

确保 EF 业务服务质量的新型路由结构^{*}

李 喆 李冬妮 王光兴

(东北大学网络与通信中心 沈阳110004)

摘 要 区分服务(Diffserv)中 EF(Expedited Forwarding)流的最大问题是随着跳数的增多,每个信息流的突发段长度和延迟都呈指数增加。本文在分析这种问题产生原因的基础上,提出了一种新的对 EF 业务进行处理的路由结构。在此结构中,采用基于输入链路的 EF 流调度控制,避免了突发段不断增长、延迟不断增大的情况,提高了 EF 业务端到端的服务质量(QoS),同时这种结构只对 EF 类进行处理并不改变路由器的其他结构,而且不需要与网络的其他节点交换信息,不增加网络开销。

关键词 区分服务(Diffserv), EF, 突发段, QoS

A New Routing Architecture to Guarantee Quality of Service for EF Flow

LI Zhe LI Dong-Ni WANG Guang-Xing

(School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract In Diffserv architecture, EF has a big problem that each flow's burst and delay bound increase exponentially as the total hop number increases. By analyzing the reason for the problem, a new routing architecture for EF service is provided. In the new router, per ingress scheduling for EF flow is presented. This prevents the burst accumulation and improves the end-to-end QoS for EF flow. At the same time, it is just limited within the existing EF class and does not change other architecture of the router. It need not exchange information with other nodes in the network and does not add other overload to the network.

Keywords Diffserv, EF(Expedited Forwarding), Burst size, QoS(Quality of Service)

1 引言

信息网在全球范围内的使用及其应用范围的扩大,使网络负荷增大,信息网流量控制已作为一个非常重要的问题提出。另外,目前的信息网不能解决数字、语音、图像等综合业务对网络性能的要求,进而使服务质量(QoS)成为目前信息网发展的主要问题之一。

有两种网络结构支持信息网的综合业务:集成服务(Intserv: Integrated Service)^[1]和区分服务(Diffserv: Differentiated Service)^[2]。Intserv 提供端到端的 QoS 保证,但是由于它是基于信息流进行信息处理和带宽分配以保证服务质量的,因此受到网络规模的影响并具有一定的复杂性。Diffserv 在对流量进行分类的基础上,将路由分为边缘路由和中心路由,为保证网络服务质量同时适应综合业务传输的要求,在边缘路由进行较复杂的分类控制等处理,而在中心路由只做较简单的基于分类的跳处理,这样,更适合于较大规模的信息网络,但与 Intserv 相比,没有提供更好的服务性能。

为了更好地解决网络 QoS 问题,使信息网更灵活、更有效地支持大规模的网络传输,一种“Intserv over Diffserv”结构正在被人们所注目^[3]。所谓“Intserv over Diffserv”即为在主干网络上使用 Diffserv 结构,以保证网络规模的要求,同时在两端(发送端和接收端)用 Intserv 方法进行控制,以达到更好保证 QoS 及有效利用带宽的目的。该研究的主要问题是:如何掌握包在 Diffserv 区域内的最大延迟,如果得到了 Diffserv 区域内包的最大延迟,即可在此基础上增加一个 Intserv 链路延迟,即为端到端的最大延迟。特别是当 Diffserv 区域中传输 EF 业务时,由于 EF 流在节点的最大输入率低于最小输出

率,适合为多媒体传输提供确保端到端的 QoS,为此,本文在具体分析 EF(Expedited Forwarding)特点的基础上,通过分析 Diffserv 结构及其网络性能,提出一种适合于 Diffserv EF 的新的路由结构,采用对应于各链路的调度控制方法,对 EF 流进行处理,以保证 EF 业务的 QoS。

2 EF 特点及其包延迟产生的原因

2.1 EF^[4]特点

在 Diffserv 结构中,除了目前信息网中的 BE(Best-Effort)业务类型之外,还定义另外两种信息处理类型。一种为 EF(Expedited Forwarding),另一种为 AF(Assured Forwarding)。EF 业务传输过程中具有较高的优先级,适合于时间敏感型的业务传输,并保证其 QoS。在网络中,要求节点对 EF 业务类型的处理采用输出速率大于输入速率的方法。这样,当 EF 集合中只有 1 个 EF 流时,包的传送即为先入先出原则。当 EF 包从多个链路同时到达路由器时,若包的优先级相同,则按随机顺序进行转发。但当 EF 包到达时,次优先级业务(例如:AF 业务)或其他业务还在进行服务,这时就需要进行等待,产生延迟。这样,在节点输出时,可导致 EF 流的突发段增大,且该突发段随跳数的增大而增大,而突发段的增大又进一步使延迟增大,具体关系如下:

$$B_i = B_0 + ((d-2)B_0 + MTU) \left(\frac{(1 + \frac{R}{C}(d-2))^{d-1} - 1}{d-2} \right)$$

$$D_i = \frac{1}{c} ((d-2)B_0 + MTU) (1 + \frac{R}{C}(d-2))^{d-1}$$

其中, d 为连接路由器的链路数; r 为 EF 信息流的速率; C 为输出链路的物理带宽; n 为向同一输出链路汇集的 EF 流的最

^{*} 国家 863 计划项目(2002AA784030)及教育部留学回国人员科研启动基金资助。李 喆 教授,博士,主要研究方向为:计算机网络,通信技术;李冬妮 博士研究生,主要研究方向为宽带计算机网络;王光兴 教授,博士生导师,主要研究方向:计算机网络。

大数量, $R=nr/d$; B_0 为最大突发段长度; MTU 为包含 AF、BE 业务在内的最长包的长度。 j 为跳数; B_j 为第 j 次跳的 EF 流的突发段长度; D_j 为第 j 次跳的 EF 流的延迟。

由上两式可以看出, 随着数的增大, 突发段长度增加, 延迟增大。另外, 随着负载的增大, 延迟也呈指数增加。

2.2 同期到达(synchronized arrival)与凝聚(clumping)

为了提高网络性能, 确保 EF 流在保证 QoS 的情况下能更好地传输, 同时充分利用网络资源, 解决突发流量在传输过程中增加的问题, 现具体分析流量突发段产生、增大及延迟增长的原因: 同期到达与凝聚。图1为一个同期到达的例子。

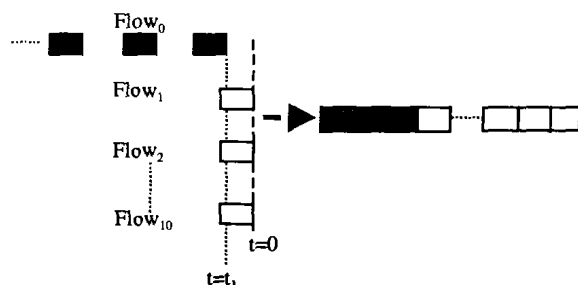


图1 同期到达与凝聚

假设 $flow_0$ 为 EF 流, 到达路由器之前, $flow_1$ 到 $flow_{10}$ 的 10 个信息流(可能这些信息流的优先级低于 $flow_0$) 均有一个包同时到达路由器的入口(同期到达), 路由器在处理这 10 个包之后, 再对 $flow_0$ 的包进行处理, 而在此期间 $flow_0$ 的包需要等待, 输出时会出现几个包相连的情况。这样就形成了输出的凝聚效果, 从而产生了较大的突发流量。而经过多次跳后, 由于这种情况的存在, 增加了同期到达及凝聚的可能性。使突发段增大从而进一步使延迟增加, 影响了服务质量。同样, 负载的增多, 使到达路由器的信息流增加, 这样, 增大了同期到达的可能性。从而使凝聚效果增强, 增大了突发段长度, 从而使延迟增大。

3 基于输入链路调度控制的新型 EF 路由结构

3.1 新型 EF 路由结构及特点

在 Diffserv 结构中, 包含一系列功能单元, 例如: 每一跳行为(PHB: Per Hop forwarding Behavior)、包分类功能、流量制约功能及丢弃功能等。其路由器结构是基于分类(EF、AF、BE)进行控制的。其结构如图2所示。

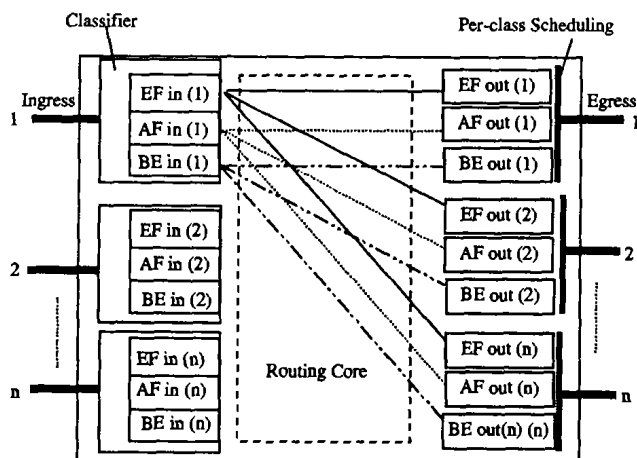


图2 Diffserv 中的路由器结构

根据对 EF 流的特点及延迟产生原因的分析可知, 要减小 EF 包 Diffserv 结构中的端到端的延迟, 保证 EF 业务的 QoS, 必须考虑一种新型路由结构, 针对 EF 包的周期到达和

凝聚而产生的突发段增加的现象, 进行具体的控制和处理。为使每一信息流不产生突发和凝聚, 在路由器进行针对每个信息流的调度处理是最理想的。但是, 这对于基于分类调度处理的 Diffserv 结构是不可能实现的。为防止基于多种输入流量而产生的突发现象, 我们构造一种新的路由结构, 如图3所示, 这种新的结构是针对 EF 类进行的, 为简单起见, 图中没有示出 AF、BE 等分类装置。

这种结构具有以下特点:

- (1) 仅对 EF 类的包进行基于输入链路的调度处理, 与其他业务类型完全独立。
- (2) 处理参数仅基于 EF 业务的数据包在路由器的一些时间参数, 不需要在网络中传递其他参数及状态信息。
- (3) 该路由器与其他路由器不进行信息交换, 处理只在路由器内部进行。

3.2 新型路由结构原理及调度处理方法

新型路由器结构原理说明如下:

首先, 在分类器(classifier)处, 根据 IP 包上的 DSCP (DiffServCodingPoint) 字段可以对输入路由器的信息进行分类。将 EF 业务分列出来, 然后, 其经过路由中心传送至路由器出口, 在此进行基于输入链路的调度控制(如图3所示)。最后决定其输出顺序。这种新的结构的最大特点是在 EF 业务类型的内部进行了一次调度处理, 由于这种处理对于其他业务类型及其他路由器是完全独立的, 所以并不增加整个网络的额外开销。

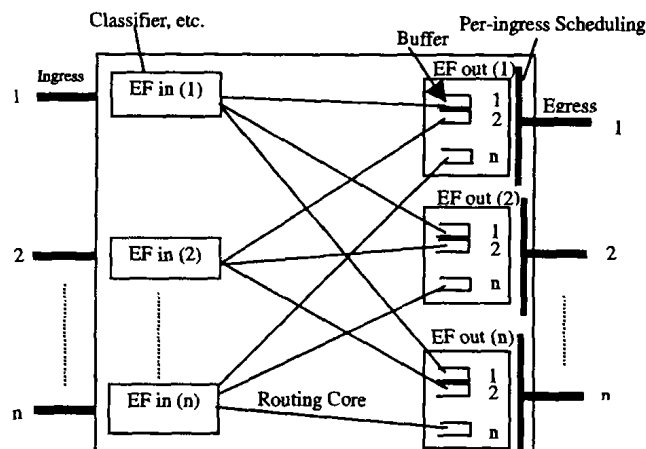


图3 基于输入链路的 EF 路由器

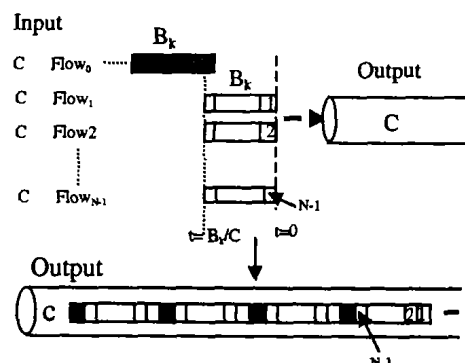


图4 基于输入链路的调度控制

在调度处理方法上, 我们采用的是基于输入链路的调度控制, 具体的调度控制方法可以自由选择。在此我们选择提供公平带宽分配的 WFQ 调度控制算法^[5]。根据输入链路的 EF 业务所占的带宽, 决定资源分配, 进行服务共享。根据包的发送顺序、到达顺序及来自输入链路的包的输出带宽分配等, 决定包的发送顺序。

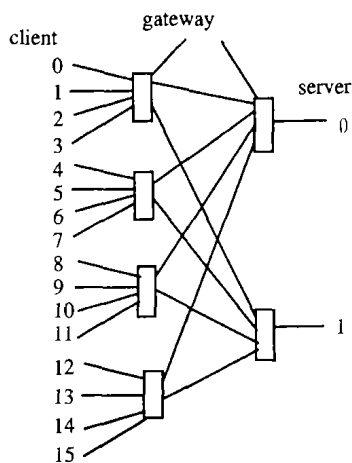


图5 仿真模型的拓扑结构

例如,现有 N 个输入链路,为简单起见,假设每一输入链路对应一个信息流,且输入服务时间分配的比例相同,即,每个输入链路的输入时间分配比例为 $1/N$ 。从 0 到 B_k/C 时刻 (C 为物理带宽, B_k 为每个信息流的突发段长度,假设信息流的突发段长度相同), $flow_0$ 没有数据,在这段时间内,从 $flow_1$ 到 $flow_{N-1}$ 的平均带宽分割为 $C/(N-1)$ 。而在 B_k/C 时刻, $flow_0$ 的包到达,这时从 $flow_0$ 到 $flow_{N-1}$ 的平均带宽分割为 C/N , $flow_0$ 的包输出必须具有 C/N 的带宽保证。根据 WFQ 算法,基于包发送的结束时间的数值大小决定发送顺序,因此,在 $flow_1$ 到 $flow_{N-1}$ 的所有包发完之前,进行了 $flow_0$ 包的发送(如图4所示)。由于 WFQ 的这种方式,使到达时刻晚但发送结束时间早的包也可能进行较早的发送。这样避免了一般 EF 先进先出处理中,等到 $flow_1$ 到 $flow_{N-1}$ 的包发送完毕后再进行 $flow_0$ 的包发送,从而减少了 $flow_0$ 包的等待时间,进一步减少了 $flow_0$ 产生的突发段增长的情况,使延迟进一步减小。这样达到了降低端到端延迟而保证 QoS 的目的。

值得注意的是,这里我们用的 WFQ 调度控制方法是基

于输入链路的。只对 EF 类进行处理,不与其他路由进行信息交换,因而,不增加网络开销。另外,这与 Intserv 中的基于信息流的 WFQ 有基本的不同。即,多个信息流只要来自于同一个输入链路,它们都进行相同的处理。

4 模型仿真与结果分析

采用 OPNET 仿真软件对新型路由结构性能进行分析。仿真模型的拓扑结构如图5所示。图中的 Gateway 为 4×4 路由器。为简单起见,输入的信源都采用 EF 信息流,且假设一个信息流对应一个链路连接。信息流的业务类型为 Http 型或 ftp 型。链路带宽为 1.544Mbps。根据 EF 负载占带宽资源的比例 ρ ,对 EF 包的端到端的最大延迟进行分析。

在仿真模型中, $flow_0$ 从 $client_0$ 发出,经过 $gateway_0$ 、 $gateway_{00}$ 到达 $server_0$; $flow_{4,8,12}$ 分别经过 $gateway_{1,2,3}$ 及 $gateway_{00}$ 到达 $server_0$; 其他 $flow$ 经过两级跳到达 $server_1$ 。 $flow_{0,4,8,12}$ 发送的 EF 流信息类型为 Http,而其他 $flow$ 发送的 EF 流信息类型为 ftp。通过改变 ρ 值测定 $flow_0$ 经过第一次跳和第二次跳时的最大延迟。用 Diffserv 中的一般路由器来取代这种新型路由器,在相同条件下测定 $flow_0$ 的最大延迟并加以比较,结果如图6所示。图6(a)(b)分别为 $flow_0$ 的包经过第一次跳和第二次跳的最大延迟。从图中可以看出,采用新的路由结构降低了包的端到端的最大延迟,使 QoS 得到了改善。特别是在第二次跳时,新路由结构模型中, $flow_0$ 在最大延迟方面有了明显的改善。这说明,在第一次跳时,由于新路由结构对 EF 流进行基于输入链路的 WFQ 调度控制,使后到达路由器的包也有可能提早发送,减少了包的等待时间,使带宽分配更趋于合理化。新路由结构的基于输入链路的调度控制的应用,在第一次跳时使输出的各 EF 流突发段长度减少,这样,在第二次跳时,由于输入路由器流量的突发段长度减小,使包的同期到达和凝聚的机会减少,这样根据第2节中的分析可知,包在此时的等待处理的时间减少,延迟减小;同时,调度控制方法的应用又进一步减少了包的凝聚现象。

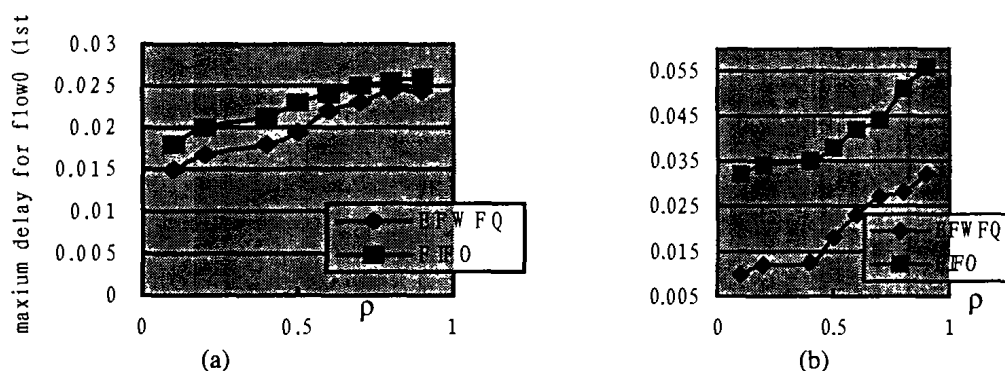


图6 仿真结果

结论 由于网络节点上瞬时出现的各路包的同期到达及其产生的凝聚效果,使 EF 信息流出现突发流量增大、突发段增加、延迟增大的问题。为解决这一问题,使 EF 信息流得到更好的 QoS 保证,针对 EF 流提出了新型基于输入链路调度处理的路由结构。这种结构基于各输入链路进行调度处理,为 EF 流公平地进行带宽分配,同时,根据调度控制参数控制各链路包的发送顺序,避免了突发聚集现象,防止了包延迟上限指数上涨的 QoS 恶化情况。这种方法不在节点间进行控制信息的交换,因此不增加网络的负荷,同时,只对 EF 信息流进行处理,不影响其他类型信息流的处理过程,并不增加节点的复杂度。这种新的路由结构非常适合于跳数多的大规模的 Diffserv 网络结构,达到确保综合服务服务质量的目的。

参考文献

- 1 Braden R, Clark D, et al. Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview. RFC 1633
- 2 Blake S, Black D, Carlson M, et al. An Architecture for Differentiated Services. IETF RFC 2475, Dec. 1998
- 3 ELISA. Specification of traffic handling (Worst case analysis for VLL based on EF PHB). <http://www.coritel.it/~elisa/>
- 4 Jacobson Y, et al. An Expanding Forwarding PHB. IETF RFC 2598, June, 1999
- 5 Parekh A, Gallager R. A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks: The Single-Node Case. IEEE/ACM transaction on networking, 1996, 4(3): 375~385