

基于 IP 区分服务的实时视频流传输*

吕 佳

(重庆师范大学 数学与计算机科学学院, 重庆 400047)

摘 要 :传统 Internet 的尽力而为服务无法满足用户对视频传输的高带宽需求及严格的 QoS 保证^[1]。本文在分析了区分服务体系结构及其各部分功能模块的基础上 给出了一种基于 IP 区分服务的 MPEG 视频分组标记算法 并进行了仿真实验和性能分析 结果表明这种对 MPEG 不同类型的帧以不同的 PHB 方式来调度转发的机制是有效的。

关键词 :区分服务 ;服务质量 ;视频传输 ;MPEG ;分组标记算法

中图分类号 :TP393

文献标识码 :A

文章编号 :1672-6693(2005)01-0023-04

Real-Time Video Transmission Based Upon IP Differentiated Services

LUI Jia

(College of Mathematics and Computer Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract :With the rapid development of the multimedia technology, the traditional Internet, which provides Best-Effort services, cannot meet users' requirements of high bandwidth and stringent QoS guarantee for transmitting MPEG videos. The architecture of Differentiated Services model is analyzed and its each function model is simply introduced in this paper, and then a MPEG video packet marking algorithm is put forward. Finally the simulation results and performance analysis show that the the proposed approach is effective and the different PHB is scheduled and forwarded aimed to different frame of MPEG video.

Key words :differentiated services ;QoS ;video transmission ;MPEG ;packet marking algorithm

随着多媒体技术的飞速发展,Internet 已逐步由单一的数据传送网过渡到数据、语音、图像等多媒体信息的综合传输网,同时用户对视频传输的要求日益提高。MPEG 视频流在网络中传输时对带宽要求不断地变化并且需要保证服务质量(QoS, Quality of Service)。而基于传统 TCP/IP 技术的,对所有的网络流均提供单一的服务,即尽力而为(Best-Effort)服务,没有明确的时间和可靠性传送保障,因此尽力而为服务无法满足多媒体应用和各种用户对网络传输服务质量的不同要求^[2]。为此,Internet 任务工程组 IETF 提出了两种保障服务质量的模型:综合服务体系模型^[3](IntServ, Integrated Service)和区分服务体系模型^[4](DiffServ, Differentiated Service)。在综合服务体系模型中,通过资源预留协议(RSVP, Resource Reservation Protocol)为数据流提供量化的 QoS 保证,但由于需要增加复杂的信令机制,收集和 处理每一个业务流的信息,大大增加了网络的额外

开销,可扩展性较差,严重妨碍了其在大型网络,特别是重负载网络中的应用。区分服务体系模型则通过对具有不同 QoS 要求的应用分类,并根据不同的类采用不同的优先级进行处理,即在网络节点中对不同种类业务采用不同的每跳行为(PHB, Per-Hop Behavior),以此来实现业务所需的服务质量。因此,区分服务体系结构由于其良好的扩展性和实现简单而成为近年来的研究热点。本文首先分析了区分服务体系结构,简要介绍其各部分的功能,在此基础上给出了一种基于 IP 区分服务的 MPEG 视频分组标记算法,即应用加速转发型^[5](EF, Expedited Forwarding)PHB 和确保型^[6](AF, Assured Forwarding)PHB 来分别传输实时视频流的不同类型的帧,其中 I 帧由 EF PHB 来实现, P 帧和 B 帧由 AF PHB 实现,最后进行仿真实验和性能分析,结果表明应用这种基于分类的分组标记的方法能够保证 QoS,且在实时视频流的传输中还能有效地利用带宽资源。

* 收稿日期 2004-07-28

作者简介:吕佳(1978-)女,四川眉山人,助教,硕士研究生,主要研究方向为人工智能、数据库开发、计算机网络。

1 区分服务体系结构

区分服务基于 IP 流分类聚合,区别对待不同等级的聚合流(stream aggregate),根据包头的 DSCP (DS codepoint)选择提供特定质量的调度转发服务,其外特性是每跳行为。根据文献[3],区分服务的体系结构是由在网络节点上实现的若干功能模块组成,包括 PHB、包分类器(classifier)包标识和重标识、流量调节器(traffic conditioner),其中流量调节器又包括计量器(meter)、标记器(maker)、整形器(shaper)和丢包器(dropper)等。下面简要介绍区分服务体系结构的各个组成部分。

1.1 DS 区域和 DS 区

DS 区域(DS Domain)是由一些相连的 DS 节点(DS node)构成的集合,其中 DS 节点可看作实现了区分服务功能的网络设备(如路由器)的别称。一般 DS 区域由属于同一网络管理机构的网络构成,DS 区域有明确定义的边界,边界由边界节点构成。通过边界节点将 DS 区域和非 DS 区域互相连通起来。DS 内外区域通过服务等级约定(SLA,Service Level Agreement)与流量调节约定(TCA,Traffic conditioning Agreement)来提供跨区域服务。

连续的 DS 区域构成 DS 区(DS Region),区内支持跨越若干区域的区分服务。区内的各区域可能支持不同的 PHB 组,并且各自区域的 DSCP 到 PHB 的映射函数也可能不同。

1.2 区分服务标记域(DS field)及 DSCP

IP 包头的区分服务标记域定义为原 IPv4 包头的 ToS(Type of Service)字节和 IPv6 的流类型字节的前 6 位,并重新定义了各位的含义。以此标识业务分组类型,供数据包经过 DS 节点来选择相应的 PHB。DS 域定义如图 1。其中,DSCP 表示区分服务的标识域,共 6 位,可以支持 64 种不同的 PHB;CU(Currently Unused)表示目前尚未使用的两位。

DS 域仍保留了 ToS 值,这样在局部不支持 DS 业务而支持 ToS 方式的网络设备中仍可以通过 ToS 方式保证服务质量,因此区分服务具有向下兼容性。

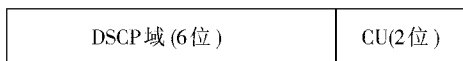


图 1 DS 字节结构

1.3 包分类器

包分类器按照 TCA 中的特定规定,根据 IP 包头的某些域将包分成不同的聚集流。目前已定义了 BA(Behavior Aggregate)分类器和 MF(Multi-Field)

分类器两种包分类器。前者根据 IP 包头的 DSCP 将包分类;后者则根据包头的多个域,如 DSCP,IP 源地址,源端口地址,IP 目的地址,目的端口地址,协议 ID 等,来对 IP 包分类。

1.4 流量调节器

流量调节器在逻辑上又分为计量器、标记器、整形器和丢包器。如图 2 所示。

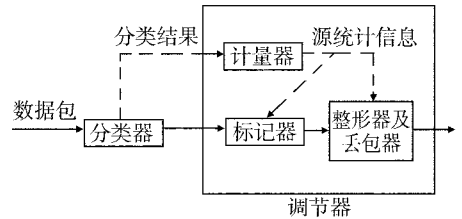


图 2 流量调节器

计量器根据 TCA 中的流规格计量流的某些实时属性,如速率等,并将统计信息传给标记器、整形器和丢包器。标记器在包头的 DS 标记域中标记适当的 DSCP,即将包划入某个行为聚集。整形器、丢包器通过延迟、丢弃等手段强制使入流(或出流)符合 TCA 的流规范。

1.5 每跳行为 PHB

PHB 是整个区分服务网络的核心,本质上描述的就是单个节点为特定流聚集分配资源的方式,DS 节点读取包头的 DSCP 值,再根据 DSCP 与每一个 PHB 的映射关系选择相应的 PHB 来对数据包进行处理。区分服务体系的整体资源分配策略也就通过这一个个 DS 节点资源分配实现的。相同或相近 PHB 方式构成一个 PHB 组。同组中用不同的优先级来区别每个 PHB 方式。目前已标准化的 PHB 组有缺省型 BE PHB(Best-Effort)、EF PHB 和 AF PHB 3 种,分别用来实现 3 类区分服务:尽力而为服务(BES)、奖赏服务(PS,Premium Service)和确保服务(AS,Assured Service)。

(1)BE PHB。提供基于传统 Internet 的 TCP/IP 技术的尽力而为服务。DSCP 推荐值为 000000,网络中任何一个节点都尽可能快地转发分组及尽可能多地给予带宽资源。通常情况下,BE PHB 的优先级最低。

(2)EF PHB。一种实现 PS 的每跳行为。PS 是网络提供了一种“三低一保证”即低丢包率、低延迟、低延迟抖动及保证带宽的端到端服务。用户可以享受类似专线的服务质量,故 PS 又叫做“虚拟专线”服务。EF PHB 通过提供相应的转发方式来满足如 IP 电话、IP 传真及 Video over IP 等对时延敏感

的业务需求。EF PHB 的优先级最高,且 EF PHB 组中只有一个 EF PHB,DS 节点按 PS 的峰值速率要求给 EF PHB 分配资源。

(3) AF PHB。一种实现 AS 的每跳行为。AS 是一种保证用户拥有一定量预约带宽从而满足需要可靠而不是快速转发的业务需求。AF PHB 组分成 4 个相互独立的类别 AF1、AF2、AF3、AF4。每个类别又按照相对丢弃优先级分成 3 级。DS 节点为每个 AF PHB 组预留一定量资源,包括预约的最低限量的带宽和同其它 AF 流或 BE 留竞争剩余资源获得的额外带宽。

2 IP 区分服务 MPEG 视频分组标记算法

2.1 MPEG 视频压缩原理

MPEG 视频压缩根据运动图像相邻帧之间具有一定相似性的原则,通过帧内编码和帧间编码技术来减少图像中时间和空间的冗余度。帧内编码技术是对每帧单独进行编码,以减少空间冗余度。帧间编码技术则是对相邻的相似帧进行压缩以去掉时间冗余度。MPEG 压缩是以图像组(GOP)为一个单元进行的,由 3 种类型的帧构成 I 帧、P 帧和 B 帧。一个 GOP 由若干帧组成,第一帧为一个 I 帧,依次为 1 个 P 帧 2 个 B 帧,由此构成 I PBB PBB PBB……结构。

(1) I 帧,参考帧。I 帧采用帧内编码方式,不依赖其它帧,是一种能够完全记载这一帧全部图像数据的帧。I 帧通常是每个 GOP 的第一个帧,经过适度地压缩,作为随机访问的参考点,同时是解码的基准帧,可以当成图像。

(2) P 帧,前向预测帧。P 帧采用帧间编码方式,是根据与前面最近的 I 帧或 P 帧图像的比较,去掉与其相似的数据而构成的帧。

(3) B 帧,双向预测帧。B 帧也采用帧间编码方式,是根据与它前后相邻的 I 帧和 P 帧图像的比较而得到的帧。P 帧、B 帧是不完全帧,需要依靠 I 帧而成立。

2.2 算法结构

由于 I 帧在 MPEG 3 种帧当中是最为重要的且长度最大的一种帧,故采用 EF PHB 来转发;另两种帧则用 AF PHB 来处理,P 帧提供比 I 帧更大的压缩,并作为后面 P 帧或 B 帧的基准,因此 P 帧比 B 帧更为重要,需要得到更多的带宽保证,故将 P 帧和 B 帧设置成为不同的丢弃优先级,并通过竞争 AF 类的剩余资源而使 P 帧和 B 帧按比例地分配到额外

带宽,从而使得 P 帧和 B 帧获得各自最终的实际带宽资源。使用这种方式不仅能够保证 QoS,而且能够较高地利用带宽资源。故 IP 区分服务 MPEG 视频分组标记算法可描述如下:

```
switch (到达帧的类型)
{
case I: DSCP = EF; break;
case P: DSCP = AF 低丢弃优先级; break;
case B: DSCP = AF 中等丢弃优先级; break;
}
```

3 模拟实验及结果

本文采用一个链路容量为 10 Mbps 的以太网来对一个 1.5 h 的视频进行仿真实验,AF1、AF2 和 AF3 类各自分配到 2Mbps 的带宽,EF 流分配到 4Mbps 带宽,一个 MPEG 帧独立封装为一个分组。实验用的一段 1.5 h 视频实际所用带宽为 3.8Mbps,使用 CBQ(Class Based Queuing)^[7]调度器来管理 EF PHB 和 AF PHB,以便每个用户都能收到基于分类的分组标记的相应资源。

通常 I 帧每隔半秒就插入数据流,它为解码过程提供起始点,为后续的 P 帧及 B 帧提供预测模板。如果将一个帧的持续时间定义为一个时间槽,每个 GOP 包含 12 个帧,那么一个 I 帧仅占用其中的一个时间槽,则其流量负荷是相当小的。图 3 所示为转发 I 帧的 EF 类流量负荷变化曲线图。如果不加区分的将 3 种类型的帧都用 EF 类来转发,尽管可以使 QoS 得以保证,但由于 P 帧和 B 帧比 I 帧所需实际带宽要小得多,浪费了大部分带宽资源,导致带宽利用率极低。图 4 所示为转发其 I 帧的 EF 类所花费的时间。可以发现 I 帧平均延迟时间接近为 0。

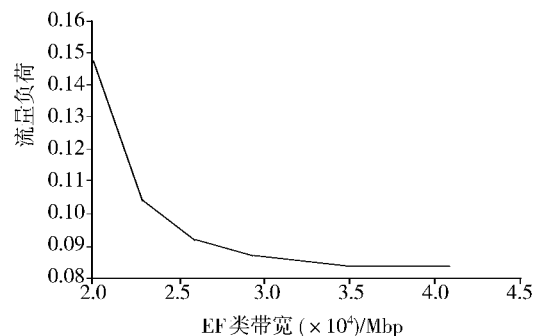


图 3 转发 I 帧的 EF 类的流量负荷

AF1 类来传输 P 帧和 B 帧,P 帧分配到带宽是 0.8Mbps,B 帧分配到的带宽是 0.4Mbps。当网络负载较轻而有剩余资源时,除了预约的最低限量的带宽,用户还可以使用到与其它 AF 类或其它 PHB 组

竞争得来的额外带宽。根据 DSCP 值 P 帧和 B 帧竞争 AF1 类剩余带宽的公式如下：

$$\begin{cases} R_{eP} = R_P + q_1 \times R_{Left} (1 - T_{load}) \\ R_{eB} = R_B + q_2 \times R_{Left} (1 - T_{load}) \end{cases}$$

其中 R_{eP} 和 R_{eB} 分别为 P 帧、B 帧最终实际分配得到的带宽 R_P 和 R_B 分别为 P 帧、B 帧预定最低限量带宽 R_{Left} 为 AF1 类的剩余带宽 T_{load} 为当前流量负荷 q_1 和 q_2 分别为 P 帧、B 帧的权值。图 5 所示为在不同流量负荷下 3 种帧的平均延迟时间。I 帧的平均延迟时间不随流量负荷的变化而始终接近为 0 表明 QoS 得到了保证。而 P 帧、B 帧的平均延迟时间则随着当前流量负荷的变化及竞争 AF1 类的剩余资源分配到的额外带宽而不断变化。

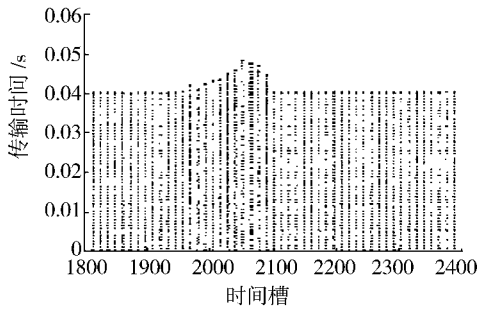


图 4 1.5 h 的视频流中传输 I 帧所需的时间

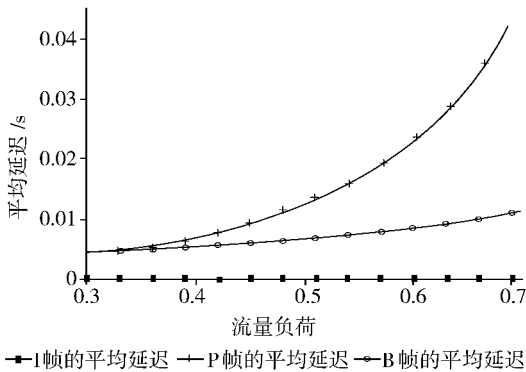


图 5 区分服务中 $q_1=0.8, q_2=0.2$ 时 I 帧、P 帧和 B 帧的平均延迟

图 6 所示为 3 种帧在传统 Internet 使用的尽力而为服务实例中的平均延迟时间。I 帧的平均延迟时间随着当前流量负荷的增长而逐渐增加,因为在尽力而为服务实例中 I 帧无法获得高优先级从而不能保证 QoS,而 P 帧、B 帧则由于本身帧较小反而受当前流量负荷变化的影响较小。

由于 I 帧、P 帧和 B 帧本身的编码方式不同及在解码中存在一定的相关性,适合在区分服务体系模型中采用相应的 PHB 方式来处理。而采用尽力而为服务模式则无法确保其中最重要的 I 帧的传输,且忽略了 P 帧和 B 帧之间的差异,导致视频传

输整体性能下降。所以采用这种新型服务质量保证技术——区分服务体系模型来传输视频流,克服了传统尽力而为服务的固有缺陷,在传输延迟和带宽要求等方面的性能得到较大提高,保证了 QoS。

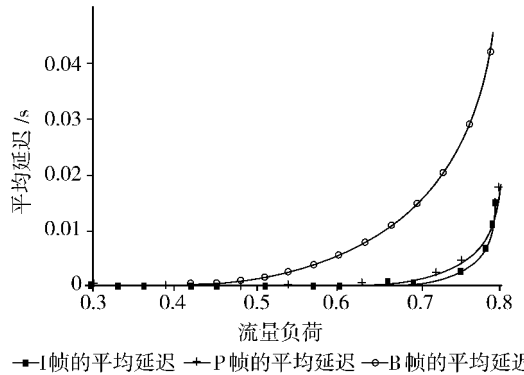


图 6 尽力而为服务中 I 帧、P 帧和 B 帧的平均延迟

4 结论

- (1) 区分服务是一种基于业务分类及其相关质量保证策略的体系,简单易行且具有较好的扩展性。
- (2) 经仿真实验证明,采用这种基于 IP 区分服务的 MPEG 视频分组标记算法来传输 MPEG 实时视频流,充分利用了区分服务基于分类的业务模型的优势,获得了尽力而为服务无法保证的 QoS,并有效地利用网络带宽资源。

参考文献：

- [1] 袁平,李明. 基于 IP 网络的 QoS 体系结构[J]. 重庆师范学院学报(自然科学版) 2003 20(2) 9-13.
- [2] 林闯,单志广,盛立杰,等. Internet 区分服务及其几个热点问题的研究[J]. 计算机学报 2000(4) 419-433.
- [3] BRADEN R, CLARK D, SHENKER S. Intergrated Services in the Internet Architecture :an Overview[J/OL]. <http://www.rfc.net/rfc1633.html>. 1994-06/1999-07-15.
- [4] BLAKE S, BLACK D, CARLSON M et al. An Architecture for Differentiated Services[J/OL]. <http://www.rfc.net/rfc2475.html>. 1998-12/1999-07-15.
- [5] JACOBSON V, NICHOLS K, PODURI K. An Expedited Forwarding PHB[J/OL]. <http://www.rfc.net/rfc2598.html>.
- [6] HEINANEN J, BAKER F, WEISS W. Assured Forwarding PHB Group[J/OL]. <http://www.rfc.net/rfc2597.html>.
- [7] FLOYD S, JACOBSON V. Link-sharing and Resource Management Models for Packet Networks[J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 1995 3(4) 365-386.

(责任编辑 黄 颖)