

MPEG-4 实时视频传输的拥塞控制算法的改进 *

刘国柱,王洪林

(青岛科技大学 信息科学与技术学院,山东 青岛 266061)

摘要: 提高视频图像的传输质量是网络拥塞控制方面的重要研究课题,在阐述了码率控制技术和实时视频传输的构架后,分析了基于丢包率和双丢包率阈值门限的拥塞控制机制以及 VM8 码率控制算法,指出了 VM8 码率控制算法的不足,所在并进行了相应的改进。根据当前丢包率,对未来的发送速率的变化做出预测,从而动态地决定缓冲区目标水位参数,使得改进后的算法对发送速率具有一定的预测性。实验证明,改进后的算法有效地提高了编码后的图像质量。

关键词: MPEG-4 标准;VM8 算法;码率控制;编码器缓冲区

中图分类号: TP393.04

文献标识码: A

Improvement of congestion control algorithm about MPEG-4 real time video transfer

LIU Guo Zhu, WANG Hong Lin

(Information College of Science and Technology, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: The research about improvement of video transfer is an important topic in network congestion control. Firstly, the code ratio control technology and frame of real time video transfer are introduced. Secondly, congestion control mechanism about packets losing ratio and two thresholds of packets losing ratio is researched. Thirdly, the VM8 code ratio control algorithm is introduced. Subsequently, the lack of VM8 code ratio control algorithm is proposed, and the improvements about the algorithm are made. The improvements are mainly made that according as current packet losing ratio, the change of sending rate is forecasted, so the goal level parameters are determined dynamically. The improved algorithm has a forecast function to the sending rate. Experiment results indicate that the coded image quality is improved by using the new algorithm

Key words: MPEG-4 standard; VM8 algorithm; rate control; encoder buffer

数字图像压缩技术就是通过一定的压缩算法,将模拟信号转换为数字信号,这样能够非常有效地降低图像所占用的存储空间^[1]。目前,一些组织机构已推出了不少的数字图像压缩标准,如 H.261、H.263、H.263+、MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4 等^[2]。其中,MPEG-4 标准于 1999 年初正式成为国际标准,该标准注重多媒体系统的交互性和灵活性,是第一个使用户可在接收端对画面进行操作和交互访问的编码标准^[3],被广泛地应用于视频监控、视频会议等领域中。在这些使用实时视频编码与传输的领域中,不仅涉及到了编码标准,更重要的是涉及到了码率控制。码率控制就是在图像压缩编码过程中,编码器可以实时地根据网络传输信道的情况来调整

编码参数,以生成适合当前网络传输的视频流^[4]。这样可以使视频在通道内传输时充分利用带宽,也就是在带宽已有条件下传输信号时,既不阻塞也不浪费带宽。目前,基于 MPEG-4 标准的码率控制算法有很多,其中比较经典的码率控制算法为 VM8 算法^[5]。基于编码器缓冲区水位从某些程度上表征了网络传输信道的情况这一事实,该算法以编码器缓冲区水位状况来自适应调整编码参数。图 1 是典型的基于 MPEG-4 编码标准和 VM8 算法的实时视频编码和传输架构。

在实时视频的传输过程中,由于涉及到了流媒体的发送和接收,所以必须采用流媒体传输协议对传输进行控制。RTP 协议是流媒体传输常用的协议,但是由于 RTP 协议是建立在不进行任何拥塞控制的 UDP 协议基

* 基金项目:山东省高等学校科技计划项目(项目编号:J08LJ21)

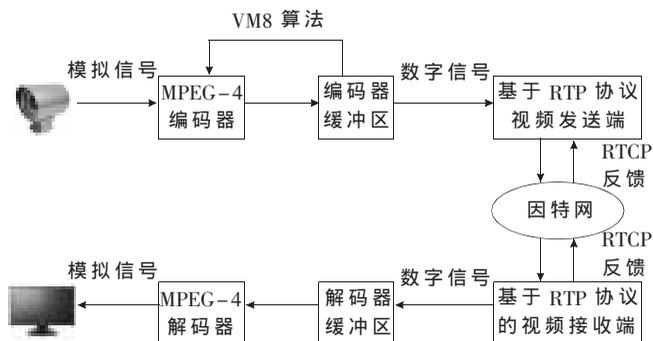


图1 MPEG-4和VM8算法的实时视频编码和传输架构

础上^[6],因此需要在应用层上加入拥塞控制算法。

RTP控制协议RTCP会向RTP会话中的成员周期性地发送丢包率等信息^[7],这些反馈信息就是被用作拥塞控制的。近几年来,越来越多的拥塞控制算法相继被提出,其中行之有效的一些算法是:基于丢包率和双丢包率阈值门限的^[8-10]。其大体思想是:设定丢包率下阈值和上阈值,当丢包率没有超过丢包率下阈值时,增加发送速率;当丢包率超过丢包率上阈值时,减少发送速率;当丢包率介于丢包率上、下阈值之间时,发送速率保持不变。此类算法的关键是如何设定速率变化的幅度,以减少流的抖动,提高流的平稳特性。

本文对VM8码率控制算法进行必要的剖析,然后在基于上述拥塞控制机制的基础上对VM8机制进行改进。实验证明,改进后的算法能够使接收端的视频播放更加的清晰流畅,视觉效果更好。

1 VM8码率控制算法

VM8码率控制算法大体可分为4个阶段^[11]:初始化阶段、预编码阶段、编码阶段和后处理阶段。由于后两个阶段与本文主题没有太大关联,本文仅对前两个阶段做详细的分析。

1.1 初始化阶段

在初始化阶段,编码器主要完成一些与码率控制相关的准备工作:

- (1)采用初始量化参数(典型的 $Q_i=15$)编码第1个I帧。
- (2)从总位数减去第1个I帧的编码位数,得到这个视频序列所剩余的位数 P_0 。
- (3)将编码器缓冲区初始化到半满状态。

1.2 预编码阶段

预编码阶段主要完成当前帧的目标位数的计算,并通过计算得到的目标位数来得到在编码阶段中会使用到的量化参数。

(1)对目标位数进行初步估计。设 $t+1$ 时刻的P帧的目标位数的估计值为 B_{t1} ,则可通过下面的式子得到初步的估计值:

$$B_{t1} = \frac{P_t}{N_t} \times (1-S) + A_t \times S$$

《微型机与应用》2010年第5期

式中, $P_t = P_0 - \sum_{i=0}^{t-1} A_i$,即为 t 时刻的剩余位数, N_t 是 t 时刻剩下的P帧数,是 t 时刻P帧使用的实际位数, S 是先前帧对当前帧目标位数的影响因子,可以动态改变,也可设为一个常量。一般的标准算法中 S 的缺省值被设为0.05。

(2)为了使编码器缓冲区的水位趋向于50%,对初步目标位数 B_{t1} 进行调整:

$$B_{t2} = \frac{F_t + 2 \times (\gamma - F_t) B_{t1}}{2 \times F_t + (\gamma - F_t)}$$

式中, F_t 是 t 时刻缓冲区的填充容量, γ 是缓冲区容量。

(3)为了保证使每帧图像获得恒定的质量,编码器还必须保证每帧有1个最小的目标位数 C (这个值是由 $C = \frac{P_0}{N}$ 得到的, P_0 是所有P帧的可用位数, N 是P帧的个数),所以通过下式进行判断得到 B_{t3} :

$$B_{t3} = \max\{C, B_{t2}\}$$

(4)最后的调整是查看 B_{t3} 对编码器缓冲区饱和度的影响。为了避免缓冲区的上溢和下溢,为缓冲区设置一个安全边界值 m 。如果 $B_{t3} + F_t > (1-m) \times \gamma$,那么为了避免缓冲区上溢,调整目标位数为 $B_{t4} = (1-m) \times \gamma - F_t$;如果 $B_{t3} + F_t - C < m \times \gamma$,那么为了避免缓冲区下溢,调整目标位数为 $B_{t4} = C - F_t + m \times \gamma$ 。

(5)根据 B_{t5} 计算得到量化参数。

2 VM8码率控制机制的改进

2.1 问题的提出

从对VM8算法的分析可以看出,在预编码阶段进行的目标位数的调整过程中,仅仅是考虑到了编码器缓冲区的填充状态,但是缓冲区的填充状态仅仅代表了当前和过去的网络传输的状态,无法预测未来的传输状态,这种缺乏预测性的做法,会影响到编码的图像质量。下面将在基于丢包率和双丢包率阈值门限的拥塞控制算法的基础上,通过当前丢包率和丢包率阈值对未来的发送速率进行预测,在计算目标位数时,参考前面的预测结果,来调整目标位数,以此来完成对VM8算法的改进。

2.2 发送速率变化的预测

通过当前丢包率(设为 P_{loss}),丢包率下阈值(设为 P_{loss_min})和丢包率上阈值(P_{loss_max})对未来的发送速率的变化做出预测,分为3种状态。

(1) $P_{loss} < P_{loss_min}$

这种状态下,传输信道可视为处于“轻载”状态,未来一段时间内,发送速率会持续增加。

(2) $P_{loss_min} \leq P_{loss} < P_{loss_max}$

这种状态下,传输信道可视为处于“满载”状态,未来一段时间内,发送速率将保持稳定,不再发生变化。

(3) $P_{loss} \geq P_{loss_max}$

欢迎网上投稿 www.pcchina.com 43

这种状态下,传输信道可视为处于“阻塞”状态,未来一段时间内,发送速率会持续下降。

2.3 算法改进

基于上述的几种情况对 VM8 算法在预编码阶段进行改进。改进的切入点是预编码阶段的第(2)步:即对 B_{i1} 得到 B_{i2} 的算法进行改进。

原算法在该步骤的做法是:固定地采用 0.5 作为缓冲区目标水位参数。而改进后的算法会根据 2.2 节分析得到的对未来发送速率预测的 3 种状态,动态地决定缓冲区目标水位参数。该步骤改进后的算法如下:

(1)首先通过当前丢包率和丢包率阈值得出未来发送速率的属于 2.2 节中的哪种状态。

(2)由不同的状态得到不同的水位参数。设第 i 种状态对应的参数为 $\beta_i(i=1, 2, 3)$,下面对每种状态对应的水位参数进行分析。

在状态 1 下,发送速率将持续增加,编码器缓冲区读取速度会持续增长,不太可能发生缓冲区上溢,因此可以设定大于 0.5 的水位参数。

在状态 2 下,由于发送速率不再变化,因此可设置等于 0.5 的水位参数。

在状态 3 下,由于发送速率会下降,编码器缓冲区读取速度会持续降低,为了避免有可能发生的缓冲区上溢,因此有必要设置小于 0.5 的水位参数。

由上面的分析得出: $1 > \beta_1 > 0.5 = \beta_2 > \beta_3 > 0$ 。

(3)根据水位参数进行目标位数的调整,使目标位数向水位参数表示的水位处趋近。一共可分为 3 种情况:

①若 $B_{i1} + F_i > \beta_i \times \gamma$, 则 $B_{i2} = B_{i1} - \theta_R(B_{i1} + F_i - \beta_i \times \gamma)$;

②若 $B_{i1} + F_i = \beta_i \times \gamma$, 则 $B_{i2} = B_{i1}$;

③若 $B_{i1} + F_i < \beta_i \times \gamma$, 则 $B_{i2} = B_{i1} + \theta_A(B_{i1} + F_i - \beta_i \times \gamma)$ 。

其中, F_i 是 t 时刻缓冲区的填充容量, γ 是缓冲区容量, θ_R 是增长因子, θ_A 缩小因子。本文中, θ_R 和 θ_A 均取值为 1/2, 水位参数 β_1 、 β_2 、 β_3 分别取值: 0.6、0.5、0.4。

通过上面的算法调整,可以清楚地看出:当预测发送速率会增长的时候,算法将不再会以 0.5 作为缓冲区目标水位参数,而是取大于 0.5 的值作为缓冲区目标水位参数。这样,当前帧将获得更多的位数用来存放编码信息,图像质量自然地得到了提高。当预测发送速率会持续降低的时候,取小于 0.5 的值作为缓冲区目标水位参数。这样,能够有效地避免由于发送速率下降造成的缓冲区水位上升,乃至临近上安全边界,这样可以避免 VM8 算法在预编码阶段第(4)步中对目标位数的削减,从而避免了图像质量的下降。

3 实验验证

为了验证改进后的 VM8 码率控制算法能够提高图像的质量,通过一些实验来进行测试。使用 2 台电脑进行实验:1 台是作为发送端,负责视频的编码和发送;另 1 台作为接收端,负责视频的接收和回放。2 台电脑的网

络带宽均为 1 Mb/s。为了使实验有可重复性,视频源不采用动态采集方式,而是采用已经采集好的视频文件来模拟视频采集,视频长度是 2 min,包含 3 482 个 VOP。视频传输拥塞控制机制采用参考文献[8]提出的算法,算法中的丢包率下阈值采用 2%,丢包率上阈值采用 3%。此外,VM8 原始算法和改进的算法在初始化阶段中的初始量化参数均取典型值 $Q_i=15$ 。设定不同的编码器缓冲区大小,多次实验后结果如表 1 所示。

表 1 实验结果比较

	编码区缓冲区大小/KB	目标位数的削减次数	主观感受
原 VM8 算法	32	93	较清晰流畅
改进后 VM8 算法	32	52	清晰流畅
原 VM8 算法	64	78	较清晰流畅
改进后 VM8 算法	64	48	清晰流畅
原 VM8 算法	128	61	清晰流畅
改进后 VM8 算法	128	42	清晰流畅

表中的“目标位数的削减次数”指的是在预编码阶段由于当前帧临近上安全边界,为了避免缓冲区溢出而对目标位数做出消减的次数,此操作会降低编码后的图像质量。

从实验结果可以看出,编码区缓冲区越小,改进后的 VM8 算法效果越明显。

本文介绍了基于 MPEG-4 编码标准和 VM8 算法的实时视频编码和传输架构,对 VM8 码率控制算法作了必要的剖析,并针对该机制仅仅基于编码区缓冲,缺乏对未来传输状态进行预测的缺点,做了相应的改进。最后通过实验证明,改进后的 VM8 算法能够提高编码后的图像质量。由于本文改进的算法是建立在基于丢包率和双丢包率阈值门限的拥塞控制算法地基础上的,因此不可避免地有一定的局限性。今后将就如何突破不同拥塞控制算法的局限进行研究,得到应用更加广泛的码率控制算法。

参考文献

- [1] 周慧灿.数字视频的网络传输关键技术研究[D].长沙:湖南大学,2004.
- [2] 张静,张春田.视频传输中的码率控制技术[J].电路与系统学报,2005,10(3):104.
- [3] 毕厚杰.新一代视频压缩编码标准-H.264/AVC [M].北京:人民邮电出版社,2006.
- [4] 高奎.实时流媒体系统若干关键技术的研究[D].北京:中国科学院研究生院,2005.
- [5] MA, S, WEN G, YAN L. Rate-distortion analysis for H.264/AVC video coding and its application to rate control[J]. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on,2005,15(12):1533.

- [6] STEVENS W R. TCP/IP 详解, 卷 1[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 107.
- [7] SCHULZRINNE H, CASNER S. RTP: A transport protocol for real-time applications[EB/OL]. [2009-08-15]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt>.
- [8] 高东日, 魏海平, 姜东. 网络自适应传输控制策略研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(22): 141-143.
- [9] 王继先. 视频传输控制方法的研究(基于 RTP)[D]. 北京: 电子科技大学, 2004: 24-25
- [10] 严德汗. 城域网数字视频监控系统设计实现及其自适应传输控制策略研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004: 29-34.
- [11] 孙哲. 基于 MPEG-4 的运动估计和码率控制技术的研究[D]. 北京: 电子科技大学, 2005: 35-39.

(收稿日期: 2009-09-15)

作者简介:

刘国柱, 男, 1965 年生, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 计算机网络与安全。

王洪林, 男, 1984 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机网络视频传输。

