

文章编号:1001-9081(2006)02-0409-03

## 一种用于提高流媒体传输性能的标记方法

张泰乐, 武 蓓, 王劲林

(中国科学院声学研究所网络与数字信号处理技术研究中心, 北京 100080)

(zhangtl@gmail.com)

**摘 要:**在 DiffServ 网络中常用的标记法由于无法区分出数据流中每一个包在应用层的重要程度,因此不能有效提高视频流的传送质量。针对 MPEG 特点,采用在数据源与边界路由器两次标记的策略,通过基于 NS-2 的仿真系统对这种新标记策略进行对比,在带宽受限的情况下能有效的提高视频流的传输质量。

**关键词:**染色标记法;区分服务;MPEG 视频质量;NS-2

**中图分类号:** TP37      **文献标识码:** A

## Marker method for promoting streaming delivery performance

ZHANG Tai-le, Wu Bei, WANG Jin-lin

(Engineering Research Center of Digital Signal Processing, Institute of Acoustic, Chinese Academic, Beijing 100080, China)

**Abstract:** Legacy packet markers fail to distinguish important and less important data in the application layer. Therefore, the markers may not promote the video transport quality in a DiffServ network. A two times marker system was proposed to improve the delivery quality of MPEG video streams. NS-2 is used to analyse the performance of the proposed system. Results show that the new method outperforms the legacy traffic markers in terms of the quality of the delivered MPEG video streams.

**Key words:** color marker; differServ; MPEG-4 video QoS; NS-2

### 0 引言

随着网络技术的发展,流媒体应用已经变得越来越重要了。过去网络中“尽力而为”(Best-Effort)的传输方式越来越不能满足当前应用的需要。为此,IETF 定义了集成服务(IntServ [1])和区分服务(DiffServ [2])两种结构。由于集成服务的复杂性以及可扩展性问题,使得区分服务在大尺度网络中保障传输的 QoS 显得更有吸引力。

DiffServ 网络里引入了域的概念,一个域由一些路由器组成。位于边界的路由器称为边界路由器(Edge Router, ER),位于域内部的路由器称为核心路由器(Core Router, CR)。当数据到达边界路由器时,边界路由器根据一定的策略来标记 IP 分组头部的 DSCP(DifferServ Code Point) [3],并将该分组规划为不同的服务级别,同时对其进行适当的调节;核心路由器则根据边界路由器在 DSCP 的标记决定该分组的逐跳行为(Per Hop Behavior)。

在实际的网络环境中,边界路由器常用的标记策略包括单速率三色标记法(A Single Rate Three Color Marker),滑动时间窗三色标记法(A Time Sliding Window Three Color Marker, TSWTCM) [4]等。这些标记法可以根据流量特征对 DSCP 字段进行红,黄,绿三色标记,以减少因突发速率等因素造成的拥塞问题。但是,由于边界路由器一般只处理网络层协议,因而无法判断出流中每一个 IP 分组在应用层中的重要程度。对于流媒体应用,也就无法针对视频数据本身的特点进行优

化。为解决这个问题,本文提出了一种针对基于 MPEG 流媒体特点优化的三色标记法,并结合其他 QoS 染色策略,可以有效的提高 MPEG 视频流的传输质量。

### 1 面向 MPEG 视频流的三色标记法

网络上传输的 MPEG 视频主要是 MPEG-4 流。标准编码器在生成标准 MPEG-4 视频流时产生三种不同种类的帧:I 帧,P 帧以及 B 帧。I 帧图像采用帧内编码方式,即只利用了单帧图像内的空间相关性,而没有利用时间相关性。P 帧和 B 帧图像采用帧间编码方式,即同时利用了空间和时间上的相关性。P 帧图像采用前向时间预测,可以提高压缩效率。B 帧图像采用双向时间预测,可以进一步提高压缩率。由于 I 帧只使用帧内压缩,不使用运动补偿,所以是随机存取的点,同时是解码的基准帧。在解码过程中,首先解开 I 帧,根据 I 帧的结果解开 P 帧,由此解开 B 帧。由于 MPEG 的这种策略,导致了 L/P/B 在解码中并不是同样重要。I 帧要比 P 帧重要,P 帧又比 B 帧重要,I 帧又称为“关键帧”。

针对数据流中的 IP 包在应用层有着不同优先级的特点,本文提出的策略是让传送重要数据的 IP 包以较高的优先级传送,而相对次要的包则以较低的优先级传送,这样就可以提高视频传输的质量。但是,由于边界路由器无法处理应用层数据,因此也就无法区分出 IP 包中数据是 I 帧,P 帧还是 B 帧。对此,本文设计一种两次标记的染色法用以解决这个问题。在发送源对视频数据进行 IP 封装过程中进行第一次

收稿日期:2005-08-26;修订日期:2005-11-07      基金项目:国家 863 计划项目资助(2003AA103710)

作者简介:张泰乐(1979-),男,北京人,博士研究生,主要研究方向:P2P 网络;武蓓(1980-),女,陕西人,博士研究生,主要研究方向:网络通讯;王劲林(1964-),男,北京人,研究员,博士生导师,主要研究方向:宽带信息技术。

帧类型标记,以表明该数据包所传递的数据为视频数据,同时标明所传数据的帧类型。这些标记的信息可以通过 DSCP 传送,RFC 规定 DSCP 字段共有 6 个 bit,也就是 64 个不同的值。这些值被分为三类,用于不同的目的。第一类用于标准用途,第二类与第三类用于实验用途。本文使用了第二类的三个值分别代表传送 L/P/B 三种不同的帧的数据包。在边界路由器根据预标记的数据并结合常用着色算法进行第二次标记。本文使用了滑动时间窗三色标记法对非视频数据进行标记。对于根据平均传输速率(average information rate AIR)与承诺速率(committed information rate CIR)和峰值速率(peak information rate,PIR)的比较来对到达的非视频数据包进行标记,其基本思想是将低于 CIR 的 IP 包标记为绿色,把会导致数据超过 CIR 但是小于 PIR 的 IP 包标记为黄色,其他会超过 PIR 的 IP 包被标志为红色。对于非视频数据,根据上述规则计算出的概率随机染色,而对视频数据则简单的按照类型来标记。这种两次标记的策略称之为面向 MPEG 视频流增强的滑动时间窗三色标记法(ETSWTCM)。整体流程如图 1 所示。

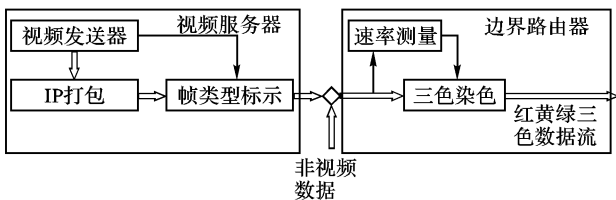


图 1 采用 ETSWTCM 的示意图

ETSWTCM 中边界路由器策略如下:

```

IF DSCP = = I
    DSCP ← 绿色
ELSE IF DSCP = = P
    DSCP ← 黄色
ELSE IF DSCP = = B
    DSCP ← 红色
ELSE IF (AIR < = CIR) /* 参见文献[4] */
    DSCP ← 绿色
ELSE IF (AIR < = PIR) AND (avg-rate > CIR)
    P(DSCP ← 绿色) = P绿 = CIR/AIR,
    P(DSCP ← 黄色) = 1 - P绿
ELSE
    P(DSCP ← 红色) = P0 = (AIR - PIR) / AIR
    P(DSCP ← 黄色) = P黄 = (PIR - CIR) / AIR
    P(DSCP ← 绿色) = 1 - P黄 - P绿1
    
```

其中 P 为概率。

## 2 仿真实验

### 2.1 实验方法

为了验证 ETSWTCM 标记策略的效果,我们使用了基于多协议网络模拟器(Net Simulator 2, NS-2<sup>[5]</sup>)为核心的仿真平台进行试验。NS-2 在研究分组交换网络中数据中的流量控制和拥塞控制中优势明显,非常适合用于研究传输质量及相关问题。整体仿真结构基于 Jirka Klaue 等提出的 EvalVid 分析系统<sup>[6]</sup>,其结构如图 2 所示。这套系统可以逐帧比较原始和接收到的视频图像质量,用以分析整个视频系统的性能。下面对系统的各个模块逐一简单介绍。

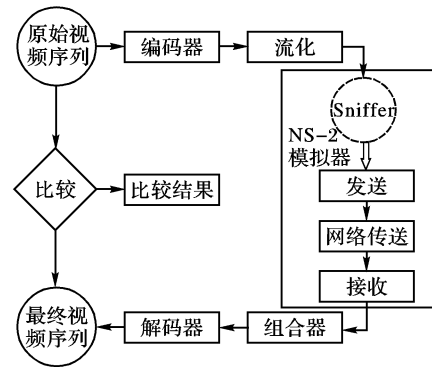


图 2 基于 NS-2 的 EvalVid 结构

1) 原始与最终视频序列是未压缩的视频数据,本文所使用的原始视频序列使用了 YUV 色彩空间,并使用了 4:2:0 的采样格式,这种格式的文件大小等于帧数 × 3 × 宽 × 高 / 2。比如,一个宽 352 像素,高 288 像素,每秒 25 帧的标准 CIF 视频来说,每秒钟的数据为 3.8M 字节。本文采用了 ISO 提供的 CIF 格式“highway”作为原始视频序列,该序列共有 2000 帧视频。

2) 编解码器采用了符合国际标准化组织标准的 MPEG-4 CODEC<sup>[7]</sup>。在编码时,固定图像质量,采用变比特率进行压缩。压缩后码率均值为 531.6Kbps,峰值码率 1084.3Kbps; PSNR 保持在 37~39 之间,如图 3 所示。在传输过程中使用大小为 1KB 的 UDP 包。

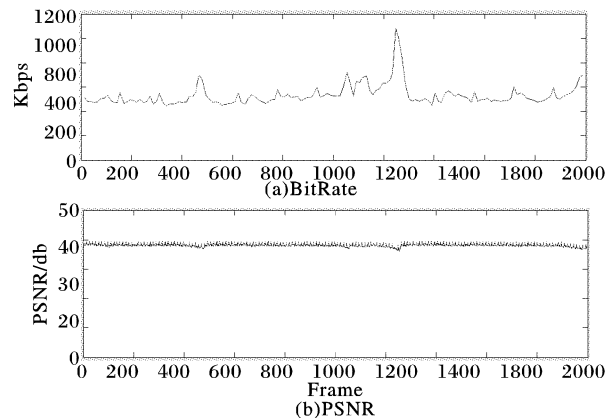


图 3 原始图像的速率与质量

3) 对于原始与最终视频序列的比较,本文采用了广泛使用的峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio)作为衡量标准。比较两幅宽为  $m$  像素,高为  $n$  像素的图片来说,PSNR 定义为:

$$PSNR = 10 \cdot \log\left(\frac{MAX_I^2}{MSE}\right)$$

其中  $MSE$  定义为:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_i^m \sum_j^n \|I(i,j) - K(i,j)\|^2$$

$MAX_I$  为像素的最大色值。国际通信联盟在文献[8]使用 PSNR 对运动图像进行了 5 级评分,如表 1 所示。

4) 图 2 中 NS-2 模拟器用于仿真视频在 DiffServ 网络中传输的过程,是仿真系统的核心模块。网络结构如图 4 所示,视频数据由服务器 S1 经过路由器 R1、R2、R3 组成的区分服务网络到达接收端 D1,在传输过程中受到一个 512Kbps 的开关数据流以及一个不限速的 FTP 流干扰。开关数据流根据指数开关(Exponential On/Off)分布产生数据流,即当数据流“开”时产生 128Kbps UDP 数据流,当数据流“关”时则停止发

送。“开”和“关”的时间分别满足指数分布,在本实验中数据“开”的时间满足均值为 500ms 的指数分布,“关”的时间满足均值为 100ms 的指数分布。

表 1

PSNR[ db]	评分	图像质量主观感觉
>37.5	5	极好
31.4 - 37.4	4	好
25.3 - 31.3	3	一般
20 - 25.2	2	差
<20	1	错误

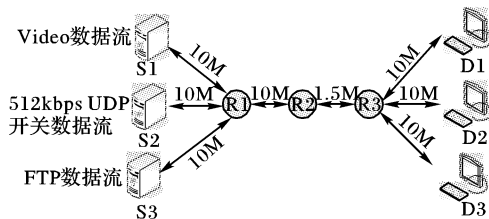


图 4 仿真网络结构

在路由器 R1、R2、R3 之间组成的 DiffServ 域中,边界路由器 R1 根据一定的规则对到达的包进行红、黄、绿三色标记。而核心路由器 R2 按照这三个标记,实现加权随机早期探测<sup>[9]</sup> (Weighted Random Early Detection),在拥塞发生之前,根据不同的优先级定义不同的丢包队列长度、丢包概率,提前丢弃优先级相对较低的数据,从而保证对高优先级数据的传送质量,以避免拥塞的发生。本文将对比采用无标记,TSWTCM,以及前文提出的 ETSWTCM 三种标记方式进行试验。

### 2.2 试验结果

首先,我们将 R2→R3 之间的带宽上限控制在 1.5Mbps 进行试验,在这种情况下带宽基本可以满足视频与开关数据流的需要,因此这种情况下,主要是考虑 FTP 数据对视频质量的影响。仿真结果是:对于没有采用任何标记策略的视频流的平均 PSNR 为 27.33db,采用了 TSWTCM 策略的 29.09,而采用 ETSWTCM 策略的测试结果达到了 34.2616db。如图 5,图 6 所示。

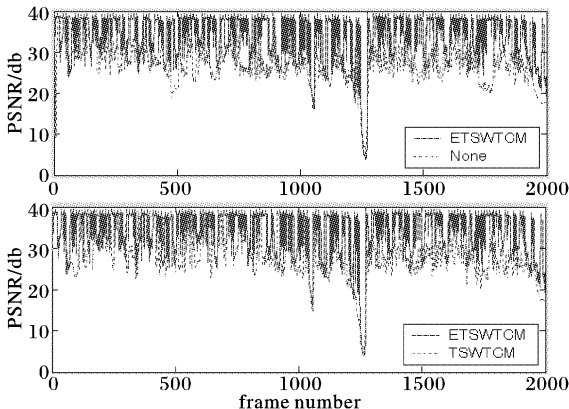


图 5 实验结果 1:三种情况下的 PSNR 比较

进一步我们将 R2→R3 之间的带宽降低到 1.1Mb 重复了上述试验。在这种情况下,带宽严重不足,这时不仅 FTP 数据会影响视频质量,而且 UDP 开关数据流也会影响视频传输。试验结果是:不采用任何 QoS 策略的平均视频 PSNR 为

24.62db,采用 TSWTCM 策略的为 23.68db,采用了 ETSWTCM 策略的为 30.32db,约有 5db 的提高。我们又针对 ISO 提供的标准测试流 Foreman 和 Akiyo 做了相同的试验,均有类似的结果。

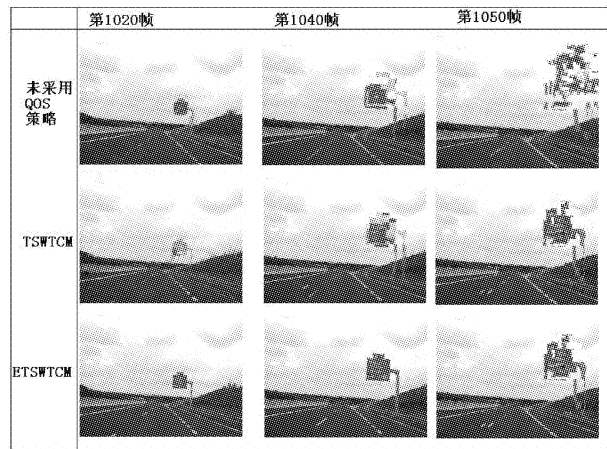


图 6 实验结果 2:三种情况下接收图像比较

可以看出,常用标记染色法,对于提高视频传输质量并没有明显的帮助。本文提出的 ETSWTCM 染色法由于针对了 MPEG-4 视频的特点进行了优化,从而有效地提高了 DiffServ 网络中视频传输的性能。

### 3 结语

本文提出的两次标记的染色法可以有效地提高 DiffServ 网络中 MPEG 视频传输的性能。这种标法的基本思想是在数据发送端处对传送 I/P/B 帧的 IP 包,分别做不同的标记。在 DiffServ 网络中,可以根据这些标记染色,并当拥塞发生时优先丢弃不重要的视频数据,尽可能的让在解码过程中关键的 I 帧数据通过。仿真试验表明,在带宽受限的网络中,这种策略可以有效地提高图像传送的质量。

#### 参考文献:

- [1] RFC 1633. Integrated services in the internet architecture: an overview [ S ].
- [2] RFC 2475. An architecture for differentiated services [ S ].
- [3] RFC 2474. Definition of the differentiated services field ( DS Field ) in the IPv4 and IPv6 headers [ S ].
- [4] RFC 2859 , A Time Sliding Window Three Colour Marker ( TSWTCM ) [ S ].
- [5] The Network Simulator-ns-2 [ EB/OL ]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2005.
- [6] KLAUE J, RATHKE B, WOLISZ A. EvalVid-A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation [ A ]. Proc. of the 13th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation [ C ]. Urbana, Illinois. University of Illinois at Urbana Champaign. September 2003. 233 - 237.
- [7] Publicly Available Standards [ EB/OL ]. <http://standards.iso.org/itf/PubliclyAvailableStandards/>, 2005.
- [8] BT. 500 - 10. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures [ S ].
- [9] FLOYD S, JACOBSON V. Random Early Detection gateways for Congestion Avoidance [ J ]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993, 1: 397 - 413.