

# 优化的 IP-DiffServ 动态资源定价机制\*

张晋豫<sup>1+</sup>, 孟洛明<sup>1</sup>, 邱雪松<sup>1</sup>, 关富英<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(北京邮电大学 程控交换技术与通讯网国家重点实验室,北京 100876)

<sup>2</sup>(北京师范大学 系统科学系,北京 100875)

## An Optimal Adaptive Resource Pricing Mechanism for IP-DiffServ Network

ZHANG Jin-Yu<sup>1+</sup>, MENG Luo-Ming<sup>1</sup>, QIU Xue-Song<sup>1</sup>, GUAN Fu-Ying<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(National Laboratory of Switching Technology and Telecommunication Networks, Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876, China)

<sup>2</sup>(Department of System Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-62645407, E-mail: jy Zhang@metarnet.com, http://www.bupt.edu.cn

Received 2004-02-09; Accepted 2004-05-08

Zhang JY, Meng LM, Qiu XS, Guan FY. An optimal adaptive resource pricing mechanism for IP-DiffServ network. *Journal of Software*, 2005,16(8):1456-1464. DOI: 10.1360/jos161456

**Abstract:** After referring to the IP-DiffServ adaptive pricing mechanism of NSF CAREER, this paper presents an optimal adaptive resource pricing mechanism on the base of market and plan. Based on the service plan and service layout, it prices the service class by providing the users more performances with lower cost and by making ISP win the most benefits. While calculating user perceived benefit, the burden factor is taken into account, then it can lead to an orderly distributed traffic according to the service plan. Experimental results indicate that the improvement to the value evaluation formula of service class of NSF CARRER is reasonable and effective.

**Key words:** DiffServ; adaptively pricing; service plan; resource layout; congestion control

**摘要:** 在参考了美国国家基金会(NSF)的 CAREER 提出的 IP-DiffServ 的动态定价机制后,提出了一个以市场和计划为基础的优化动态定价机制.该机制以业务计划和资源规划为基础,从实现用户的最大性能价格比和 ISP 的最大利益出发实现了对业务类的定价,在计算用户可感觉到的利益时,考虑了负荷因素,从而可以引导业务量按照业务计划有序分布.仿真实验证明了它对 NSF CAREER 的业务类价值评估公式进行的改进是合理而有效的.

**关键词:** 差分服务;动态定价;业务计划;资源规划;拥塞控制

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

资源定价是计费的基础,在 IP-DiffServ 网络中,资源的使用形式主要为业务类,因此,资源定价问题主要为业务定价问题.考虑到市场因素的影响,价格应随市场的变化而变化,因此,定价机制应该是动态的.一个好的动态定价机制不但可以使业务类始终保持良好的性能价格比,以吸引更多的用户业务选用它,而且可以通过价格

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.60202003, 90204002 (国家自然科学基金)

作者简介: 张晋豫(1967 - ),男,河南洛阳人,博士,主要研究领域为网络管理;孟洛明(1955 - ),男,教授,博士生导师,主要研究领域为网络管理;邱雪松(1973 - ),男,博士,副教授,主要研究领域为网络管理;关富英(1978 - ),女,硕士,主要研究领域为计算机应用.

杠杆来很好地控制业务量在不同业务类之间的分布,从而降低拥塞概率,提高网络的服务质量.

美国国家基金会(NSF)的 CAREER<sup>[1-5]</sup>提出了一个 IP-DiffServ 的动态定价机制.它从实现用户的最大性能价格比和 ISP(internet service provider)的最大利益出发实现了对业务类的双重优化定价,使价格建立在比较合理的基础上,但它有以下缺点:它的价格形成和资源的指配只依赖于市场的支付情况,缺乏对网络资源的规划;它只在某一个业务类的业务量超过拥塞门限时才通过不断上涨的拥塞价格来调节,缺乏对业务量的计划引导和控制;它在计算用户可感觉到的利益时,只考虑了性能因素,缺乏对负荷因素的考虑;它在研究用户对业务类价值评估问题时,只考虑了超出了用户业务需求的那部分资源的价值评估问题,缺乏对用户业务需求以内资源的价值评估问题的考虑,从而减弱了它的实用性.所以它的价格机制具有较低的拥塞控制能力和较差的价格稳定性.它用于可自我调整的市场环境,也就是用户可动态调整自己的发送速率,并可动态选择业务类的网络环境<sup>[3-7]</sup>,容易引起拥塞和价格在不同业务类之间的跳跃.

本文在 NSF CAREER 定价机制的基础上,提出了一个以市场和计划为基础的优化动态定价机制.它以业务计划和资源规划为基础,从实现用户的最大性能价格比和 ISP 的最大利益出发实现了对业务类的定价,不但保持了价格的高度合理性,而且使业务类的价格建立在良好的计划基础上;它在计算用户可感觉到的利益时,考虑了负荷因素,从而可以引导业务量按照业务计划有序地分布,这不但可以提高拥塞控制能力,而且可以提高价格的稳定性和网络保证 QoS 的能力;它研究了在用户业务需求被满足之前,用户对业务类的价值评估问题,给出了一个完整的用户对业务类的价值评估公式,这极大提高了它的实用性;它对 NSF CAREER 的业务类价值评估公式进行了改进,从而使定义的价格更合理.

本文第 1 节介绍优化的 IP-DiffServ 动态定价机制.第 2 节介绍实验结果和讨论.第 3 节给出结论.

## 1 优化的 IP-DiffServ 动态资源定价机制

在市场环境下,用户通过性能价格比的评估来选择业务类,性能价格比高的业务类就会被更多的用户选用,因此能给 ISP 带来更大的利益.一个业务类要想具有好的性能价格比,它的价格就要与其提供的服务质量相匹配,而它提供的服务质量主要取决于指配给它的资源.一个好的价格体系应该来源于市场,受价值规律支配,但同时也应该来源于计划.缺乏计划,网络运营秩序就很容易混乱,网络稳定的服务质量就无法保证;缺乏市场,业务类的价格就无法建立在合理的基础上.本文的业务类动态定价机制由 4 部分组成:1) 业务计划和资源规划;2) 市场评估;3) 优化定价;4) 动态调节.

### 1.1 业务计划和资源规划

稳定、合理的市场环境不但能够给用户带来好处,也是 ISP 取得较大利益的基础,而稳定性和合理性来源于正确的业务计划和建立在业务计划基础上的资源规划.正确的业务计划给业务量定义一个合理的分布,正确的资源规划按照业务量的分布来分配资源.

业务计划:在一个 ISP 的 DS(DiffServ)域(根据 RFC2474 的定义<sup>[8]</sup>)中,为不同的业务类(第  $j$  个)定义一个最大资源,用最大带宽(Max\_wb <sup>$j$</sup> )和最大队列长度(Max\_Q <sup>$j$</sup> )表示,为一个业务类的一个业务应用定义一个最大资源,通常用带宽( $w^j$ )表示.不同级别的业务类给用户的业务应用保证不同水平 QoS,用不同的性能参数边界值表示,包括最大时延( $d^j$ )和最大包丢失率( $l^j$ ).由于时延抖动在接收端可以通过软件整形来消除,因此,本文不考虑时延抖动.每一个业务类有一个使用价格( $p_u^j$ ),它用单位时间(分钟)使用该业务类单位带宽(Mbytes)应付的费用来表示.每一个业务类有一个使用率( $a^j$ ),它用已经使用的带宽和该类的最大带宽的比率来表示.因此,与业务类(第  $j$  个)相关的参数可以用下面的集合表示:

$$\{ \text{Max\_wb}^j, \text{Max\_Q}^j, p_u^j, a^j \} \quad (1)$$

与业务类的业务应用相关的参数可以用下面的集合表示:

$$\{ w^j, d^j, l^j \} \quad (2)$$

DiffServ 可以通过控制业务类的负荷来保证其所提供的 QoS 水平<sup>[3,9]</sup>.因为负荷越轻,保证的 QoS 水平就越高,发生拥塞的概率就越低,因此级别越高的业务类要具有越轻的负荷.因为在一个时期内,用户的业务应用通

常具有一定的统计使用带宽,并且对时间具有相同的统计分布,因此,一个业务类接纳的用户业务应用数量越小,它的负荷就越轻,所以,本文通过控制业务类接纳的业务应用数来控制不同业务类的负荷。

根据 IP 网络的特点,业务类的级别越高,使用它的用户数量就越少,业务量也越少,随着业务类级别的降低,用户数量加速增加,业务量也加速增加,如实时业务类 EF(expedit forward)有较小的业务量,而 BE 有巨大的业务量.所以,本文假设业务类的业务量随级别的降低呈指数增加,也就是业务类可接纳的最大业务应用数随业务类的降低呈指数增加,表示为

$$N^j = N^0 e^{\lambda j} \quad (3)$$

其中,  $N^0$  和  $N^j$  分别表示最高级别的业务类(EF)和第  $j$  个级别的业务类可接纳的最大业务应用数量,  $\lambda$  表示增加的系数。

一个业务类的最大负荷等于其带宽的最大使用量和所具有的最大带宽的比率.假设一个业务应用的统计平均带宽为  $\bar{w}$ , 则

$$\rho_{\max}^j = \frac{N^j \bar{w}}{\text{Max\_}wb^j} = \left( \frac{\text{Max\_}bw^0}{\text{Max\_}bw^j} \right) \rho_{\max}^0 e^{\lambda j} \quad (4)$$

$\rho_{\max}^0$  和  $\rho_{\max}^j$  分别表示最高级别的业务类(EF)和第  $j$  个级别的业务类的最大负荷。

式(3)、式(4)表明,业务类的最大负荷和业务类可接纳的最大业务数具有相同的变化趋势.由于目前大多用户还不能自己调整自己的业务应用带宽,业务类的业务量调整还主要以业务应用为单位进行,所以,控制业务应用数要比控制负荷更合理。

资源规划:业务类给一个业务应用保证的最大带宽等于系统分配给它的最大带宽和接纳的最大业务数应用数的商:

$$w^j = \frac{\text{Max\_}wb^j}{N^j} = \left( \frac{\text{Max\_}wb^j}{\text{Max\_}wb^0} \right) w^0 e^{-\lambda j} \quad (5)$$

式中的参数参考式(1)~式(3).式(5)表明:随着业务类级别的降低,它对一个业务应用保证的最大带宽呈指数减少。

由于本文的定价机制可以引导业务量在不业务类之间按照业务计划分布,因此,可给每一个业务类指配相等的最大资源:

$$\forall j: \text{Max\_}bw^j = C/J \quad (6)$$

$C$  是 ISP 具有的总带宽,  $J$  是 ISP 支持的最大业务类数量,其他参数参考式(1)。

此时,式(5)化为

$$w^j = w^0 e^{-\lambda j} \quad (7)$$

按照式(6)、式(7)给业务类指配资源。

## 1.2 市场评估

在市场环境下,用户选择业务类的标准就是性能价格比,用户和 ISP 之间基于 SLA 协商的过程,以及在可自我调整的网络环境中,用户调整业务带宽和选择新的业务类的过程,也就是用户对网络资源的性能价格比的评估过程,最后的选择的结果对用户当时的需求来说都具有最高的性能价格比。

用户业务应用需求:首先用户(第  $i$  个)都有一个预算 ( $b^i$ ),有一个最低的性能要求,通常包括最小带宽 ( $w_{\min}^i$ )、最大时延 ( $d_{\max}^i$ ) 和最大包丢失率 ( $l_{\max}^i$ ),还有一个理想带宽 ( $w_{\text{want}}^i$ ).第  $i$  个用户的业务应用需要可表示为

$$\{b^i, w_{\min}^i, w_{\text{want}}^i, d_{\max}^i, l_{\min}^i\} \quad (8)$$

### 1.2.1 业务类价值评估值

用户根据自己的业务需求,按照自己的标准来对一个业务类的价值进行评估.用户一般从 QoS 和负荷两个方面来考察一个业务类,其中对性能的评估是核心,对负荷的评估是加权值,表示为

$$V^{ij} = \sigma_p^{ij} V_p^{ij} \quad (9)$$

其中  $V^{ij}$  和  $V_p^{ij}$  分别表示第  $i$  个用户对第  $j$  个业务类价值的评估值和对业务类保证的 QoS 价值的评估值,  $\sigma_p^{ij}$  为

负荷加权.

负荷加权:因为在 DiffServ 模型下,业务类的负荷决定着它的服务质量,因此,如果一个业务类的负荷为 0,即使用率  $a^{ij}=0$ ,则用户只参考一个业务类保证的 QoS 来选择业务类,所以  $\sigma_\rho^{ij}=1$ ;如果负荷为 1,即  $a^{ij}=\rho_{\max}^j$ ,则用户不会选用它,所以  $\sigma_\rho^{ij}=0$ .随着负荷的增加,用户对它的兴趣加速降低.因此,  $\sigma_\rho^{ij}$  可表示为

$$\sigma_\rho^{ij}=1-\left(\frac{a^{ij}}{\rho_{\max}^j}\right)^\varepsilon, \varepsilon \geq 2 \quad (10)$$

其中  $\varepsilon$  为调整常数,其他参数参考式(1)和式(4).

业务类保证的 QoS 的价值评估值:按照其他文献<sup>[3,10,11]</sup>的研究结果,在没有超过用户的最小需求带宽时 ( $0 \leq w \leq w_{\min}^i$ ),用户对带宽增长的兴趣呈线性增加;在超过了最小需求带宽但还没有超过理想带宽时 ( $w_{\min}^i \leq w \leq w_{\text{want}}^i$ ),用户对带宽增加的兴趣会减速增加,也就是在用户的意识中,价值随带宽的增加而减速增加(具有  $\log w$  的属性);达到理想带宽后 ( $w \geq w_{\text{want}}^i$ ),用户对带宽增长的敏感性或兴趣为 0.用户对时延和包丢失率的降低的兴趣一直呈线性增加趋势,也就是价值随时延和包丢失率的降低而线性增加<sup>[3,12]</sup>.

1) 业务类保证的带宽达到用户业务应用的最低需求之前,用户对业务类保证的 QoS 的价值评估值可表示为:

$$V_p^i = (k_w^i - k_d^i d - k_l^i l)w, w \in [0, w_{\min}^i], d \leq d_{\min}^i, l \leq l_{\min}^i \quad (11)$$

$k_w^i$  表示在最理想的情况下,也就是时延和包丢失率为 0 的情况下,单位时间使用单位带宽用户感觉应该付的价钱;  $k_d^i$  表示在包丢失率不变的情况下单位时间使用单位带宽时,时延每增加 1 毫秒用户感觉应该减去的费用,  $k_l^i$  表示在时延不变的情况下单位时间使用单位带宽时,包丢失率每增加 1,用户感觉应该减去的费用,其他参数可参考式(8).

2) 当业务类保证的带宽超过最小需求带宽但未达到理想带宽之前,用户对业务类保证的 QoS 的价值评估值可表示为

$$V_p^i = k_w^i \left[ \frac{w_{\min}^i}{\log w_{\min}^i} \log w \right] - k_d^i d w - k_l^i l w, w \in [w_{\min}^i, w_{\text{want}}^i], d \leq d_{\max}^i, l \leq l_{\max}^i \quad (12)$$

NSF CAREER 的式子为<sup>[3]</sup>

$$V_p^i = U_0^i + k_w^i \log \frac{w^i}{w_{\min}^i} - k_d^i d - k_l^i l, w \in [w_{\min}^i, w_{\text{want}}^i], d \leq d_{\max}^i, l \leq l_{\max}^i \quad (13)$$

其中,  $U_0^i$  表示业务类在最理想的情况下,用户选择它时(使用它提供的所有带宽)愿意付的费用.

式(12)对式(13)的改进之处表现在:1) 本文在定义时延敏感系数( $k_d^i$ )和包丢失率敏感系数( $k_l^i$ )时都增加了单位带宽的限制,而 NSF CAREER 以整个应用带宽为前提,由于应用带宽是个变量,因此,本文的定义更合理;2) NSF CAREER 没有给出式(13)中  $U_0^i$  的定义,本文给出的定义是式(11)的  $V_p^i$ ,并且把两个式子的参数统一起来(当  $w = w_{\min}^i$  时两式一样),极大地提高了它的实用性.

3) 第  $j$  个业务类可保证的时延边界值和包丢失率边界值分别为  $d^j$  和  $l^j$ ,将其代入式(12),可得用户对这个业务类的价值评估值:

$$V_p^{ij} = k_w^i \left[ \frac{w_{\min}^i}{\log w_{\min}^i} \log w \right] - k_d^i d^j w - k_l^i l^j w, w \in [w_{\min}^i, w_{\text{want}}^i] \quad (14)$$

4) 用  $V^{ij}$  和选择一个业务类实际要付的费用 ( $p_u^j w_{\text{want}}^i$ ) 的差 ( $\Delta V_c^{ij}$ ) 作为用户对该业务类的性能价格比的评估值,表示为

$$\Delta V^{ij} = \sigma_\rho^{ij} V_p^{ij} - p_u^j w \quad (15)$$

如果  $\Delta V^{ij}=0$ ,用户就会感觉物有所值;如果  $\Delta V^{ij}>0$ ,用户就会感觉物超所值,就乐意选择它;如果  $\Delta V^{ij}<0$ ,用户就会感觉物不及值,就不会选择它.因此,一个业务类被选择的条件就是  $\Delta V^{ij} \geq 0$ .

### 1.2.2 最大性能价格比选类

算出所有在预算( $b^i$ )内能够满足用户最低需求的所有业务类的性能价格比以后,选取值为最大的业务类作

为用户选择的业务类,表示为

$$\text{Max}(\Delta V^{ij}) \tag{16}$$

式(16)有两个条件:1)  $\Delta V^{ij} > 0$ ; 2)  $p_u^j w \leq b^j$ .

### 1.3 计划定价

在给一个业务定价时要服从双赢原则:1) 满足用户对最大性能价格比的追求;2) 满足 ISP 对最大利益的追求.假设 ISP 的网络总接纳 I 个用户的业务.

#### 1.3.1 用户最大性能比原则

式(16)表示的业务类选择过程可用如下的拉格郎日(Lagrangian)方程的求解过程表示:

$$\text{Max}[\Delta V^{ij} + \lambda_1 (b^i - p_u^j w)] \tag{17}$$

对式(17)关于  $w^j$  求偏导然后令其等于 0,可得到优化解:

$$w[(1 + \lambda_1) p_u^j + \sigma_\rho^j k_d^i d^j + \sigma_\rho^j k_l^i l^j] = \sigma_\rho^j \frac{w_{\min}^j}{\log w_{\min}^j} k_w^i \tag{18}$$

当用户把全部预算用于购买网络业务时(正常的情况是这样),式(18)化为

$$w p_u^j = \sigma_\rho^j \left( \frac{w_{\min}^j}{\log w_{\min}^j} k_w^i - k_d^i d^j w - k_l^i l^j w \right) = b^i \tag{19}$$

#### 1.3.2 ISP 最大利益原则

可以用用户支付给它的总费用与其提供和维护网络资源所花费的总费用的差来表示,ISP 利益最大化也就是对赢利求最大值:

$$\text{Max} \left[ \sum_j n^j \bar{w} p_u^j - f(C) \right] \tag{20}$$

其中,  $n^j$  为第  $j$  个业务类接收的实际业务应用数,  $C$  是 ISP 所能提供的总带宽(所有业务类),它是一个定值,  $f(C)$  是 ISP 创建和维护这个总带宽所花费的总代价,  $N^j$  是第  $j$  个业务类接受的最大业务应用数量,  $\bar{w}$  为一个业务应用的统计平均带宽,式(20)有一个限制条件:

$$\sum_j n^j \leq \sum_j N^j = \sum_j N^0 e^{\lambda_j} = \frac{N^0 (1 - e^{\lambda J})}{1 - e^{\lambda}} \tag{21}$$

当用户把所有的预算都用于购买网络业务时,用户支付给 ISP 的总费用等于用户的总预算,因此,式(20)可化为

$$\text{max} \left( \sum_j n^j \bar{w} p_u^j - f(C) \right) = \text{max} \left( \sum_i b^i - f(C) \right) = \text{max}(nb - f(C)) \tag{22}$$

其中  $n$  是 ISP 接收的实际业务应用数,  $b$  是一个业务应用的统计预算.

由于一个时期内  $b$  是一个定值,式(22)说明:在 ISP 总的资源数和总的运营消耗一定的情况下,ISP 的网络接收的用户业务应用数越多,它的赢利越大.当所有的业务类都达到最大业务应用数  $N^j$  的时候,ISP 的网络接收业务数最多,在此状态下,ISP 可获得最大利润.

#### 1.3.3 业务类价格确定

对 ISP 的一个业务类来说,创建和维护相等的带宽要求产生相等的利润,也就是要收取相同的费用,但是在 DiffServ 机制下,为了保证一个最大负荷,业务级别越高,最大负荷越小.因此,用户不但要为自己使用的资源付费,也要为最大负荷以外的资源付费.设 ISP 期望单位带宽(Mbyte)在单位时间(分钟)内要收取的费用为  $K^j$ .由式(22),为了使 ISP 获得最大利益,每个业务类接收的业务应用数为最大业务应用数  $N^j$ ,在此情况下,业务类最大带宽(Max $_b w^j$ )要求收取的总费用要由该类的最大用户( $N^j$ )来负担,则第  $j$  个业务类的价格由下式确定:

$$p_u^j = \frac{K^j * \text{Max}_b w^j}{N^j \bar{w}} = \frac{K^j}{\rho_{\max}^j} = \frac{K^j * w^j}{w} = \frac{K^j * w^0 e^{-\lambda_j}}{w} \tag{23}$$

由式(16),为了使用户获得最大利益,应满足下式:

$$p_u^j \bar{w} = \sigma_\rho^j \left( \frac{\bar{w}_{\min}}{\log w_{\min}} k_w - k_d d^j \bar{w} - k_l l^j \bar{w} \right) \quad (24)$$

其中  $\bar{w}_{\min}$  和  $\sigma_\rho^j$  分别表示用户业务应用的统计最小带宽和第  $j$  个业务类的统计负荷,  $\bar{k}_w, \bar{k}_d, \bar{k}_l$  分别表示  $k_w^i, k_d^i, k_l^i$  的统计值.

因此,当  $K^j = \frac{N^j}{\text{Max\_bw}^j} \sigma_\rho^j \left( \frac{\bar{w}_{\min}}{\log w_{\min}} k_w^i - k_d^i d^j \bar{w} - k_l^i l^j \bar{w} \right)$  时,两式一样.这样,既能满足用户对最大性能比要求,又能满足 ISP 的最大赢利原则.此时,业务类的价格为

$$p_u^j = \sigma_\rho^j \left( \frac{\bar{w}_{\min}}{w \log w_{\min}} k_w - k_d d^j - k_l l^j \right) \quad (25)$$

### 1.4 动态调节

在市场环境中,不同业务类的负荷会动态变动,如不及时调节,业务类就无法保证其 QoS 水平,拥塞也有可能发生.本文以业务类的价格为杠杆(调节量),通过闭环控制系统使不同业务类接纳的业务数量按式(3)有序地分布.

当一个业务类接纳的实际业务数量不符合式(3)的关系时,就调节该业务类的价格:根据式(25),当一个业务类接纳的业务数量( $n^j$ )过多时(超过了  $N^0 e^{\lambda j}$ ),就增加它的价格;当不足时,就减少它的价格.调节量可由式(25)算出:

$$\Delta p_u^j = \frac{K * \text{Max\_bw}^j}{(N^j)^2 w_{\text{want}}^i} \Delta n^j = \frac{p_u^j}{N^j} \Delta n^j \quad (26)$$

$$\Delta n^j = n^j - N^j = n^j - N^0 e^{\lambda j} \quad (27)$$

ISP 要循环监测业务类接纳的业务数量,并实时对业务类的价格进行调整,实现对业务类的定价循环,如图 1 所示.循环周期可以是一段时时间,也可以是一定的业务数量.

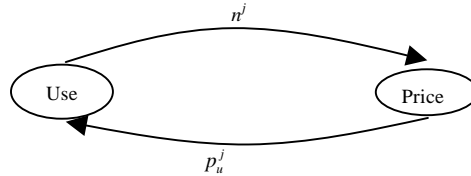


Fig.1 Pricing cycle

图 1 定价循环

## 2 实验结果及讨论

以一个 DS 域作为实验背景,对本文介绍的动态定价机制和 NSF CAREER 的动态定价机制进行了比较.DS 域由边缘路由器和核心路由器组成.本实验中仿真了 DS 域的一条路由,它由两个边缘路由器和一个核心路由器组成.

仿真业务:用户业务的 QoS 要求:最小带宽为 10Mbit/s,理想带宽为 12Mbit/s,时延最大值为 25ms,包丢失率最大值为  $4 \times 10^{-4}$ .

仿真参数:  $\bar{k}_w$  表示一个理想的价格,可以参考电话的价格,如目前的市话为 0.2 元/分钟,而电话的带宽为 64Kbit/s,则  $\bar{k}_w = 0.427$  元/Mbyte;假设当包丢失率为 0 时,当时延超过实时业务的最大时延(25ms)的 1 倍时(50ms),用户就不愿意为它付钱,则  $\bar{k}_d = \bar{k}_w / 50\text{ms} = 0.00854$  元/(Mbyte\*ms);假设当时延为 0 时,包丢失率为  $10^{-2}$  时,用户不愿为它付钱,则  $\bar{k}_l = \bar{k}_w / 10^{-2} = 42.7$  元/(Mbyte\*单位丢包率),  $\varepsilon = 2$ ,  $\sigma_\rho^j$  为负荷为  $\sqrt{2}/2 \rho_{\text{max}}^j$  时的负荷加权  $1 - (\sqrt{2}/2)^\varepsilon$ ,  $w^0 = 12\text{Mbyte/s}$ ,  $\lambda = 0.1$ ,  $\forall j: \text{Max\_bw}^j = 800 \text{Mbyte}$ ,  $\forall i: w_{\min}^i = w_{\min} = 10 \text{Mbyte/s}$ ,  $\forall i: \bar{w} = w_{\text{want}}^i = w_{\text{want}} = 12$

Mbyte/s.

实验中仿真业务连续到达,且连续通过一对输入输出端点之间的同一条路由,该路由支持 13 个业务类,1 个 EF,12 个 AF(AF11~AF43).BE 类由于不能保证服务质量,本实验不考虑它的定价问题.每个业务类都有一组式(1)、式(2)的表示的参数,每一个业务类的初始使用率为 0.2, $w^j$  由式(5)算出,13 个业务类的时延边界值  $d^j$  为 {0,4,5,6,7,8,8,9,10,9,10,11,12},单位为毫秒,13 个业务类的包丢失率边界值  $l^j$  为 {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12},单位为  $(10^{-4})$ ,使用价格 ( $p_u^j$ ) 按照式(25)算出.

让相同的仿真业务通过相同的两个 DS 域,一个由本文的定价机制控制,另一个由 NSF CAREER 的定价机制控制.本系统都采用式(16)给仿真业务进行选类,NSF CAREER 采用下式给仿真业务应用选类<sup>[3]</sup>:

$$\max(V_p^{ij} - p_u^j w) \quad (28)$$

NSF CAREER 在某一个业务类达到最大负荷时启用拥塞价格,拥塞价格按照下式计算<sup>[3]</sup>:

$$p_c^j(n) = p_c^j(n-1) + \sigma_j(n_j - N^j) / N^j \quad (29)$$

其中  $\forall j: \sigma_j = 0.06$ ,  $p_c^j(0) = p_u^j$ ,  $N^j$  参考式(3).

### 1) 有 QoS 保证的最大业务应用数比较

当第 26 个仿真业务到达时,NSF CAREER 开始有一个业务类达到最大负荷,而当第 287 个仿真业务到达时,本机制才开始有一个业务类达到最大负荷.这主要是因为本机制的性能价格比的评估式考虑了负荷因素,有一个负荷加权(见式(10)).

### 2) 本系统的价格稳定性

本系统接纳的仿真业务应用数和仿真业务的平均价格之间的关系如图 2 所示.

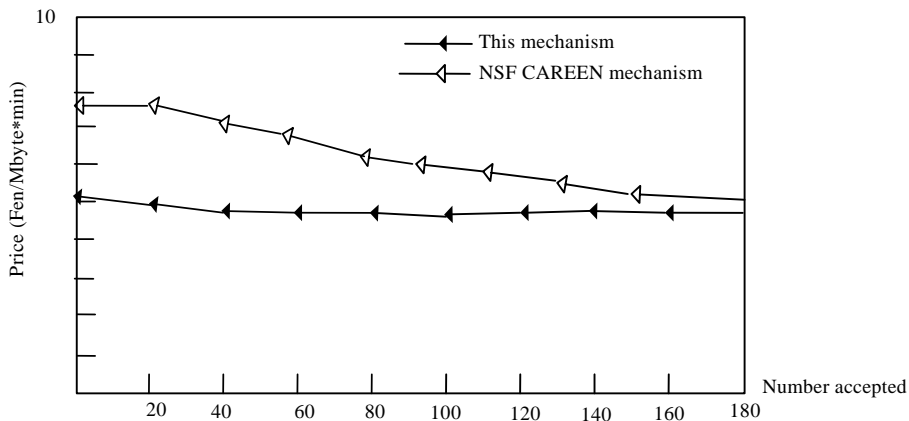


Fig.2 Comparison of price stability

图 2 价格稳定性比较

从图 2 可以看出,随着仿真业务应用数的增加,NSF CAREER 机制的仿真业务的平均价格呈线形下降趋势,而本机制仿真业务的价格几乎不变,因此,本系统可以保证价格的稳定.

### 3) 本系统提供的性能价格比

本系统接纳的仿真业务数和用户获得的总性能价格比(按照式(14)算出的所有接纳业务应用的性能价格比之和)之间的关系如图 3 所示.

从图 3 可以看出,本机制接受业务应用的总性能价格比一直大于 NSF CAREER 机制.

除了 NSF CAREER 的动态定价机制以外,目前还有很多机构和组织提出了其他动态定价机制.加拿大通讯研究所(CITR)提出了一个可编程实时计费管理机制<sup>[13]</sup>,用户在网络节点安装自己的计费程序来执行计费相关的计量(metering)、定价(pricing)和计费(charging)等工作,当某一个节点发生拥塞的时候,驻留在节点中的用户程序通过为自己的业务应用产生一个高的报价来竞争资源,当发现某低优先级别的业务类空闲时,驻留在节点中的用户程序通过把自己的业务应用引导到该业务类上来降低费用.它可以有效地控制拥塞和提高 QoS 保证能

力,但也存在一些缺点:需要在所有的网络节点安装用户自己的代码,需要网络节点支持特殊的机制(如拍卖(bid)机制或小型市场(smart market)机制);缺乏对网络资源的规划和对业务量的计划;拥塞控制依赖于用户对实时市场价格的敏感性等不可预测因素,不利于网络的稳定和用户业务价格的稳定;引发比较严重的安全问题.EU IST 工程 MMAPPs 提出了一个基于标签的计费 and 分布式的定价机制<sup>[14]</sup>,它把分布式的定价机制应用到 P2P(peer-to-peer)的文件共享系统,通过基于需要(demand-based pricing)、基于市场(market-based pricing)、基于价值(value-based pricing)、基于花费(cost-based pricing)、基于规则(Rule-based pricing)的动态定价机制来实现对网络资源的动态定价,该机制具有较好的灵活性和扩展性,但也存在一些缺点:缺乏对网络的定量 QoS 保证的考虑,缺乏对网络资源的规划和对业务量的计划.

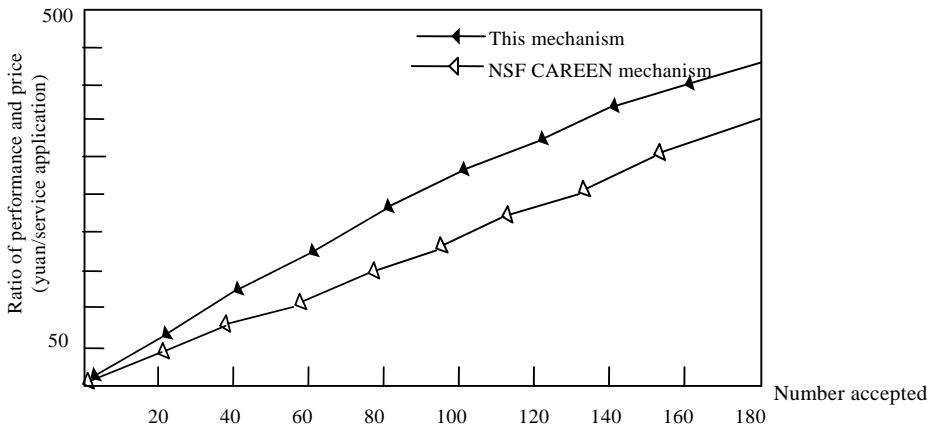


Fig.3 Comparison of the ratio of performance and price

图 3 性能价格比比较

### 3 结束语

本文提出基于双赢的 IP DiffServ 业务类的定价机制,它以资源规划和业务计划为基础,从用户的最大性能价格比和 ISP 的利益最大化出发实现了对业务类的动态定价.它不但可以提高网络的拥塞点,使网络接收的用户应用数目增多,而且可以保证用户业务价格稳定和具有较高的性能价格比.这些优点可以保证 ISP 吸引更多的用户业务,从而获得最大的利益.实验仿真结果很好地验证了以上的论点.

致谢 在此,我们向对本文的工作给予支持和建议的同行,尤其是北京邮电大学孟洛明教授的博士生表示感谢.

### References:

- [1] Wang X, Schulzrinne H. Pricing network resources for adaptive applications in a differentiated services network. In: Proc. of the 20th Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2001), Vol 2. 2001. 943-952.
- [2] Wang X, Schulzrinne H. Comparison of adaptive internet multimedia application. IEICE Trans. on Communications, 1999, (E82-B)6:806-818.
- [3] Wang X, Schulzrinne H. RNAP: A resource negotiation and pricing protocol. In: Proc. of the Int'l Workshop on Network and Operation Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV'99). 1999. 77-99.
- [4] Wang X, Schulzrinne H. An integrated resource negotiation, pricing, and QoS adaptation for multimedia application. IEEE JSAC, 2000,(18)12:2514-2529.
- [5] Wang X, Schulzrinne H. Performance study of congestion price based adaptive service. In: Proc. of the Int'l Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV 2000). 2000. 1-10.
- [6] Briscoe B, Rizzo M, Tassel J, Damianakis K. Lightweight policing and charging for packet networks. In: Proc. of the IEEE 3rd Conf. on Open Architectures and Network Programming (OPENARCH 2000). 2000. 77-87.



- 
- [7] Günter M, Braun T, Khalil I. An architecture for managing QoS-enabled VPN over Internet. In: IEEE Local Computer Networks 1999(LCN'99). 1999. 122–131.
  - [8] Nichols K, Blake S, Baker F, Black D. Definition of the differentiated services field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 headers. RFC 2474, 1998.
  - [9] Corcoubetis C, Siris V. Managing and pricing service level agreements for differentiated services. In: Proc. of the 7th IEEE/IFIP Int'l Workshop on Quality of Service (IWQoS'99). 1999. 165–173.
  - [10] Conway AE, Zhu YL. Applying objective perceptual quality assessment methods in network performance modeling. In: Proc. of the 11th Int'l Conf. on Computer Communications and Networks. 2002. 116–123.
  - [11] Mohamed S, Cervantes-Perez F, Afifi H. Audio quality assessment in packet networks: An 'inter-subjective' neural network model. In: Proc. of the 15th Int'l Conf. on Information Networking. 2001. 579–586.
  - [12] Janssen J, De Vleeschauwer D, Petitit GH. Delay and distortion bounds for packetized voice calls of traditional PSTN quality. In: Proc. of the 1st IP Telephony Workshop (IPTel 2000). 2000. 105–110.
  - [13] Evlogimenou A, Boutaba R. Programmable accounting management for virtual private networks. In: Proc. of the Network Operations and Management Sym. (NOMS 2002). 2002. 297–312.
  - [14] Hausheer D, Liebau NC, Mauthe A, Steinmetz R, Stiller B. Token-Based accounting and distributed pricing to introduce market mechanisms in a peer-to-peer file sharing scenario. In: Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Peer-to-Peer Computing. 2003. 200–201.