

# 基于 DiffServ 的定价方法研究

尹泽明, 任 燕, 王红燧, 杨放春

(北京邮电大学国家重点实验室交换与智能控制研究中心, 北京 100876)

**摘 要:** 本文针对 IETF 提出的 DiffServ 机制, 提出了一个融合接入价格、使用价格、拥塞价格的多价格体系和基于用户效用的一个有效、实时的定价方法. 该方法能对不同服务等级进行差异定价, 对同一等级内的用户流量采用流量整形中的令牌桶方法进行拥塞计费, 从而促使用户根据其实际应用需求合理选择服务等级; 同时该方法能保证在突发流量时, 用户可以根据价格调整发送速率或服务等级从而最大化其效用; 另外, ISP 可以根据当前资源分配情况, 通过适当价格干预, 引导各等级用户有序分布, 形成一个以供需关系为主、兼具宏观调控的价格体系, 使网络被高效利用. 最后, 模拟实验验证了该方法的公平性、有效性和灵活性.

**关键词:** DiffServ; 实时计费; 服务类型计费; 拥塞计费; 用户效用; 流量整形

**中图分类号:** TN919 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 10 1768-05

## A Pricing Mechanism for DiffServ Network

YIN Ze-ming, REN Yan, WANG Hong-man, YANG Fang-chun

(State Key Laboratory of Networking and Switching, Beijing University of Post & Telecommunication, Beijing 100876, China)

**Abstract:** According to the DiffServ mechanism in IETF, we present an integrated pricing architecture consisted of access price, usage price and congestion price, which lead to an effective and real time pricing method. With the method, different charging rates are applied to different service levels, and token based congestion pricing policy works when sending rate exceeds what is specified in SLA contract, which urges customers to select suitable service level. Furthermore, customers can alternate service levels to maximize utilities when their burst sending rates lead to raised charging rates. Besides those, ISP can interfere to help distribute customers among different levels. Such an integrated pricing mechanism in which supply and demand dominate, and plan assists guarantees the network to be utilized effectively. Simulation verifies the equitableness, effectiveness and flexibility.

**Key words:** diffServ; real time charging; service level charging; congestion charging; user utility; traffic shaping

## 1 引言

传统 IP 网络采用“尽力而为”的服务方式, 当业务量突发导致网络拥塞时, 就会产生数据包丢失、时延和抖动增大等现象, 导致业务服务质量(QoS)的降低. IETF 提出的区分服务(DiffServ)机制旨在分组网络上以简单有效的方式提供服务质量和等级区分. 基本思想如下: 网络提供不同的服务等级, 使用网络的用户根据需求选择服务等级, 网络中的路由器会根据用户发送的数据包头中服务类型信息(ToS)来区别处理各类流, 其高优先级的服务所获得的时延和丢包率相对要小. 同时 DiffServ 具有很好的扩展性, 因此被认为是未来主要的 QoS 体系.

在具有 QoS 保障的多业务网络中, 需要有不同于目前 IP 网络采用的按流量计费, 或者更简单的根据接入速率包月、不限流量的单一计费(flat fee pricing)的机制, 这种单一计费方式容易造成网络资源的浪费、增高拥塞发生率, 只能为 ISP 回收

成本, 无法利用价格杠杆调节用户使用网络的行为. 在 DiffServ 中应该对不同 QoS 等级的业务采取差异定价以让用户获得不同的服务质量; DiffServ 定价策略要解决的另一个重要问题是公平性问题, 不公平的定价策略可能会引发用户不正确使用网络的行为(如实际使用量大大超出 SLA 中规定等), 从而影响网络运营的效率. 因此如何给 DiffServ 中不同服务等级设定不同费率, 如何根据网络状况合理计费, 如何通过定价机制保证不同服务等级的 QoS, 如何在用户需求和网络资源间建立供求关系并利用价格杠杆来指导用户行为和控制资源分配及利用, 从而优化网络状况和提高用户满意度, 是目前有待研究的课题.

本文后续部分组织如下: 第 2 部分总结了当前定价的相关研究工作和成果; 第 3 部分详细介绍了我们提出的一种定价机制; 第 4 部分给出了模拟实验结果和有关后续工作的讨论, 第 5 部分给出结论.

## 2 相关研究

目前定价方法的研究主要包括两大类: (1) 基于拍卖机制<sup>[7, 10]</sup>, Jun Shu 提出的 SPAC (Smart Pay Admission Control) 机制<sup>[7]</sup>中, 用户提出定制某服务等级所愿支付的价格 (bid), 网络按照用户出价排序, 并划分等级及分配带宽, 但该机制中用户的竞价没有考虑实际带宽需求, 单位带宽没有统一价格, 增加了用户出价决策的难度; 并且有多少用户就有多少出价, 价格数目与用户流数目相关, 扩展性很差难于实施. (2) 基于用户效用模型<sup>[1, 6, 8]</sup>, 这种方法引入用户效用等因素, 利用供求关系、价格调节机制等微观经济学理论寻找用户效用和网络性能的结合点, 该方法可以将用户所获服务质量与网络资源利用率统一考虑, 从而有效地避免网络拥塞, 提高资源利用率. 本文的计费机制采用了效用模型来衡量用户满意度.

目前国内几乎没有对 DiffServ 网络定价的研究. Xin. Wang 在文献 [1] 中给出的定价策略只在业务量超过拥塞门限时才通过拥塞价格来消除拥塞, 不能很好地预防拥塞的发生, 同时其定价方案缺乏对网络资源的规划, 网络侧未能对业务量进行引导和控制; Ganesh 在文献 [8] 中给出了一个在不同应用的环境下, 用户单方面通过价格预测、反馈机制来调整使用网络的行为模型, 以此达到资源分配的均衡状态, 该模型忽略了用户实际的需求, 且其反馈机制未能与效用模型很好地结合, 该算法的收敛过程耗时较长, 且此间用户调节使用网络行为的波动很大. 本文从一个适用性很强的定价模型出发, 在一个统一的计费框架下, 通过令牌桶机制以及宏观调控机制来避免 DiffServ 网络的拥塞, 有效、公平地分配资源. 利用该模型还可以求解出不同服务等级用户的各种使用网络的行为所应支付的价格. 同时我们给出了模型中各参数的物理解释.

## 3 基于效用公平性的定价机制

针对 DiffServ 的定价问题, 我们提出的定价方法的主要思想是: I) 对不同的服务等级实现差异化定价; II) 对所有等级用户都实行拥塞定价; III) 用户在使用网络过程中会以最大化其效用为目标来约束其使用网络的行为. 因此我们的定价机制主要包括下面的工作: (1) 对各种服务类型定价; (2) 实现动态拥塞定价; (3) 总费用计算; (4) 实现用户效用最大化. 本文对计费体系及定价方法的研究基于如下的假设: ①用户使用网络的行为是理性的, 即用户会以最大化其效用为目标来使用网络; ②用户在使用网络的过程中会实时地根据价格变化来指导其使用网络的行为.

### (1) 服务等级定价:

服务类型定价主要用于为 DiffServ 的不同服务等级进行差异化定价, 用户需要交纳的费用包括接入费用和使用费用.

接入费用: DiffServ 为不同的服务等级定义一个最大支持资源, 用最大带宽 ( $W_{\max}^j$ ) 和最大队列长度 ( $Q_{\max}^j$ ) 表示, 另外 DiffServ 支持用户与 ISP 之间进行 SLA 协商, SLA 参数主要包括流量描述 (例如最大带宽, 平均带宽) 以及时延、丢包率等性能参数, 每个服务等级都有一个最大使用资源的限制, 因此每个服务等级能接纳的应用数是有限的, 最大应用数用  $N^j$  表

示, 在可接纳用户数一定的情况下, 某一用户的接入就必定限制了其他用户应用的接入, 因此定制该服务等级的用户即使不使用网络资源, 也应该为其获得的资源保证支付该接入费用, 不同等级服务的用户应该交纳不同的接入费用.

在 DiffServ 机制中, 当高优先服务等级的资源闲置时, 低服务等级的用户可以通过调度机制使用它, 该规则适用于从最高业务类 EF (Expedited Forwarding) 到最低业务类 BE (Best Effort) 的所有业务类. 目前 BE 类的 IP 网络资源长期处于资源匮乏状态, 因此有限的资源一般均会被使用掉, 接入价格实质上体现为高服务等级的资源被低等级用户使用所造成的使用价格差异. 同时为弥补 ISP 的经济损失, 各服务等级的接入价格应与其使用价格和其下一服务等级使用价格之差成正比; 定义服务等级的接入费用为保证单位带宽所耗费的费用, 假设服务等级  $j$  ( $j \geq 1$ ) 的单位带宽的使用费用为  $P_u^j$ , 则单位接入价格  $P_h^j$  的表达式为:

$$\begin{cases} P_h^j = \lambda (P_u^j - P_u^{j-1}), j > 1 \\ P_h^j = \lambda \cdot P_u^j, j = 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中  $\lambda$  是服务等级  $j$  接入费用的动态调节系数; ISP 可以根据不同用户等级的资源分配状况调节  $\lambda$  来发挥宏观调控作用. 当某等级供小于求时增大  $\lambda$ , 当供过于求时减小  $\lambda$  来影响用户使用网络的行为, 使用户均衡分布在不同等级中, 从而保证网络运行的稳定和 ISP 的利益最大化.

使用费用: 处于不同服务等级的用户除了支付接入费用之外, 还要支付相应的使用费用  $P_u^j$ , 单位使用费用用单位时间使用该服务等级单位带宽应付的费用来表示, 使用费用依赖于应用所处的服务等级与使用量.

DiffServ 通过控制服务等级的最大负荷来控制业务类的水平<sup>[11]</sup>, 业务类等级越高, 最大负荷越低, 提供给用户的 QoS 水平越高. 若不考虑 DiffServ 的其他资源的因素, 对 ISP 来说, 假设创建和维护相等的带宽要求产生相等的利润, 也就是要收相同的费用; 设业务提供商期望单位带宽在单位时间内要收的费用为  $K^j$ , 正如前面已提到每个服务等级所分配的最大带宽为  $W_{\max}^j$ , 该服务等级接受的最大业务应用数为  $N^j$ , 该等级应用的平均带宽为  $x^j$  则该等级的最大带宽要收取的总费用由最大业务应用平均负担, 则服务等级  $j$  的使用价格  $P_u^j$  定义为:

$$P_u^j = K^j * W_{\max}^j / N^j x^j \quad (2)$$

### (2) 动态拥塞调节:

若 DiffServ 网络中的用户都按照其 SLA 中的流量规约来使用网络, 网络性能无疑会得到保障. 然而下列情况可能会对网络造成影响: I) 用户有突发数据的需求; II) 用户恶意使用网络的行为. 上述情况可能会导致网络的不稳定状态, 因此需要定义一个可动态调节的价格来调整用户发送数据的行为, 使网络达到稳定, 否则会导致网络拥塞甚至崩溃. 本文讨论的动态拥塞调节就是一种通过定价手段来防止避免网络拥塞的机制.

DiffServ 网络中, 在网络边缘处将流量进行等级划分, 通过更改 IP 包头中的服务类型域来标记, 区分该流量所处的服

务等级. 我们提出的计费体系正是基于这样的框架, 采用流量整形中令牌桶(Token Bucket)机制来避免拥塞. 在该机制中, ISP 为不同等级的用户应用设置不同类型的令牌桶(通过不同的参数来体现, 例如令牌产生速率  $\rho$ , 令牌桶容量  $C$ ) 来管理不同等级用户的业务流量(令牌桶参数与 SLA 中参数的具体映射规则在此不给予详细解释).

本质上讲, 令牌桶机制允许用户应用有一定程度的突发流量, 但是不得超过某一最大时间限制. 就一个令牌产生速率  $\rho$  和缓存大小  $C$  的令牌桶而言, 我们可以计算出用户以统计意义下的突发速率  $\bar{R}(\bar{R} > \rho)$  发送数据的最大可持续时间  $T$ , 表达为:  $\rho * T + C = \bar{R} * T$ , 由此推导出  $T = C / (\bar{R} - \rho)$ . 应用的分组到达其对应的分组标识器(Packet Discriminator)时, 其首先获取用户 SLA 信息, 然后根据获得的 SLA 签约信息对分组进行标识, 所有分组都将被发送, 获得令牌后被发送的分组属于符合 SLA 流量规约的(in Profile)而无需支付拥塞费用, 未获得令牌的分组属于超出 SLA 规约的(Out Profile), 这些分组可能会造成网络拥塞, 因此要付拥塞费用. 我们的计费体系结构如图 1 所示:

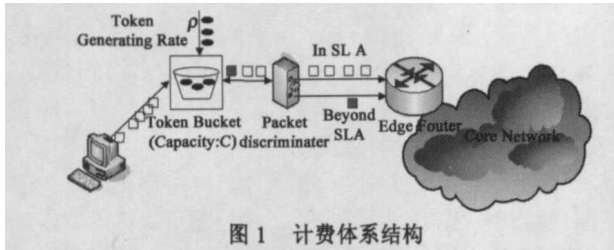


图 1 计费体系结构

对于用户的超出 SLA 中流量规约部分的流量, 要另外收拥塞费用:

$$P_c^j = P_u^j + \delta_j(D_j, S_j) \quad (3)$$

其中  $D_j$  表示该等级用户带宽的总需求,  $S_j$  代表该等级所拥有的网络资源,  $\delta_j$  是  $D_j, S_j$  的函数. 文献[4, 5]中的研究指出随着链路利用率的增高, 分组的平均延迟急剧增大, 从而用户流量的增加对拥塞费用造成的影响急剧增大, 可以表示为

$$\frac{\partial P_c^j}{\partial R^j} > 0, \quad \frac{\partial^2 P_c^j}{\partial^2 R^j} > 0$$

这里我们给出一种符合该条件的拥塞价格函数:

$$P_c^j(R^j) = P_u^j + (e^{R^j - R_T} - 1) \cdot P_u^j, \text{ if } R^j \geq R_T \quad (4)$$

其中  $R_T$  表示 SLA 中允许用户发送的最大速率, 若用户速率  $R^j$  大于  $R_T$ , 则拥塞价格将在原来该等级正常价格之上随  $R^j$  的增大而急剧增大.

### (3) 费用计算:

基于上面 DiffServ 定价理论的讨论, 在我们这种价格体系, 等级  $j$  上用户使用业务应该付的单位费用为:

$$P^j = \begin{cases} P_h^j + P_u^j & \text{if } (R^j < R_T) \\ P_h^j + P_u^j + P_c^j & \text{if } (R^j \geq R_T) \end{cases} \quad (5)$$

### (4) 用户效用最大化

在动态调节的计费体系中, 用户会自发地在预算范围内根据网络反馈的价格调节其的发送速率或者服务要求, 从而最大化其使用网络所获得的效用. 用户效用目前被认为是衡量用户对网络提供的服务满意程度的合理指标<sup>[6]</sup>. 一般地, 用

户期望在预算开销内获得最大效用. 下面我们将考虑用户流量超过 SLA 流量规约时, 用户如何根据效用模型调整其行为, 确定最优发送速率, 从而最大化其效用的过程.

在服务等级上, 我们考虑一组用户, 其标识为  $i = 1, \dots, n$ , 用户  $i$  在发送速率为  $R^j$  时所获得的净效用函数表示为:

$$J(R^j) = U(R^j) - K_d^j d R^j - P^j R^j \quad (6)$$

其中  $U(R^j)$  表示服务等级为  $j$  的用户  $i$  在发送速率为  $R^j$  时所获得的效用,  $K_d^j$  代表服务等级为  $j$  的用户对时延的敏感系数,  $d$  是该服务等级用户应用的平均时延. 用户发送数据的行为是非合作的行为, 即其只能根据局部知识(自身的效用函数), 单方调节  $R^j$ , 从而使净效用函数最大化, 表示为下式:

$$\begin{aligned} \text{Max}(U(R^j) - K_d^j d R^j - P^j R^j) \\ \text{s.t. } P^j R^j < b \end{aligned} \quad (7)$$

最优化的一阶条件为

$$\frac{\partial U}{\partial R^j} = K_d^j d + P^j + \frac{\partial P^j}{\partial R^j} R^j \quad (8)$$

用户增加发送速率有正负两方面的效应, 正效应是  $\partial U / \partial R^j$ , 负效应是这个分组使得其待发送分组的可靠性降低. 同时用户使用网络所获得的边际效用也呈递减趋势, 因而有

$$\frac{\partial U}{\partial R^j} > 0, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial^2 R^j} < 0$$

Shenker<sup>[9]</sup>系统地研究了网络上业务流的效用函数, 认为 Internet 所承载的绝大多数业务流符合这个假定. 文献[1, 3]的研究指出用户通常有最小带宽需求, 若不能满足该需求, 用户会终止其应用. 因此我们可以将用户的效用函数表示为:

$$U(R^j) = U_0 + K_w \log \frac{R^j}{R_{\min}} \quad (9)$$

其中,  $U_0$  是满足用户最小带宽需求时用户的效应值,  $K_w$  为调节系数, 表示效用函数对带宽的敏感度. 由式(8)(9)知用户的最优化的一阶条件为

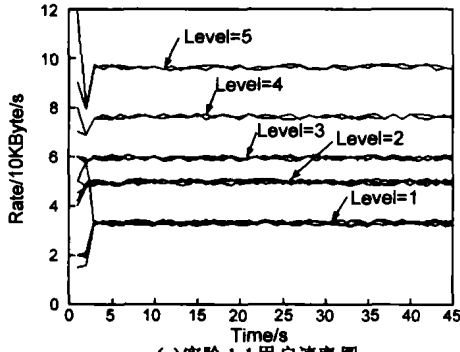
$$\frac{K_w}{R^j} = K_d^j d + P^j + \frac{\partial P^j}{\partial R^j} R^j \quad \text{s.t. } P^j R^j < b \quad (10)$$

通过式(5)和(10), 用户根据反馈的拥塞价格确定其最优发送速率, 通过调节发送速率以使效用最大化; 对带宽、时延有新的需求的用户可以通过支付额外的拥塞费用来获得更多的资源和更好的服务质量; 若所付拥塞费用价格超过其在订购更高服务等级时以现有行为使用网络所要支付的价格时, 也可以通过动态 SLA 机制来重新选择服务等级, 在不超过用户预算的情况下, 签订反映其实际网络需求的流量规约(参见模拟部分实验 2). 用户调整服务等级的行为可能会导致某一等级用户数量增多, 而在一个等级可容纳用户数量有限的状况下, ISP 可根据该等级的供求关系, 宏观调控该等级的接入费用(通过调节(1)中的  $\lambda$  系数)控制该等级接入用户数, 以此保证该服务等级的 QoS, 从而使网络整体状况保持稳定.

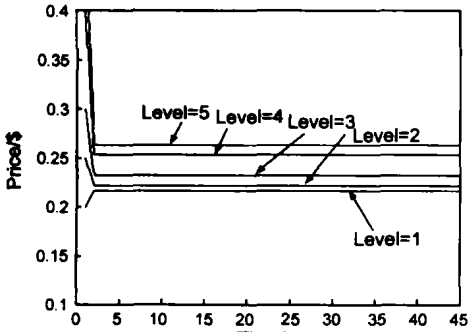
## 4 模拟实验

我们通过实验来检验前面定价模型的有效性. 我们进行了实验 1, 2, 3, 在这 3 个实验中都使用基于式(5)的费用函数, 同时假设用户效用都遵守基于式(9)的效用函数. 实验 1 旨在

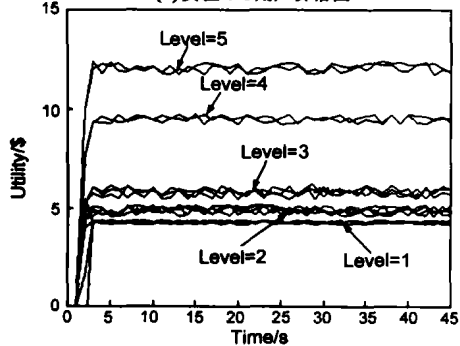
证明各等级用户在没有突发数据的情况下, 该定价模型约束及控制用户使用网络行为的有效性. 实验 2 旨在证明用户有突发数据的需求时, 该定价模型约束用户使用网络行为的合理性、公平性以及方便用户自动地调整服务等级的灵活性. 实验 3 旨在证明该定价体系指导规划资源方面的有效性. 整个实验中 5 个等级用户在 SLA 规约中定义的速率值为 [8 10, 6 8, 5 6, 4 5, 2 4] (等级 5 为最高服务等级, 等级 1 为最低).



(a) 实验 1-1 用户速率图



(b) 实验 1-1 用户价格图

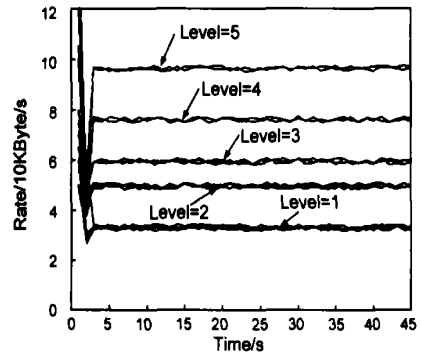


(c) 实验 1-1 用户效用图

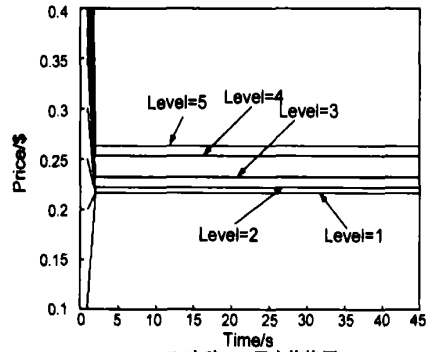
图 2

在实验 1 中, 我们进行了多组实验, 在每组实验中, 我们更改初始时刻用户使用网络的行为. 本文中我们给出两组实验结果以便对比, 在第一组实验的初始设置中, 各等级用户的发送速率无规则地散布在较大范围内; 在第二组实验的初始设置中, 将各等级用户的发送速率都设置得非常高, 即用户违反 SLA 规约使用网络的情况. 图 2 (a) 和图 3 (a) 的对比显示同一等级内的用户使用网络的行为很快趋向一致, 并且在没有突发需求的情况下将一直保持稳定. 我们还考察了该定价体系对初始价格设置的鲁棒性, 图 2 (b) 和图 3 (b) 的对比可以看出不同的初始价格也会很快收敛到 SLA 中所规定的价格.

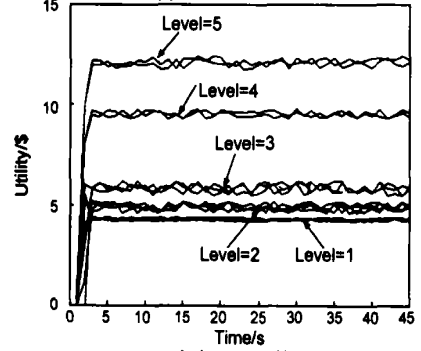
图 2 (c) 和 3 (c) 显示了用户效用的变化情况, 用户效用随着其调节使用网络的行为而迅速上升, 并稳定在效用的最大值附近. 在其他组实验中, 发送速率、价格、效用也都呈相同趋势.



(a) 实验 1-2 用户速率图



(b) 实验 1-2 用户价格图



(c) 实验 1-2 用户效用图

图 3

随后进行了实验 2, 实验 2 中我们模拟了用户突发数据的行为, 综合考虑用户突发数据的需求和效用最大化两方面的问题, 目的是为了验证本定价方法满足用户根据实际需要来主动改变服务等级的需求和该定价体系能避免用户过度集中于某等级的现象从而能保证资源得到有效利用的情况. 图 4 (a) 描述了一个用户逐渐增大其发送速率的场景, 用户原处于等级 2, 在 40s 处有突发数据的需求, 由于其在 40s 以前发送数据一直未超过 SLA 规约中的最大速率, 因此在令牌桶中留有一定的令牌, 因此在其突发开始时, 并没有立即对其进行拥塞计费, 在 59s 令牌桶中令牌用完而开始对其拥塞计费, 且计费价格已经开始高于其处在服务等级 3 的价格, 固更改为 3 级 (如图 4 (b) 所示), 很快发现在等级 3 以此速率发送数据仍要付拥塞费用, 且价格超过其处于等级 4 的价格, 于是又更改为 4 级, 后面过程类似, 然后其又在有更高突发数据的要求

下将等级改为最高级 5 级. 用户及时更改服务等级, 所以没有支付过多的拥塞费用, 从而保证了其效用不断上升. 同时在有效限制用户过度使用网络行为的同时达到了用户和 ISP 的双赢.

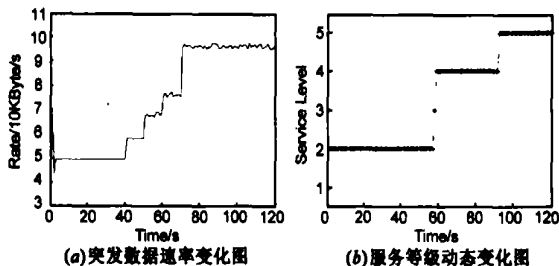


图 4

实验 3 中我们考察了该体系对合理分配资源的有效性, 这种允许用户动态更改等级的行为可能导致过多用户集中于某个等级而影响资源的利用率, 在本价格体系中将通过调节式(1)中的参数  $\lambda$  来调整各等级的接入价格从而调节各等级用户的集中程度. 实验 3 证明了此定价体系可以使各等级负载达到较均衡状态, 关于如何调节参数  $\lambda$  来使各等级负载达到最合理配置, 本文留待在以后的研究工作中进行.

## 5 结束语

本文针对 DiffServ 机制中不同等级间的性能差异, 提出了等级间差异定价方法, 能够很好地支持差异化服务; 同时, 该方法还能够有效地区别对待用户由于突发需求和恶意使用网络的行为, 即允许用户一定程度的突发需求, 对用户恶意违约的行为会收取额外的拥塞费用. 这种差异化定价及拥塞定价方法可以广泛应用于其他提供差异化服务的场景. 本定价机制的实施方便易行, 其对用户行为的控制和监督在网络边缘进行, 从而减少核心网络的负担, 在合理计费的同时有效避免了网络拥塞. 虽然该模型所基于的用户根据网络反馈的价格来实时、连续地调整其使用网络行为的假设很难实现, 但通过设置调整周期、门限值等方法来指导用户调整使用网络的行为则是一种可行的方法.

本文通过引入效用指标来研究定价方法, 综合考虑了用户行为和网络行为两方面因素, 最后通过价格将两者结合起来, 从而达到用户效用和网络效用之间的均衡. 这种将用户使用网络行为映射为普通消费行为的方法十分符合用户和 ISP 的需要, 对于指导用户约束其自身使用网络行为和指导 ISP 规划网络资源以提高资源利用率具有重要意义.

该方法已经应用于“下一代网络开放业务支撑环境的研究”及“开放式综合业务支撑网络体系结构的研究”项目中.

## 参考文献:

- [1] X Wang, et al. Pricing network resources for adaptive applications in a differentiated services network [A]. In Proc IEEE INFOCOM' 2001 [C]. USA: Anchorae Press, 2001. 943- 952.
- [2] C Corcoubetis, et al. Managing and pricing service level agree-

ments for differentiated services [A]. In Proc IWQoS' 99 [C]. London: UCL, 1999. 165- 173.

- [3] W A, M A Sasse. Evaluating audio and video quality in low-cost multimedia conferencing systems [J]. Interacting with Computers, 1996, 8(3): 255- 275.
- [4] W Stalling. TCP/IP and ATM Design Principles [M]. Prentice Hall, New Jersey, 1998.
- [5] A Odlyzko. The economics of the Internet: Utility, utilization, and quality of service [R]. Technical report, AT&T Labs Research, 1998.
- [6] 魏蛟龙, 张弛. Internet 拥塞控制和资源分配重的对策论分析框架 [J]. 电子学报, 2003, 31(10): 1452- 1455. Wei Jiaolong, Zhang Chi. A game theoretical framework for congestion control and resource allocation in the internet [J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(10): 1452 - 1455. (in Chinese)
- [7] J Shu, P Varaiya. Pricing network services [A]. In Proc IEEE INFOCOM' 2003 [C]. USA: Anchorage Press, 2003. 1221 - 1230.
- [8] A Ganesh, K Laevens. Congestion pricing and user adaptation [A]. In Proc IEEE INFOCOM' 2001 [C]. USA: Anchorage Press, 2001. 959- 965.
- [9] S Shenker. Fundamental design issues for the future Internet [J]. IEEE JSAC, 1995, 13(7): 1176- 1188.
- [10] 魏蛟龙, 张弛. 基于拍卖的网络带宽分配方法的研究 [J]. 电子学报, 2003, 31(6): 891- 894. Wei Jiaolong, Zhang Chi. Research on auction-based bandwidth allocation for computer networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(6): 891- 894. (in Chinese)

## 作者简介:



尹泽明 男, 1978 年生于黑龙江萝北县. 北京邮电大学计算机学院博士研究生, 主要研究领域为下一代网络服务质量、业务提供理论.



任燕 女, 1981 年生于山东威海, 硕士, 主要研究领域为 IP 网络服务质量、业务提供技术、计费方法及计费系统等.

E-mail: renyan\_bupt@163.com