个较为稳定的值( $\frac{dI_{\text{out}}(t)}{dt} \approx 0$ );如果平均发送速率本身就在不断调整,那么L型滤波器也可检测到这一变化,并随之调整,其作用的结果是:L型滤波器进一步稳定了网络流速和降低了所需信道带宽 $B$ 。

式(7)中时延因子 $T$ 和加增长因子 $L$ 的取值比较重要,因为 $T$ 过小,不足以反映最近的平均码率,还导致 $I_{\text{out}}(t)$ 频繁发生抖动,达不到滤波的效果;若 $T$ 过大,则对于平均速率逐渐调整的流媒体数据,有可能导致数据延迟过久,不利于保证播放质量。 $L$ 反映的是L型滤波器的滤波整流能力,由于 $L$ 取值越大,网络流速的调整幅度越小,即达到稳态的时间越长,从而滤波效果越好。这与电路系统中的电感器件的特性是一致的,但是却可能造成数据延迟时间过长。

## 4 模型仿真

本文使用Matlab的signal processing toolbox来对主动式滤波整流模型作了仿真,并考察了该模型的性能(如图5所示)。在仿真环境中,本文采用从流

媒体服务器(darwin streaming server)采集的数据传输速率作为模型的信号输入,如图5中的曲线(1)所示。原始流媒体数据为MPEG-4编码视频流,平均码率为236 Kbps,采样率为1Hz,实际采样点为400个。从图5可以看出,滤波整流后的网络流速曲线相对于原始曲线,不仅波形平滑,峰值大大降低,且基本消除了曲线的尖峰与毛刺,可见,利用主动式滤波整流模型,不仅可提高数据流传输的平稳性,而且可降低对信道带宽资源的需求和消除数据的猝发传输。

在不同的参数配置下,其效果有所不同,如图5中曲线(2)和曲线(4)的增长因子 $L$ 相同,仅曲线(4)的时延因子( $T_1, T_2$ )增大一倍,且结果曲线(2)的平均延迟时间为11.3 s,而曲线(4)平均延迟时间则为26.1 s,但曲线(4)的波形更平稳,其网络流速的波峰与波谷之间的差值也仅为曲线(2)的60.9% (曲线(2)的差值为210 Kbps,而曲线(4)为128 Kbps);曲线(2)和(3)的时延因子( $T_1, T_2$ )相同,尽管曲线(3)的增长因子 $L$ 增大一倍,且结果曲线(2)和曲线(3)的平均延迟时间相近(曲线(2)为11.3 s,曲线(3)为12.6 s),但曲线(3)的波形比曲线(2)平稳,网络流速的波峰与波谷之间的差值为曲线(2)的71.4% (曲线(2)的差值为210 Kbps,而曲线(3)为151 Kbps)。从以上的分析可以看出,数据传输的平稳度是以一定的延迟时间作为代价的,若要取得较好的效果,则需要进行大量的测试与分析,以便在数据传输的延迟时间与平稳度之间取折中。

对于其他两种典型的平均码率为500 Kbps和1 Mbps的视频流,本文也进行了仿真实验,其结果和参数比较与图5相似。

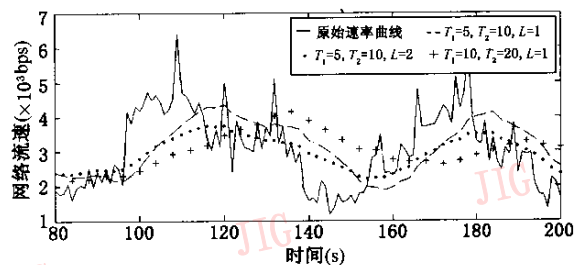


图5 实验仿真

## 5 结论

本文首先分析了流媒体数据传输的特点,在此基础上,提出了主动式滤波整流模型,并分析了其

波原理。由于用该模型进行滤波,无须任何与上层协议相关的客户反馈信息,即与上层协议无关,因此具有普遍适用性。通过仿真可以看出,主动式滤波整流模型不仅提高了流媒体数据传输的平稳性,而且降低了对信道带宽的需求。

考虑到传输中有可能出现因数据延迟超出客户的实时性要求而导致数据对于客户失效的情况,一个比较常用的处理方法就是在超时前将其强制发送,或者直接将其丢弃。

### 参考文献

- 1 Schulzrinne H, Casner S, Frederick R, *et al.* RTP: A Transport protocol for real-time applications [S]. RFC 1889, IETF, January 1996.
- 2 Liu Hai, Ansari N, Shi Y Q. On-line dynamic bandwidth allocation for VBR video transmission [J]. *Information Technology: Coding and Computing*, 2001, 9(5):6~9.
- 3 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, 18(1):45~48.
- 4 张锦,史小宏. 视频会议系统的 RTP/RTCP 实时反馈机制研究[J]. *海南大学学报(自然科学版)*, 2001, 10(3):24~27.

- 5 Shin Myung-Ki, Lee Jae-Yong, Bae Jung-Sook. TCP-like flow control algorithm for real-time applications[M]. Seoul, Korea: IEEE network, 2001.
- 6 Chapra Steven C, Canale Raymond P. Numerical methods for engineers (4<sup>th</sup> edition)[M]. New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, USA, July 16, 2001.
- 7 Lam Harrry-F. Analog and digital filters: Design and realization [M]. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc, 1979.



田雪峰 1978年生,电子科技大学计算机学院硕士研究生。主要研究方向为流媒体技术、宽带网。

张旭中 1975年生,电子科技大学计算机学院硕士研究生。主要研究方向为宽带网。

王宇 1977年生,电子科技大学计算机学院硕士研究生。主要研究方向为分布式并行处理。