

## 一种基于 CDMA 系统的 MPEG-4 视频传输速率平滑算法

秦 洁 刘兵章 张 欣 杨大成  
(北京邮电大学电信工程学院 北京 100876)

**摘 要:** 该文研究了码分多址(CDMA)系统中反向链路上传输MPEG-4 视频流的速率平滑算法。由于MPEG-4 视频编码具有峰值速率高、速率变化频繁等特点,使得在CDMA蜂窝系统中传输变比特速率(VBR)视频有一定的难度。通过对MEPG视频在图像组(GOP)内应用速率平滑算法,结合CDMA系统物理层的传输速率匹配,可减小传输速率的峰值和变化率,节约带宽。仿真结果表明,该算法有利于提高反向链路系统稳定性,并保证MPEG-4 视频的QoS要求,对于信道条件较差的用户,该算法带来的性能改进较明显。

**关键词:** 码分多址; MPEG-4 视频; 速率平滑

中图分类号: TN914.53

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)07-1560-04

## A Real-time Smoothing Scheme of MPEG-4 Video for CDMA Systems

Qin Jie Liu Bing-zhang Zhang Xin Yang Da-cheng

(College of Telecommunications, Beijing University of Posts and Telecomm, Beijing 100876, China)

**Abstract:** A real-time smoothing scheme of MPEG-4 video for CDMA systems is proposed in this paper. Due to the high peak rate and frequent rate variations nature of MPEG-4 video, it is a challenge to transmit real-time variable bit rate video on CDMA systems. In the proposed scheme, a real-time video smoothing algorithm within Group of Pictures (GOP) is carried out first, and transmitter chooses the transmission rate among CDMA physical layer rate set according to the smoothing rate. This scheme can considerably reduce the peak rate, variance and bandwidth of the transmitted signal. The simulation results show that with the proposed smoothing scheme, higher system stability and better QoS have been achieved. Moreover, the system performance gain is more considerable when the channel condition is relatively bad.

**Key words:** CDMA; MPEG-4 video; Rate smoothing

### 1 引言

随着移动通信技术和视频编码技术的发展,在第三代码分多址(CDMA)移动通信系统中传输视频业务已成为可能。活动图像专家组(MPEG)发布的 MPEG-4 标准具有基于对象和内容编码、支持宽码率范围、支持错误恢复等新特点,在移动通信系统中有着广泛的应用前景。然而,由于无线信道具有时变、误码率高以及网络带宽资源有限等特点,在无线环境下进行连续的视频流传输面临着诸多问题。

MPEG-4 视频具有可变比特率(VBR)的特点,根据图像帧内容变化的程度和编码模式有帧内编码的 I 帧、前向预测的 P 帧和双向预测的 B 帧 3 种。其中 I 帧的数据量远大于 P 帧和 B 帧,导致码率变化大、峰值码率高,在 CDMA 系统中传输时将对其他用户造成较大干扰,降低系统容量。因此,有必要研究基于 CDMA 系统的 MPEG-4 视频传输速率平滑方案,在满足时延要求的前提下减小传输速率的波动。文献[1-3]提出了一些应用于有线网络的视频传输速率平滑算法,文献[4]提出的基于 CDMA 系统的视频传输速率平滑算法引入了较大的时延和复杂度,且没有从系统的角度出发考察算法对系统干扰、容量等性能的影响。

本文提出了一种基于 CDMA 系统的 MPEG-4 视频传输速率平滑算法,它采用了文献[1]的数据预测和组内平滑的方法,根据时延要求设定了最低传输速率,并结合 CDMA 系统物理层的传输速率进行匹配。该算法的特点是有效易行,在保证视频业务 QoS 的前提下增加系统的稳定性,并且对于信道条件较差的用户,该算法带来的性能改进较为明显。

本文的结构如下:第 2 节介绍 MPEG-4 视频流的特点和速率平滑的基本思想,第 3 节提出一种基于 CDMA 系统的 MPEG-4 视频传输速率平滑方案,第 4 节给出了实现该方案系统级仿真模型及结果讨论,最后在第 5 节对全文做出了总结。

### 2 MPEG-4 视频流的特点和速率平滑的基本思想

#### 2.1 MPEG-4 视频流的特点

MPEG-4 视频序列由确定周期为  $N$  的图片组(GOP)组成,每个图片组中包括唯一的 I 帧,数个 P 帧和 B 帧。图 1 列举的是电影“星球大战IV”的迹文件(Trace File)的片断,数据由 Technical University Berlin 的 Telecommunication Networks Group 提供<sup>[5]</sup>。其图像帧长为  $T_V=40\text{ms}$ , GOP 周期为  $N=12$ , GOP 时长为  $T_G=480\text{ms}$ ,编码模式为 IPPBPPBPPBPP。可见 GOP 中 I 帧的数据量最大, B 帧最小,

如果要求本图像帧的数据量必须在下一帧到来之前传输完毕,则图1中的图像帧速率将在23.6kbps至383kbps之间剧烈波动。在CDMA系统中,如此高的速率峰值和变化率必然会增大其他用户的干扰、增加系统开销、降低系统资源的利用率。

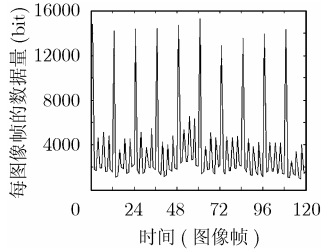


图1 电影“星球大战”视频流 Trace File 片段(包含10个GOP)

### 2.2 视频流速率平滑的基本思想

视频流的平滑原理,就是在允许的最大时延内,拉长数据量大的帧的发送时间,以降低它的速率,而缩小数据量小的帧的发送时间,以提高它的速率。对于MPEG-4视频流来说,就是要保证I帧有足够长的发送时间,避免它前面的帧延迟到它的发送时间内。根据文献[1]对实时性MPEG-4视频限制在GOP内平滑可取得理想的平滑效果。

## 3 基于 CDMA 系统的 MPEG-4 视频传输速率平滑方案

### 3.1 图片组内平滑算法实现

要采用视频传输速率平滑方案,首先须在发送端和接收端设置缓冲器。缓冲器的大小既要保证时延在可以接受的范围,又要尽可能的起到平滑速率的作用。图2给出了基于CDMA系统的MPEG视频流传输速率匹配的示意图。

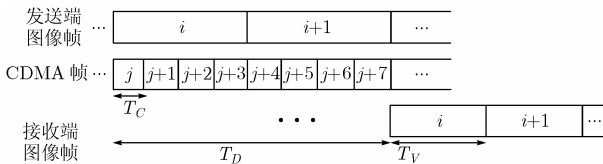


图2 基于 CDMA 系统的 MPEG 视频流传输速率匹配示意图

首先,定义速率平滑算法中用到的常量和变量。

$N$  为1个GOP包含的图像帧数。 $T_V$ 为图像帧的时长,单位为ms。 $T_C$ 为CDMA帧的时长,单位为ms。 $T_D$ 为发送端到接收端的时延,单位为ms。 $k$ 为 $\lceil T_V/T_C \rceil$ 。 $i$ 为当前正在处理的图像帧在本GOP中的序号,范围是 $0 \sim N-1$ 。 $j$ 为当前正在处理的CDMA帧在本GOP中的序号,范围是 $0 \sim kN-1$ 。 $S_i$ 为第 $i$ 帧图像帧的数据量,单位为bit。 $R_j$ 为第 $j$ 帧CDMA帧的速率,单位为kbps。

当视频流业务开始传输时,图像帧先依次存入发送端缓冲器中,采用图片组内速率平滑算法计算出CDMA帧的传输速率后,再进行传输。由于视频流平滑算法的目的是最小化传输速率的变化率,因此发送第 $j$ 个CDMA帧时,使业务最平滑的速率是该图片组剩余数据量的平均速率 $V_{smooth}$ ,即

$$V_{smooth} = \left[ \sum_{n=0}^{N-1} S_n - \sum_{m=0}^{j-1} R_m \cdot T_C \right] / (kN - j) \cdot T_C \quad (1)$$

该平滑算法需要知道当前GOP中全部图像帧的数据量,这意味着时延将大大增加,可能会超过文献[6,7]中的最大时延要求。因此,本文采用了文献[3]中的方法预测图像帧的大小。根据本文第2节的分析并结合对电影“星球大战”Trace File的统计,MPEG-4视频的图像帧大小具有伪周期性,可以用上一GOP中相同位置图像帧的数据量来代替当前GOP中尚未到达的图像帧的数据量。由于第一个GOP到达时没有可参考的上一GOP的图像帧数据量,故在仿真中初始化I帧为15000bit,P帧为5000bit,B帧为2000bit。

### 3.2 根据时延要求确定传输速率下限

为了配合发送端的速率平滑算法,减小时延和时延抖动的影响,在接收端需设置缓冲器。设缓冲器的时长为 $T_b$ ,单位为ms,这意味着如果忽略传输时延,每个图像帧在发送端缓冲器内存在的时间必须小于 $T_b$ ,否则在接收端就不能保证图像的连续播放。由此可确定发送端CDMA帧的最低速率。

设发送端已生成GOP中的第 $l$ 个图像帧,当前正在传输第 $i$ 个图像帧的数据( $0 \leq i \leq l \leq N-1$ ),并且第 $i$ 帧还未传出的剩余数据量为 $M_i$ ,第 $i+1$ 到第 $l$ 帧的数据量依次为 $S_{i+1} \dots S_l$ ;此时,设第 $i$ 帧已在发送端缓冲器中存入了 $T_e$ ms,第 $i$ 到第 $l$ 帧图像数据允许在发送端缓冲器内存在的时间分别为 $T_i, T_i + T_V \dots T_l + (l-i) \cdot T_V$ ms,则 $T_i$ 可由式(2)计算:

$$T_i = T_b - T_e \quad (2)$$

为了让每一帧都满足 $T_b$ 的时延条件限制,CDMA帧的最低传输速率 $V_{min}$ 应该设为满足式(3)的最小的 $V$ 值:

$$\left. \begin{aligned} M_i/V \leq T_i \\ \left[ M_i + \sum_{k=i+1}^n S_k \right] / V \leq T_i + (n-i) \cdot T_V, \quad i+1 \leq n \leq l \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

### 3.3 根据缓冲器内的数据量确定传输速率上限

平滑速率的上限 $V_{max}$ 由当前缓冲器中的数据量决定,令 $T_{wait}$ 表示下一图像帧到达时刻距离当前时刻的时间,则 $V_{max}$ 可由式(4)计算:

$$V_{max} = \left( M_i + \sum_{k=i+1}^l S_k \right) / T_{wait} \quad (4)$$

如果MS使用高于 $V_{max}$ 的速率传输数据,将在下一个图像帧数据到来之前过早地把缓冲器内的所有数据传完,从而不利于达到理想的速率平滑效果。

根据式(1),式(3),式(4)可确定当前GOP中第 $j$ 个CDMA帧的传输速率 $V_j$

$$V_j = \min \{ V_{max}, \max \{ V_{smooth}, V_{min} \} \} \quad (5)$$

根据文献[8],CDMA帧的速率只有确定的几个档,因此需要将连续的 $V_j$ 值转换成与其最接近、并大于它的 $R_j$ 值。对于超出时延限制还未发送出图像帧,采取丢弃的方式处理。

### 4 系统级仿真实验与结果讨论

#### 4.1 仿真平台及参数设定

在 cdma2000 1x EV-DV Release D 反向链路系统级仿真平台中对本文提出的算法作出了验证和评估。仿真结合了快照法和时间驱动法，采用了文献[9]中规定的主要仿真参数。系统服务区包含 19 个小区，每小区分为 3 个扇区。中心小区由第一层的 6 个小区和第二层的 12 个小区包围，采用了 wrap-round 模型。在一次仿真中，系统中移动台(MS)的数量在初始化时由外部参数确定，并在该次仿真过程中保持不变。

仿真平台中的信道模型使用了文献[6]中的 5 种信道模型，在表 1 中列出。

表 1 信道模型

信道模型	多径模型	径数	时速 (kmph)	衰落
模型 A	步行者 A	1	3	Jakes
模型 B	步行者 B	3	10	Jakes
模型 C	车载 A	2	30	Jakes
模型 D	步行者 A	1	120	Jakes
模型 E	单径	1	0, $f_D=1.5\text{Hz}$	Rice K=10dB

在仿真中，视频流业务的会话时间即为整个仿真时间，对于一个MS，相邻图像帧的到达间隔为固定时长  $T_V$ ，用于模拟图像帧的编码时延。每个图像帧包含的数据量采用了本文第 2 节中介绍的电影“星球大战IV”的MPEG-4 视频流 Trace File。初始化时，每个MS的视频流会话从该Trace File 的随机位置开始，可以认为所有MS的视频流业务具有相同的统计特性。

根据文献[9,10]，端到端视频流的时延需限制在 400ms 之内，忽略传输时延，可设反向链路的时延要求为 200ms，这意味着基站接收端的缓冲器时长  $T_b$  必须小于  $5T_V$ ，为了考察其长度对发送端性能的影响，我们比较了 3 组不同的仿真结果，它们的  $T_b$  分别取值为  $T_V$ ， $2T_V$  和  $5T_V$ 。

#### 4.2 对于 MS 发送端性能的结果分析

在本小节中，为了普遍地考察视频流平滑算法对 MS 发送端的影响，在仿真中，MS 在整个系统中均匀分布，并参考文献[6]按比例设置了表 1 中的全部 5 种信道类型。

我们采用两个指标衡量平滑算法对MS发送端的性能影响，分别是发送端速率的统计量和图像帧丢弃率  $D_r$ 。 $D_r$ 指因超过  $T_b$  的时间限制被丢弃的图像帧数量和总图像帧数之比。在仿真中，我们记录了不同  $T_b$  值下某个MS的发送速率，表 2 为整个仿真时间内传输速率的统计量，图 3 为一段时间内的速率比较图。可见  $T_b$  值越大，发送速率越平滑，在平均速率相似的情况下，大  $T_b$  值可显著减小发送速率的峰值和变化率。

表 2 不同缓冲器长度  $T_b$  下传输速率的统计量

缓冲器长度 ( $T_V$ )	平均速率 (kbps)	最大速率 (kbps)	标准差 (kbps)
1	49.6	656	91.6
2	50.3	248	50.4
5	50.8	125.6	19.7

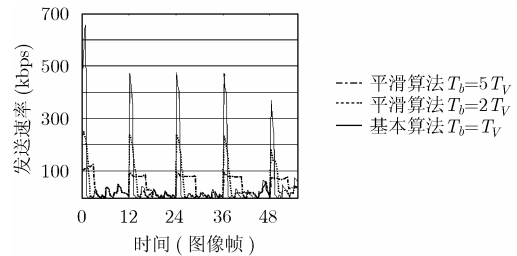


图 3 不同  $T_b$  值下发送速率  $V_s$  的比较图

图 4 给出了不同  $T_b$  值下图像帧丢弃率  $D_r$  的比较。对某特定  $T_b$  值，随着用户数的增多，系统资源逐渐减少，导致  $D_r$  上升。在相同用户数的情况下， $T_b$  值越大， $D_r$  值越小，这是由于大  $T_b$  值保证了数据量大的图像帧有足够的传输时间。需要注意的是，平滑算法对MS发送端性能的改善是以增大系统时延为代价的。

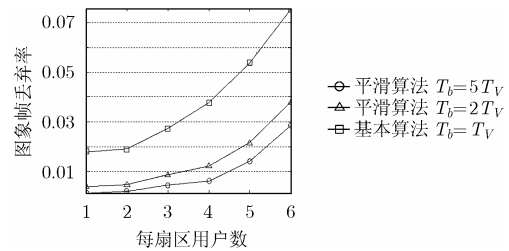


图 4 不同  $T_b$  值下图像帧丢弃率  $D_r$  的比较

#### 4.3 对于 CDMA 系统性能的结果分析

为了分析速率平滑算法取不同  $T_b$  值时CDMA系统的性能变化，我们需要排除路径损耗过大的情况下MS发送端高丢包率的影响，因此采用了一定的接纳控制算法。在本小节的系统仿真中，只有距离服务基站(BS)较近的MS才能接入系统并建立视频流业务会话。所有成功接入的MS的图像帧丢弃率  $D_r$  都限制在 1% 以下。同时，我们比较了平滑算法对不同信道模型下系统性能的影响，在一次仿真中只使用单一的信道模型。由于篇幅所限，本文仅列出对两种代表性的信道模型的讨论，分别是表 1 中的信道模型A(代表信道变化慢的情况)和信道模型C(代表信道变化快的情况)。

图 5 给出了不同  $T_b$  值和信道模型下系统平均 FER 的比较。可见信道模型 A 下的 FER 明显好于信道模型 C。由于信道模型 A 比较稳定，结合系统的功率控制机制，FER 基本保持在 1% 左右。在相对不稳定的信道模型 C 下，随着用户数的增多，仅仅功率控制已不能保证 FER 在 1% 左右。在这种情况下，平滑算法对 FER 的性能改善比较明显。高的速率峰值引起的大发射功率会对系统中的其他用户造成较大的干扰从而导致 FER 的性能的下降，而速率平滑可以使得速率的峰值和变化率减小，帮助系统提高 FER 的性能。

图 6 给出了信道模型 A 下不同  $T_b$  值时扇区平均吞吐量的比较。由于每个 MS 的图像帧丢弃率  $D_f$  都限制在 1% 以下, 尽管  $T_b$  取值不同, 系统的负载可认为近似相等。因此, 吞吐量性能很接近, 随着  $T_b$  值的增大略有增加。信道模型 C 下的吞吐量结果与此类似, 限于篇幅, 我们不在本文中列出。

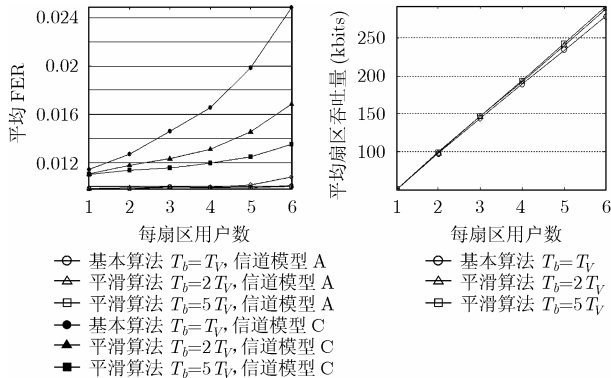


图 5 不同  $T_b$  值和信道模型下系统平均 FER 比较

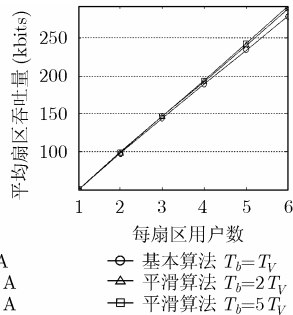


图 6 信道模型 A 下不同  $T_b$  值时平均扇区吞吐量

在反向链路中, 接收总功率超过热噪声功率基底(Rise-over-Thermal, RoT)是衡量反向链路资源的一个重要指标, 我们定义仿真过程中 RoT 大于 7dB 的时间与总仿真时间的比为 RoT 超标概率, 则其值越低, 系统的稳定性越好。图 7 所示为不同  $T_b$  值和信道模型下系统的 RoT 超标率曲线。类似图 5, 平滑算法对信道模型 C 下的改善比较明显, 信道模型 A 下性能也有少许的改善。RoT 超标率随着  $T_b$  值的增大而不断下降, 这说明平滑算法可以改善系统的稳定性, 而且无线链路条件变化越快, 这种改善越明显。

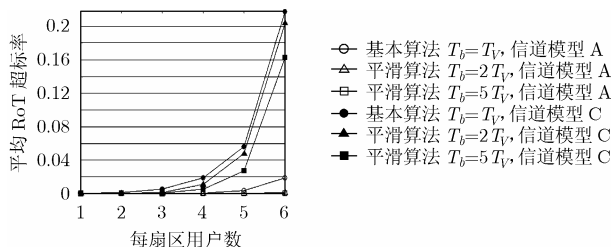


图 7 不同  $T_b$  值和信道模型下系统 RoT 超标率

### 5 结论

MPEG-4 视频流数据具有峰值速率高和速率变化大的特点, 如何在 CDMA 系统中传输这些数据并保证它的 QoS 越来越受到人们的关注。本文提出了一种速率平滑机制来保证视频流业务在 CDMA 系统中的有效传输。仿真结果表明, 该平滑算法通过引入一定的时延, 可以有效降低 MPEG-4 视频流业务的传输速率峰值和变化率, 更好地保证视频流业务的 QoS, 并可以提高 CDMA 系统的稳定性。仿真过程中我们发现, 处在 CDMA 系统小区边缘的 MS 丢帧率偏高,

QoS 得不到很好的保证。如何比较公平地保证每个用户的 QoS 以及如何更有效地在用户间分配资源是我们以后研究的重点。

### 参考文献

- [1] 陈前斌, 张云麟, 李乐民. 实时性 MPEG 视频源的图片组内平滑算法. 通信学报, 2000, 21(6): 42-48.  
Chen Qian-bin, Zhang Yun-lin, and Li Le-min. MPEG video source smoothing within GOP pattern for real-time video applications. *Journal on Communications*, 2000, 21(6): 42-48.
- [2] Rexford J, Sen S, Dey J, Feng W, and Kurose J, *et al.*. Online smoothing of live, variable-bit-rate video[C]. *Network and Operating System Support for Digital Audio and Video*, 1997, Proceedings of the IEEE 7th International Workshop on 19-21 May, 1997: 235-243.
- [3] Lam S S, Chow S, and Yau D K Y. An algorithm for lossless smoothing of MPEG video[C]. *Proceedings of ACM/SIGCOMM*, August 1994: 282-293.
- [4] Cyril-Daniel Iskander and P Takis Mathiopoulos. Online smoothing of VBR H.263 video for the CDMA2000 and IS-95B uplinks[J]. *IEEE Trans. on Multimedia*, 2004, 6(4): 647-658.
- [5] Frank H P Fitzek and Reisslein M. MPEG-4 and H.263 video traces for network performance evaluation[J]. *IEEE Network*, November/December 2001.
- [6] 3GPP2/TSG-C.R1002, "1xEV-DV Evaluation Methodology (V13)", 2003.
- [7] 3GPP2 S.R0022-Version 1.0, Video Conferencing Services - Stage 1[S], 2000.
- [8] 3GPP2 C.S0002-C v1.0, Physical layer standard for cdma2000 spread spectrum systems release C[S], 2002.
- [9] 3GPP2 C30-20030414-064R1, IS-2000 release C simulation configuration specification rev.11[S], 2003.
- [10] 3GPP TS 23.107 V6.2.0, Quality of Service (QoS) concept and architecture[S], 2004.

秦 洁: 女, 1981 年生, 硕士生, 研究方向为 CDMA 系统无线资源管理算法。  
刘兵章: 男, 1982 年生, 硕士生, 研究方向为 CDMA 系统无线资源管理算法。  
张 欣: 男, 1975 年生, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为移动通信。  
杨大成: 男, 1951 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为移动通信。