

DiffServ 性能的仿真评价研究

张丹青, 李名世, 许建东

(厦门大学计算机系, 福建 厦门 361005)



摘要: Internet 越来越多的多媒体实时传输业务对网络服务质量提出了更高的要求。在分析传统的尽力而为服务不足的基础上, 剖析了区分服务的体系结构和工作机制, 并运用 NS2 网络仿真器构建 DiffServ 的仿真模型, 进行性能评价研究。DiffServ 的端到端 QoS 特性难以用精确的数学模型加以刻画, 模拟方法是评价这种服务性能的有效途径。

关键词: IP QoS; DiffServ; RED; 仿真; 性能评价

文章编号: 1004-731X (2004) 12-2880-04

中图分类号: TP 393.1

文献标识码: A

Research on DiffServ Performance Evaluation by Simulation

ZHANG Dan-qing, LI Ming-shi, XU Jian-dong

(Dept. of Computer Science, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

Abstract: Internet real time multimedia communication issues a further challenge to IP QoS. The authors discuss some problems of current network service, and analyze the architecture of DiffServ. We focus on the research into the DiffServ performance evaluation though simulation, and present the results to check DiffServ module versatility in services definition.

Keywords: IP QoS; DiffServ; RED; simulation; performance evaluation

引言

Internet 的迅速发展, 特别是大量实时多媒体业务的出现, 都在不同程度上对网络服务质量 (Quality of Service, QoS) 提出了要求。目前 Internet 正逐步由单一的数据传输网向数据、语音、图像等多媒体信息综合传输网发展, 但是现有的 Internet 仍然只提供传统的基于 FIFO 的尽力而为 (Best-effort, BE) 服务, 无法满足多媒体应用和各种用户在带宽和时延等方面的具体需求。近年来, 提供不同业务 QoS 支持将是 Internet 网络能否成功商用化的一个关键性和挑战性课题。

为了在 IP 网络中提供 QoS 保证, IETF 先后提出了两种体系结构: 集成业务/资源预留 (Intserv/RSVP) 和区分服务 (Differentiated Service, DiffServ)。由于 Intserv/RSVP 要求为每一个单独的流在网络节点上预留资源, 很容易导致路由器资源枯竭, 扩展性差。而 DiffServ 通过采用分组头 DSCP 标记的每一跳转发行为 (Per-Hop-Behavior, PHB) 提供相对的 QoS 保证, 多协议标签交换将三层路由的灵活与二层交换的 QoS 保证及快速紧密结合起来, 并提供显式路由和业务量会聚。由于良好的扩展性和实现的简单性, DiffServ 已成为 IP QoS 首选方式和研究热点。

1 DiffServ 体系结构

DiffServ 体系结构如图 1 所示 DS 域 (DiffServ Domain) 是由一些相邻的 DS 节点构成的集合, 遵循统一的服务提供策略并实现一致的 PHB 组。边界路由器 (Edge Router) 主要实现传输的分类 (Classification) 和流量的调节 (Conditioning), 保存流的状态信息, 根据预定的流规格对进入/离开 DS 域的流进行调节, 使输入/输出流符合预先指定的传输调节协议 (Traffic Conditioning Agreement, TCA), 并在包头标记 DSCP 值, 分类归入行为聚集; 核心路由器 (Core Router) 则实现一组或若干组 PHB, PHB 是根据 DSCP 值所选择的特定调度转发行为的外特性描述。在 DS 域内, 转发节点是按照 PHB 来进行的, 在每一传输段逐段保证 PHB 行为是 DiffServ 的最大特点, 也是区分服务分段保证端到端 QoS 的基础。

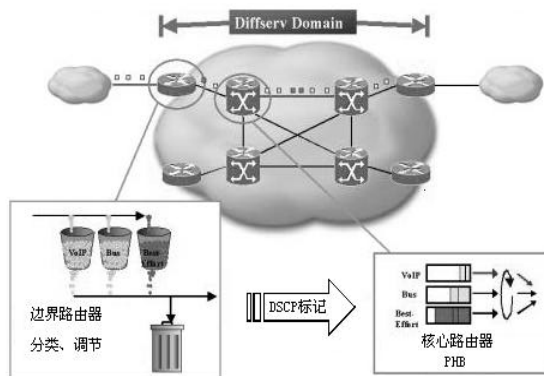


图 1 DiffServ 结构示意图

收稿日期: 2003-09-01 修回日期: 2003-12-30
基金项目: 国家自然科学基金 (60175008); 国家“九七三”信息与高性能软件的子项目 (G199803040803)。
作者简介: 张丹青(1979-), 女, 硕士生, 研究方向为网络性能; 李名世(1947-), 男, 副教授, 网络实验室主任, 研究方向为计算机网络、多媒体技术、计算机控制; 许建东(1976-), 男, 硕士生, 网络安全。

1.1 边界路由器分类标记机制

边界路由器根据 TCA 对流进行分类和调节, 并将其归入某个行为聚集, 标记相应的 DSCP 值, 其逻辑结构如图 2 所示。IP 数据包首先通过分类器进行分类, 而后测量器对包的速率进行测量, 并根据测量的结果控制标记器对数据包头进行 DSCP 标记; 而不满足流量要求的数据包将被丢弃, 之后数据包将通过队列调度机制发送给下一个节点。

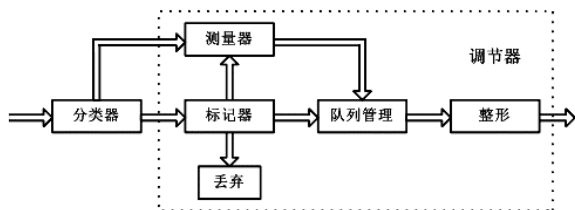


图 2 边界路由器逻辑结构

DiffServ 重新定义了 IPv4 中的服务类型 (Type of Service, ToS) 字节和 IPv6 中的通信类 (Traffic Class, TC) 字节的前 6 位, 标准化为区分服务码点 (Differentiated Services CodePoint, DSCP), 如图 3 所示。默认情况下, 该值为 0, 对应尽力而为服务。通过标记不同的 DSCP 值, 选择相应的转发处理行为 PHB。IETF 标准化了一部分 PHB, 包括尽力而为型 BE (Best Effort) 加速型 EF (Expedited Forwarding) 确保型 AF (Assured Forwarding) 及兼容 IP 优先级的类选择型 CS (Class Selector)。其中, AF PHB 总共定义了 4 个 AF 类: AF1x、AF2x、AF3x 和 AF4x (x=1,2,3), 以提供不同级别的转发保证。

P2	P1	P0	D	T	R	CU	CU
----	----	----	---	---	---	----	----

P2-P0: IP 优先级字段
D: 0-常规时延, 1-低时延
T: 0-常规吞吐量, 1-高吞吐量
R: 0-常规可靠性, 1-高可靠性
CU: 未用, 置成 0

图 3 RFC1349 规定的 ToS 字节

1.2 核心路由器阈值丢弃机制

当业务到达速率超过了队列调度的服务速率时, 开始出现拥塞, 此时就需要触发拥塞避免机制, 给传输协议提供反馈信号以降低发送速率, 减少队列长度。Internet 研究任务署 (IRTF) 通过多年的研究, 得出结论: 旨在解决不同流共享队列占有率的主动反馈问题, 最好的方案应该是统计的随

机发布反馈信号, 其强度是平均队列长度的递增函数。于是提出了一种被称为随机早期丢弃 (RED) 的反馈机制, 主要是为了保持较小的排队长度、减小突发和解决全局同步问题。

RED 将队列的平均长度 $AvgLen$ 作为是否应该触发拥塞避免机制的决定参数, $AvgLen$ 在每一次分组到达时, 都需要重新计算:

$$AvgLen_n = (1-w) \times AvgLen_{n-1} + w \times InstLen_n$$

该公式是基于瞬时队列长度 $InstLen$ 的指数权值滑动平均函数, w 为滑动平均函数的权值。RED 还引入阈值 T_{min} 、 T_{max} 和一个最大的分组丢弃概率 P_{max} , 如图 4 所示。

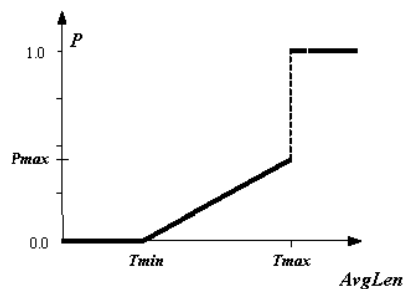


图 4 RED 分组丢弃率

- 若 $AvgLen_n \leq T_{min}$, 则 $P_n = 0$;
- 若 $T_{min} < AvgLen_n < T_{max}$, 则 $P_n = P_{max} (AvgLen_n - T_{min}) / (T_{max} - T_{min})$;
- 若 $AvgLen_n \geq T_{max}$, 则 $P_n = 1$ 。

随机早期丢弃 RED 在队列满之前, 就开始提前触发拥塞标识, 不仅增加了在队列长度变得太高前平滑瞬时拥塞的可能性, 同时也减少了使多个流同时受分组丢弃影响的可能性。

为了更好地实现 AF PHB, DiffServ 核心路由器广泛采用带有权值的随机早期丢弃 (WRED) 机制。AF PHB 总共定义了 4 个 AF 类, 每个 AF 类中, IP 分组被标记成 3 种丢弃优先 (Drop Precedence) DP0、DP1、DP2 之一, 这三种丢弃优先值也常被称为 3 种颜色“绿、黄、红”。WRED 基于所有颜色的分组到达数计算一个平均队长, 然后根据这些颜色的整个分组数变化更新队列长度。WRED 采用多个阈值参数和丢弃概率参数以提供给不同颜色的包, 其参数配置一般分为以下三种方式 (如图 5 所示): (a) 交错方式; (b) 完全重叠; (c) 部分重叠。

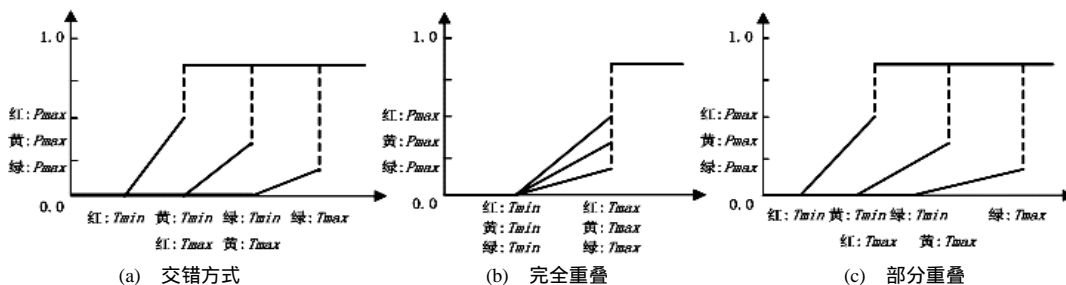


图 5 WRED 分组丢弃率

2 DiffServ 性能的仿真建模

我们采用模拟仿真的方法对 DiffServ 进行性能评价。这是因为,DiffServ 的端到端 QoS 特性难以用精确的数学模型加以刻画,而要实际构建一个完整的实验环境相当困难,故采用仿真的方法进行研究的比较可行的途径。实验中,采用 Lawrence Berkeley nation lab 开发的 NS2 仿真器,定义了一个完整的 DiffServ 网络拓扑模型,如图 6 所示。

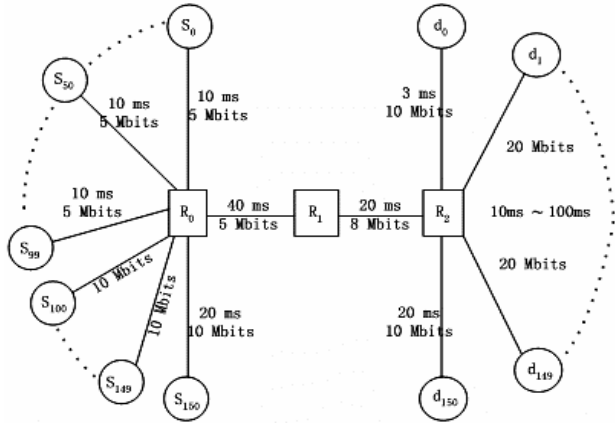


图 6 仿真网络拓扑结构

拓扑结构采用了大多数文献中所采用的“哑铃状”结构,中间只有一条拥塞链路。其中,节点 R0 为边界路由器,对 EF 业务进行漏桶整形,对 AF 业务进行着色标记;节点 R1 为核心路由器,对 EF、AF、BE 业务进行排队调度及拥塞控制。具体参数配置如表 1 所示:(1) 节点 S0~S49 发送 EF 业务至节点 d0,分组优先级别最高,VoIP 流量编解码压缩标准 ITU-T G.723.1,采用音框导向(frame-oriented)处理模式,即将输入的语音信号切成一连串固定长度的音框,每个音框有 240 个数位化的取样值;通信速率测量采用令牌桶(Token Bucket)方案,其中 CIR(Committed Information Rate)为 300 Kbps,CBS(Committed Burst Size)为 10kb,避免了由于竞争其他服务总处于饥饿状态;(2) 在发送节点 S50~S99 以及接收节点 d1~d50 建立 Telnet、FTP 连接,节点 S50~S99 作为 Web Server,节点 d1~d99 作为 Web Client,链路 S50~S99->R0、R2->d1~d99 的单向时延在 [10ms,40ms] 内随机取值;分组丢弃策略采用图 5(a) 所示的 WRED 交错方式,引入多个阈值参数和分组丢弃概率;(3) 干扰流 BE 业务不采用唯一的数据源,为避免同步,数据源的开始发送时间在[0s, 10s]范围内随机取值,分组大小在[64, 1280bytes]

表 1 仿真环境参数配置

PHB	类型	DSCP	带宽	测量	丢弃
EF	VoIP	46	300kbps	Token Bucket	Drop out of profile
A	AF11	Telnet	10	30%	-
	AF12	FTP	12	剩	(10,30,50,70,
F	AF13	HTTP	14	30%	-
			余		0.1,0.3,0.5)
BE	-	0	10%	Token Bucket	Drop out of profile

以 64bytes 为步长变化;通信速率测量采用令牌桶方案,CIR 为 100 Kbps。

3 仿真结果数据分析

图 7 所示为 DiffServ 各业务流的瞬时带宽分配结果,优先级别最高的 EF 业务获得最稳定的带宽保证,300kbps;AF 类 Telnet、FTP、HTTP 业务都分配有一定的带宽,以提供不同的转发保证,Telnet、FTP、HTTP 共同占用 900kbps

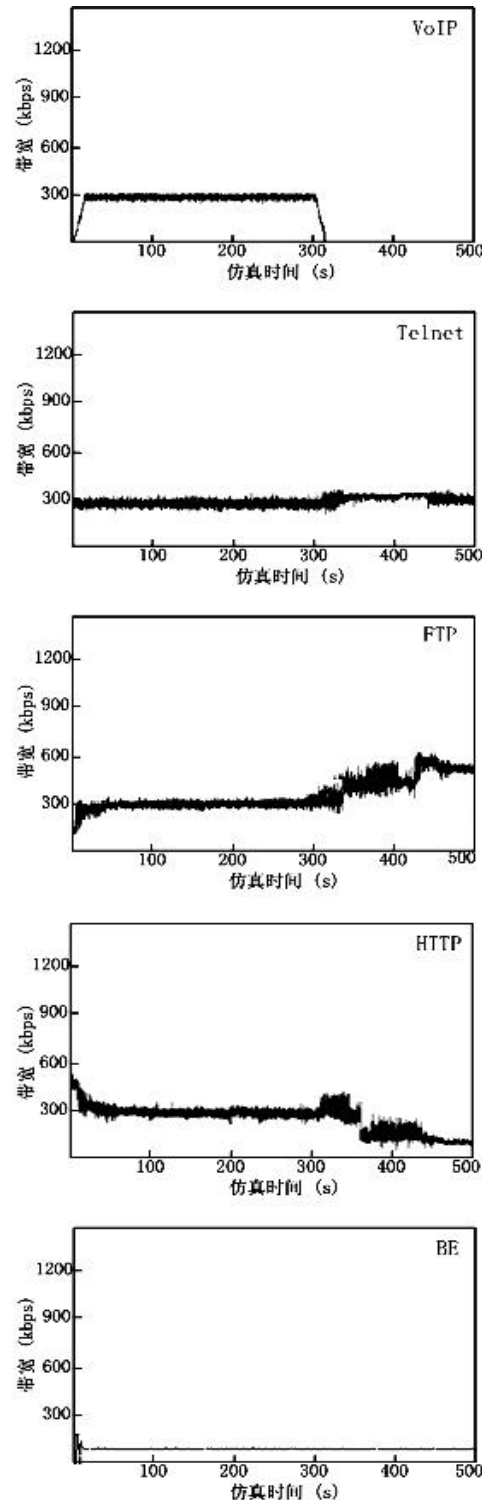


图 7 仿真结果——各业务流的瞬时带宽分配

带宽; 干扰流 BE 业务采用令牌桶方案, 带宽为 100kbps, 带宽分配比例与预期剩余带宽分配比例 30% : 30% : 30% : 10% 基本一致; 注意到, 在临近 400s 区域内, 在优先级别较高的 Telnet 没有占用完整个带宽的情况下, 根据区分服务的原理, 优先级别较高的 FTP 流获得更多的剩余带宽, EF 业务和 Telnet 业务的带宽特性是一条比较平坦的曲线, 而 FTP、HTTP 和 BE 业务的带宽在它们的最小速率附近有一些波动, 这是它们共用 buffer 的结果。

仿真结果端-端时延曲线如图 8 所示, VoIP 保持稳定的低时延, BE 业务则抖动明显, 所得的结果与理论一致; 而 AF 类 Telnet、FTP、HTTP 因为涉及连接-应答动作, 更重要的是其丢包率, 表 3 Model A 所示为 Telnet、FTP、HTTP 业务的丢包率及其平均队长。

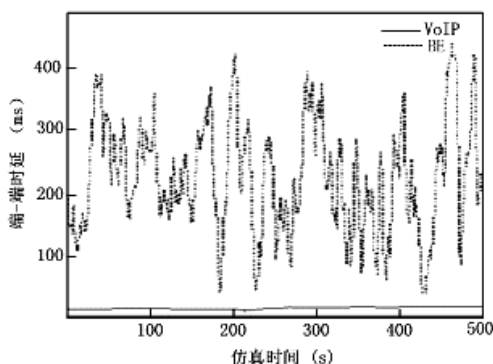


图8 仿真结果 — EF、BE业务的端-端时延曲线

上述实验中, AF 类业务的分组丢弃策略采用图 5 (a) 所示的 WRED 交错方式。为了对比 WRED 三种不同的参数配置方式对 AF PHB 实现性能的影响, 修改实验中 WRED 的参数配置, 如表 2 所示, 模型 A、B、C 分别对应 WRED 的三种参数配置方式: 交错方式、完全重叠、部分重叠。

表 3 列出了 AF 类 Telnet、FTP、HTTP 业务基于不同的 WRED 参数配置方式 (交错方式、完全重叠、部分重叠) 所对应的丢包率及其平均队长。从中比较可以看出, WRED 的交错方式 (Model A) 在拥塞发生时给予 Telnet 流最好的保护, 其 Telnet 丢包率为零, 完全重叠方式 (Model B) 下

表 2 WRED 参数设置

WRED Model	Telnet $P_{max}=0.1$		FTP $P_{max}=0.3$		HTTP $P_{max}=0.5$	
	T_{min}	T_{max}	T_{min}	T_{max}	T_{min}	T_{max}
A	50	70	30	50	10	30
B	10	70	10	70	10	70
C	50	70	30	55	10	35

表 3 仿真结果 — 各 AF PHB 的丢包率

WRED Model	Telnet	FTP	HTTP	
A	丢包率 (%)	0.00	0.03	23.33
	平均队长(packet)	10.4	17.8	26.8
B	丢包率 (%)	2.74	5.61	16.99
	平均队长(packet)	10.5	27.7	45.0
C	丢包率 (%)	0.12	2.54	20.12
	平均队长(packet)	10.4	24.9	33.3

的 Telnet 丢包率最高; 三种方式下 Telnet 的平均排队队长基本一致, 但是由于其与完全重叠方式 (Model B) 所设定的阈值参数最为接近, 故该方式下的 Telnet 丢包率最高; 总体来说, 交错方式 (Model A) 各业务流的丢包率都明显小于完全重叠方式 (Model B) 和部分重叠方式 (Model C), 且能保证较小的排队队长, 而完全重叠 (Model B) 的性能最差。

4 结论

通过仿真分析, 本文主要研究了 DiffServ 中各业务流不同的服务级别设置对其性能的影响, 以及丢弃机制 WRED 不同的参数配置方式对 AF PHB 实现性能的影响, 以验证 DiffServ 在保证多媒体应用和各种用户 QoS 上的多功能性, 并为 DiffServ 工作机制的选择和参数的配置提供一系列定量参考。主要结论如下: DiffServ 在对会聚流进行分类的基础上, 通过业务量调节和分组排队转发, 提供一定程度的有区别的 QoS 保证, 各业务流按 DSCP 标记等条件分配链路带宽, IP 优先级值的增大可使得该业务流获得比其他业务流高的事实优先级, 获得较稳定的低时延。对于解决不同流共享队列占有率的主动反馈问题, WRED 机制能保持较小的排队长度以及减小突发, 在其参数配置方式中, 以交错方式对 AF PHB 实现性能的影响最好, 而完全重叠方式最差。

参考文献:

- [1] 林闯, 单志广, 等. Internet 区分服务及其几个热点问题的研究 [J]. 计算机学报, 2000, 23(4): 419-433.
- [2] Srinivas Vegesna. IP Quality of Service [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- [3] 隆克平, 白刚, 等. 区分服务结构及其 TCP 性能分析 [J]. 电子学报, 2001, 29 (11): 1540-1548.
- [4] 林宇, 彭泳, 等. 支持区分服务的高速路由器仿真模型及结果 [J]. 北京邮电大学学报, 2002, 25(2): 108-112.
- [5] 李名世, 王宇翔, 张丹青等. 计算机网络实验教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [6] N Seddigh, B Nandy. An Experimental Study of Buffer Management Scheme for DiffServ Assured Forwarding PHB [A]. IC3C' 2000 [C], LasVegas, 2000.
- [7] LinW, ZhengR, HouJ. How to Make Assured Service More Assured [A]. Proceedings of ICNP [C], Toronto, Canada, 1999: 182-191.
- [8] Dovolis C, Stiliadis D, Ramanathan P. Proportional differentiated services: Delay differentiation and packet scheduling [A]. Proc SIGCOMM [C]. Boston, MA: IEEE Press, 1999.
- [9] B Nandy, N Seddigh, P Pieda. Intelligent Traffic Conditioners for Assured Forwarding Based Differentiated Service Networks [C]. IFIP High Performance Networking 2000 Conference (HPN 2000), 2000.
- [10] Jitae S, Jin-Cveong K, Jong W K. Dynamic QoS mapping control for streaming video in relative service differentiation networks [J]. European Transactions on Telecommunications. 2001.
- [11] J Heinanen, F Baker, W Weiss. Assured Forwarding PHB group RFC2597 [EB/OL]. <http://retep.org/retep/2597-2/rfc.do>.
- [12] Distributed Random Early Detection, Reports of Cisco [EB/OL]. <http://www.cisco.com>.
- [13] The ns Manual [EB/OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.