

# 基于 RTCP 的闭环码率调控和流量整形策略

王正君 王友钊

(浙江大学数字技术及仪器研究所 杭州 310027)

**摘 要** 网络监控系统中的实时视频质量容易受网络带宽影响。针对此问题,提出了一种基于 RTCP 控制报文的闭环码率调控策略,即通过分析 RTCP 接收者报包(Receiver Report, RR)的反馈信息,调整编码器码率,以自适应网络承载能力;又进一步针对 H. 264 码流传输的高突发性,提出了码流流量整形策略,用以抑制数据突发,从而避免因突发引起的瞬时网络阻塞,减小网络丢包。实验结果表明,本策略有效地降低了码流的传输丢包率,提高了实时视频质量。

**关键词** 网络监控, RTCP, 码率调控, 流量整形, 实时视频质量

## Strategy of Closed-loop Rate Control and Traffic Shaping Based on RTCP

WANG Zheng-jun WANG You-zhao

(Institute of Digital Technology & Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract** The quality of real-time video in network monitoring system can be easily affected by network bandwidth. This paper introduced a Closed-Loop rate control strategy based on RTCP. This strategy analyzes the feedback of the receiver report(RR) in RTCP, adjusts the bit rate of encoding, adaptive network carrying capacity. This paper also proposed a stream traffic shaping policy to solve the problem of the data burst of H. 264 stream by inhibiting data burst, thus avoiding sudden transient network congestion and reducing packet loss. Experimental results show that the strategy effectively reduces the transmission stream packet loss rate and improves the quality of real-time video.

**Keywords** Network monitoring, RTCP, Rate control, Traffic shaping, Quality of real-time video

## 1 引言

视频监控系统发展到今天,已经进入了网络视频监控的阶段。在网络视频监控系统中,实时视频的传输要求丢包率低、时延小、码率抖动小。这几个特征结合起来决定了实时视频的质量<sup>[1]</sup>。为了提高实时视频质量,监控系统一般采用 RTP 协议进行网络传输。RTP 协议是 Internet 上针对多媒体数据流的一种传输协议,其目的是提供时间信息和实现数据流同步,协议本身并不提供流量控制或拥塞控制,它依靠 RTCP 提供这些服务<sup>[2]</sup>。

在实时视频的传输过程中,以下两种情况会影响实时视频质量:

情况一:实时视频的码率超过了当前网络的承载能力,引起数据包丢失,导致视频质量下降。在 Internet 上传输实时视频时,网络带宽受接入用户数、业务量等因素影响,波动较大,不能实时保证足够的网络资源用来传输视频。一些学者提出了一种基于网络带宽估算的码率控制策略,该策略用公式估算网络带宽,根据估算后的带宽调整速度,对带宽的波动反应快,可快速切换,但容易引起码率抖动,不适合对抖动要求较高的场合<sup>[3]</sup>;

情况二:在传输过程中,数据突发引起瞬时网络阻塞,导致网络丢包,从而影响了视频质量。通过对 H. 264 码流的分

析可知, H. 264 码流的一个图片组(Group of Pictures, GOP)包含 1 个 I 帧和若干个 P 帧数据,其中 I 帧的数据量最大。在一个 GOP 的传输过程中,若没有进行码流平滑操作,则 I 帧数据的突发容易引起网络阻塞,从而导致实时视频的图像质量下降;一些学者提出“GOP 均匀传输”策略,即将 GOP 数据均匀分布在一个 GOP 周期内发送。这种策略的优点是能获得很好的平滑效果,但增加了时延,不适合在时延要求较高的系统中使用<sup>[4,5]</sup>。

基于以上两种情况,利用 RTCP 协议提供流量控制和拥塞控制服务的特性,提出了一种基于 RTCP 反馈信息的闭环码流控制策略。针对情况一,提出利用 RTCP RR 包中的丢包率信息,计算当前网络状况,调整编码码率,最大限度地利用网络带宽。针对情况二,提出使用令牌桶加上峰值速度限制的漏桶算法对码流进行流量整形,有效抑制 I 帧数据突发,与“GOP 均匀传输”策略相比, I 帧传输时间更短,从而减小了系统时延。

## 2 码流传输系统

在基于 RTP 的网络视频监控系统中,实时码流的播放由 RTP 服务器和 RTP 客户端组成,其系统结构如图 1 所示。

RTP 服务器与 RTP 客户端建立两条通讯链接,服务器可通过数据链路向客户端发送实时视频,通过命令控制链路

到稿日期:2010-08-11 返修日期:2010-11-13 本文受国家自然科学基金项目(61001170)资助。

王正君(1986—),男,硕士生,主要研究方向为嵌入式网络多媒体, E-mail: zjutood@126.com; 王友钊 副教授。

与客户端互通 RTCP 信息反馈包,其中,服务器向客户端发送发送者报告(Sender Report, SR)包,客户端向服务器发送 RR 数据包。服务器通过解析 RR 包来分析网络状况,从而控制码流传输。本文提出的码流传输控制系统由以下两部分组成:1)根据网络状况,自适应调整编码器的编码码率,使得码率不超过网络带宽的承载能力;2)在编码码率一定的情况下,使用令牌桶加上峰值速度限制的漏桶优化网络传输机制,平滑网络传输速率,避免因数据突发造成的网络丢包。

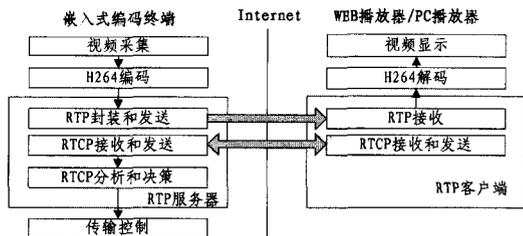


图1 网络视频监控系统结构

码流传输闭环控制系统可用图2来描述。

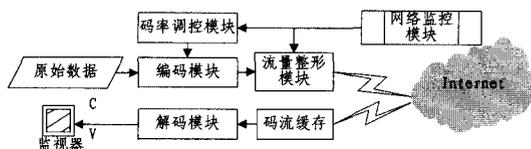


图2 码流传输闭环控制系统

该闭环系统由网络监控模块监测 RTCP RR 包的反馈信息,分析当前网络状况,调整码率调控模块和流量整形模块的相关参数,从而实现码流调控。RTCP 的反馈信息包含封包序号、封包丢失数目、jitter、往返时间、延迟等信息<sup>[5]</sup>。闭环反馈的实现过程描述如下:

1. 根据 RTCP 反馈信息中的丢包率,探测当前网络的承载能力;
2. 若丢包率大于预设门限值,则根据本文提出的降码率算法降低编码码率;若小于预设门限值,说明网络带宽有余量,从而根据本文提出的增码率算法提高编码码率;
3. 在新的编码码率条件下,调整令牌桶、漏桶参数,对流量进行整形,平滑传输速率,抑制数据过分突发;
4. 重复 1—3 操作;

### 3 码率调控

监控系统接入用户数的变更、用户请求码率的变更等因素会引起网络带宽的波动,导致当前编码码率不适应网络承载能力。当编码码率超过网络承载能力时,丢包率上升,实时视频质量下降,此时需降低编码码率;当编码码率太低,网络带宽有余量时,可以适当提高编码码率,从而提高实时视频质量。本文通过 RR 信息中的丢包率来判断网络状况,根据不同的丢包率情况,采用不同的码率调控算法实现编码码率的自适应调整。

#### 3.1 丢包率计算

RR 信息中包含的丢包率  $P_i$  只是给出了一定时间间隔内丢失包的数目及丢失包占有所有封包的比率。如果在码率调控时,直接根据该丢包率调控码率,会导致码率的抖动。为了减小抖动,我们采用平均算法重新计算丢包率<sup>[3]</sup>:

$$p_i' = \delta \times p_i + (1 - \delta) \times p_{i-1} \quad (1)$$

式中,  $P_i$  和  $P_{i-1}$  分别是第  $i$  和  $i-1$  个 RR 包反馈的丢包率,  $P_i'$  为估计的现在的丢包率,  $\delta$  取值范围为  $(0, 1)$ 。

#### 3.2 码率调控算法

在网络视频监控系统中,编码器支持的最小码率为  $R_{min}$ , 最大码率为  $R_{max}$ , 用户请求的码率为  $R_{req}$ 。当丢包率不超过  $P_{thresh}$  时,可认为当前码率下的实时视频质量满足用户需求。在实际应用中,除了视频数据,还有信令及其他一些关键/大块的数据需要传输,而且这些数据往往是突发的,所以一般会为这些数据预留部分网络带宽资源,一种有效的做法是,取丢包率阈值:

$$P'_{thresh} = P_{thresh} \times \alpha \quad (2)$$

式中,  $\alpha$  为预留资源系数,取值范围为  $(0, 1)$ 。在本系统中,  $\alpha$  取值 0.8。

根据  $P_i'$  的不同,有以下几种情况:

1. 当  $P_i' > P'_{thresh}$  时,实时视频质量比较差,需要通知编码器降低码率,一种常用的码率调控算法为:

$$R_{new} = R_{cur} \times (1 - (p_i' - p'_{thresh}) / p_i') \quad (3)$$

如果采用式(3)的线性加减算法来实现码率调控,会导致码率抖动。本文用以下算法避免抖动问题:

$$R_{new} = \max\{(1 - \sqrt{p_i' - p'_{thresh}} / p_i') \times R_{cur}, R_{min}\} \quad (4)$$

式中,  $R_{cur}$  表示当前编码器码率,  $R_{new}$  为重新计算后的编码器码率。同时记录当前网络带宽上限:

$$R_{thresh} = R_{new} / \sqrt{\alpha} \quad (5)$$

2. 当  $0 \leq P_i' < P'_{thresh}$  时,说明网络带宽还有余量,可适当提高编码码率,同样也要考虑码率抖动的问题,算法为:

$$R_{new} = \begin{cases} \min\{\min\{R_{max}, R_{req}\}, R_{cur} \times (1 + \sqrt{p'_{thresh} - p_i'} / p_i')\}, & 0 < P < P'_{thresh} \\ \min\{R_{max}, R_{req}, R_{thresh} \times \sqrt{\alpha}\}, & P = 0 \end{cases} \quad (6)$$

算法思想为:根据不同的丢包率以不同的策略调整当前码率,避免抖动,使得码率逼近用户的需要,以提供更好的实时视频质量。更新后的码率不能超过最大码率、用户请求码率,同时要保证在新的码率条件下,丢包率不能超过阈值;如果丢包率超过阈值,则按情况 1 处理。

### 4 流量整形

在一个 GOP 中, I 帧的数据量最大,会产生较大的数据突发,引起瞬时网络阻塞,导致丢包率上升,视频图像质量下降。流量整形通过调整实时视频的数据包的传输时间,抑制 I 帧数据突发,降低网络丢包,提高实时视频质量。

流量整形算法以令牌桶算法实现流量整形,再在令牌桶后紧接一个速度为  $R_{thresh}$  的漏桶,以克服令牌桶不包含峰值速率控制机制的不足。令牌桶后紧接漏桶峰值速率控制流量整形机制如图 3 所示。

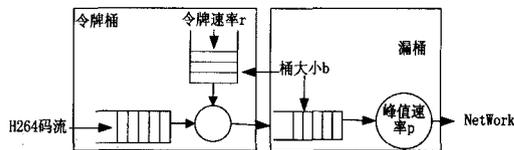


图3 令牌桶+漏桶流量整形及峰值流量控制示意图

峰值速率由漏桶速率控制,这样就保证了不会因峰值速率过高而导致网络丢包。令牌桶参数由令牌速率  $r$  Byte/sec、令牌桶大小  $b$  Byte 组成。

典型的随时间变化的 H264 视频流数据输出速率如图 4 所示。

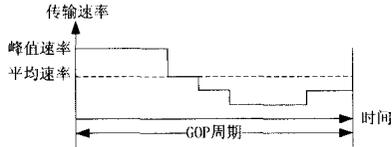


图 4 典型 GOP 传输周期

假设令牌桶中的令牌是没有丢失的,则一个 GOP 的传输周期可为以下 3 个阶段:

阶段 1 在每个 GOP 传输周期的开始,令牌桶的令牌是满的。此时,流量整形器可以以峰值速率  $R_{thresh}$  传输视频数据,传输时间由令牌桶大小决定。在这个阶段,数据量较大的 I 帧被全部或者部分传输,既突出了 I 帧数据的重要性,又保证了不会因 I 帧数据量过分突发性而导致网络丢包。

阶段 2 令牌耗尽时,按均值速率传输一段时间。在这个阶段,数据为 P 帧数据,也可能为包含部分未传输完成的 I 帧数据。

阶段 3 视频输入缓冲区数据清空后,令牌桶整形输出与输入流量是一致的,令牌桶再次累积令牌以传输下一个 GOP。

经过以上 3 个阶段的传输后,可以抑制 I 帧数据突发并保证 I 帧数据的快速传输,减小了 I 帧的时延。实验结果表明:在 IP 网络传输中,流量整形并不会引起额外的端到端延迟,经正确整形后的流量将在中间网络节点经历更小的网络排队延迟<sup>[6]</sup>。

## 5 实验结果及分析

本次实验基于 TI Davinci DSP 的 DVS(Digital Video Server)系统,RTP 传输的实时视频分辨率为 D1,其中帧率为 30fps,码率为 256k,GOP 长度为 10(即在一个 GOP 中包含 1 个 I 帧和 9 个 P 帧)。GOP 数据分布如图 5 所示。在流量整形实验中,以 3 种不同的策略(没有平滑处理、GOP 均匀传输、本文提出的令牌桶加漏桶算法)进行实时视频的传输控制,在远程 PC 端用 Wireshark 1.4.2 抓包工具对网络数据进行分析,结果如图 5—图 8 所示。

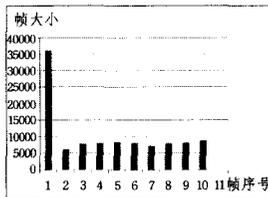


图 5 一个 GOP 数据分布

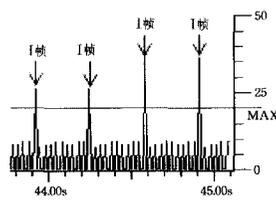


图 6 未平滑处理

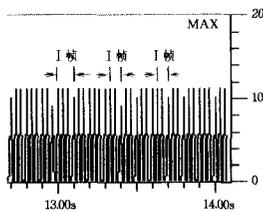


图 7 GOP 均匀传输

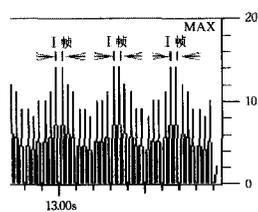


图 8 令牌桶加漏桶算法

由图 5 可知,在一个 GOP 中,I 帧数据量最大,容易引起瞬时网络阻塞。在图 6 中,没有对码流进行流量整形,I 帧数

据的突发导致部分数据丢失。在图 7 中,根据 GOP 的数据总量,在 10 个传输周期内均匀传输 GOP 数据包,能够实现码率平滑,抑制 I 帧数据的过分突发,但由于 I 帧数据在多个传输周期传输(平均需要 3~4 个周期),因此增加了实时视频的时延。在图 8 中,采用本文提出的令牌桶加漏桶算法实现流量整形,与图 6 相比,对 I 帧数据突发的抑制效果明显,在实时视频传输过程中,不会因数据突发造成数据包丢失;与图 7 相比,突出了 I 帧的重要性,以最快速率传输 I 帧数据(平均只需 1~2 个传输周期),减小了实时视频的传输延时。

在码率调控实验中,实时视频的码率为 256k。人为造成网络阻塞,使实时视频的丢包率超过丢包率阈值,使用两种不同的策略(基于网络带宽估算的控制策略和本文提出的自适应码率调控策略)对编码器码率进行调控,在这两种调控策略下的码率调控参数如表 1 所列。

表 1 两种不同策略的码率调控结果比较

	码率调整范围	带宽估算控制算法	本文算法
码率调整时间	256k~128k	0.1s	0.1s
	256k~64k	0.1s	0.08s
码率震荡次数 <sup>1</sup>	256k~128k	1	0
	256k~64k	3	0

注 1:速率震荡指码率在达到稳态前的抖动次数

采用网络带宽估算的控制策略对码率进行调控,码率抖动现象明显;采用本文的算法进行调控,有效抑制了码率抖动,能精确控制调整后的码率,充分利用带宽资源。

以上实验表明,本文提出的闭环码流控制算法,能够根据网络状况自适应调整编码器码率,充分利用网络带宽资源,并且通过抑制数据的过分突出减小丢包率,提高实时视频的图像质量。

**结束语** 本文利用 RTCP 协议提供的流量控制服务,提出了一种基于丢包率的闭环码流调控策略。该策略实时监测网络状况,自适应调整编码码率和流量整形参数,实现了在码流源端和网络传输机制两方面的调控。实验结果表明,本文提出的闭环码流调控策略,能够在较短的时间内响应网络带宽波动,自适应调整编码码率,平滑传输码流,成功降低了码流的传输丢包率,提高了实时视频质量。

## 参考文献

- [1] Tanenbaum A S, et al. 计算机网络[M]. 潘爱民,译.北京:清华大学出版社,2004
- [2] Novotny V, Komosny D. Large scale RTCP feedback optimization[J]. Jour. of Networks, 2008, 3(3): 1-10
- [3] 童亚拉. 基于 RTCP 的流媒体服务器速率动态配研究[J]. 华中师范大学学报, 2007, 41(2): 190-193
- [4] 赵黔莉,涂国防. Internet 视频传输的拥塞控制策略[J]. 计算机工程, 2004, 30(1): 144-147
- [5] 苗艳超,杨晓君,周应超,等. 基于 CATV 网络视频服务器的数据实时性保证策略[J]. 小型微型计算机系统, 2006, 27(2): 351-358
- [6] Johansson I. RFC 5506: Support for reduced size real-time transport control protocol (RTCP): Opportunities and consequences [J/OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc5506.txt>, 2009
- [7] Georgiadis L, Guerin R, et al. Efficient Support of Delay and Rate Guarantees in an Internet[J]. Computer Communication Review, 1996, 26(4): 106-116