

# 伪造对优先级定价的影响

刘继承<sup>1</sup> 石冰心<sup>1</sup> 杨学南<sup>2</sup>

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉430074)<sup>1</sup> (西南科技大学理学院 四川绵阳621000)<sup>2</sup>

**摘要** 在提供区分服务的定价方法中, Peter Marbach 的静态定价方法在用户进入市场后, ISP 无法影响用户的服务选择来增加自己的效用。如果 ISP 采取伪造用户的方法, 来影响用户的服务选择: 传输数据的大小和所使用的优先级组合, 从而增加自己的效用。利用模拟方法对这种影响进行了分析, 同时, ISP 的伪造行为受用户的愿付成本、在用户使用更高的优先级传输数据时是否跟进伪造、不同优先级之间的价格比等因素的影响。

**关键词** 区分服务, 伪造, 最大化, 效用函数, 愿付成本, 价格

## The Influence of Forging in the Static Pricing Scheme for Priority Services

LIU Ji-Cheng<sup>1</sup> SHI Bing-Xin<sup>1</sup> YANG Xue-Nan<sup>2</sup>

(Department of Electronics and Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)<sup>1</sup>

(College of Science, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000)<sup>2</sup>

**Abstract** The influence of ISP's forging in static pricing scheme for priority services is analyzed. If ISP is honest, besides the price, after users enter the network market, it can't affect the market; if it forges, it can change its utility. The analysis using the game theory proves that forging is possible, when ISP gains more than its loss, ISP will take the action. In response to forging, users may adapt their traffic allocation vectors to maximize their net benefit. If users will submit more traffic of in higher priority service class, ISP gains from the behavior, if users will submit less traffic or even exits the market, ISP's utility decrease. The market is completely different from before, forging changes the market. Several examples are presented to illustrate the results. At the same time, how the utility function and the price affect forging is discussed.

**Keywords** DiffServ, Forge, Maximize, Utility function, Willingness to pay, Price

## 1 介绍

随着网络技术的发展, 计算机网络逐渐成为承载各种业务的平台。与此相矛盾的是, 现有的网络用 IP 协议传输数据, 由于 IP 协议固有的无连接特性, 不能够提供服务质量保证, 对于数据传输只能提供“尽力而为”(Best Effort)的服务, 可能有较大的延迟、丢包率、抖动。所有的数据都得到公平的对待, 无论是实时的数据, 如语音、视频, 还是对 QoS 要求不高的 Web 浏览。对于服务质量有严格要求的语音、视频等业务在现有的网络中很难得到满意的服务。

解决这一问题的一种方法是改善现有网络资源的使用方法, 具体来说就是实行新的计费方法。现在大部分 ISP 的计费方式是按时间收取单一费用 (flat rate), 比如包月 (不管用户使用了多长时间、传输了多少数据、什么时间使用网络)。这种计费方法一定程度上造成了网络拥塞和网络资源使用的低效率<sup>[1]</sup>。解决拥塞问题有如下的几个方法: 提供更多的带宽、对每个流进行调度、区分服务等。为了提供区分服务 (DiffServ), 需要有一种新的定价方法, 以不同的价格提供不同的服务。正在研究的几种新的计费方法的主要思想是把所要传输的数据按照服务级别 (CoS, Class of Service) 分类, 不同的服务级别得到不同的服务, 不同的服务收取不同的服务费用, 得到的服务越好, 收取的费用越高。简单来说就是“价格歧视”, 服务差异化, 价格差异化。由于不同的服务收取不同的价格, 可以以

价格作为杠杆, 调节网络流量, 间接地实现了拥塞控制的功能: 在网络拥塞的时候收取高价, 促使用户减少数据发送量; 网络资源供给大于需求时, 降低价格, 吸引更多用户更多地使用网络。具体来说有如下的几种定价方法: 基于优先级、基于拍卖、基于带宽分配、基于使用率等定价方法。

在文[1]中, Peter Marbach 提出了一种按照严格优先级服务的静态定价方法, 价格事先确定。用户根据不同优先级的数据传送概率, 来调整数据发送量和所使用的优先级, 以此来达到效用的最大化。这里假设 ISP 诚实, 除了事先确定的价格外, ISP 对于用户的选择没有影响。如果 ISP 能够改变不同优先级的传输概率, 从而影响用户的数据发送量和传输数据所使用的优先级, 如果用户调整的结果是传输更多的数据或是使用更高的优先级来最大化自己的效用, 这将增加 ISP 的效用; 与此相反, 如果用户减少数据发送量或是使用较低的优先级来传输数据, 甚至退出网络服务市场, ISP 将蒙受损失, 没有达到伪造以获利的目的。从以上分析中可以看到, 如果 ISP 可以由影响不同优先级的传输概率而获利, ISP 将选择伪造。对于 ISP 来说, 通过伪造一个用户, 选择合适的数据发送量和优先级组合, 可以达到这一目的。用户意识到 ISP 可能伪造后, 会采取相应的措施来确保自己的利益没有受到损害, 检查选择网络服务的用户的真伪, 用户对于网络市场的检查相应影响了 ISP 的伪造。该博弈是一个零和博弈, ISP 获益, 用户就遭受损失。

文中对于伪造对区分服务的影响进行了分析,第2节介绍了 Marbach 的静态优先级定价方法,第3节对于 ISP 伪造对用户的影响进行了分析,第4节进行了实例分析,最后进行了总结。

## 2 静态优先级定价方法

在文[1]中,Marbach 的定价方法假设有  $R$  个用户,网络流量以  $N$  个不同的优先级  $i(i \in I = \{1, 2, \dots, N\})$  传输。网络服务按照严格优先级来进行,网络传输优先级为  $i$  的流量的唯一条件是,任何优先级  $j > i$  的流量都已经传输完毕。优先级为  $i$  的流量每单位的价格  $p_i > 0$ ,优先级越高,价格也就越高,即  $p_i > p_j (\forall j > i)$ ,价格事先确定。

使用网络的用户需要决定:①发送速率,也就是单位时间内要传送的数据量;②流量分配:用什么样的优先级组合传送数据,允许用户在不同的优先级间分配流量以使其效用最大化。设用户  $r$  以优先  $i$  级传送的数据量为  $d_r(i) (r=1, 2, \dots, R)$ ,则以优先级  $i$  传送的所有流量为  $d(i) = \sum_{r=1}^R d_r(i) (i=1, 2, \dots, N)$ 。设用户  $r$  的流量分配向量为  $d_r = \{d_r(1), d_r(2), \dots, d_r(N)\}$ ,按优先级来分,网络中的数据流量为  $d = \{d(1), d(2), \dots, d(N)\}$ 。用  $P_r(i, d)$  表示优先级  $i$  的数据传送概率,按照严格优先级服务的假设,  $P_r(j, d) \geq P_r(i, d) (\forall j > i)$ 。

用户的效用函数  $U_r(x_r)$  满足如下条件:①单增;②有界;③严格凹;④二次可微。设  $(d_1^*, d_2^*, \dots, d_N^*)$  为一给定的用户流量向量,相应的不同优先级的数据传输向量为  $d^* = (d^*(1), d^*(2), \dots, d^*(N))$ ,则用户会选择不同  $d_r^*$  使其效用最大化,如果  $d_r^*$  满足

$$d_r^* = \arg \max \{U_r(x_r) - \sum_i d_r(i) P_i\} \quad (1)$$

则  $(d_1^*, d_2^*, \dots, d_N^*)$  为资源分配的均衡状态。其中  $x_r = \sum_{i=1}^N d_r^*(i) P_i$  为用户传输数据所要付的成本,即使有部分流量没有传输,也要支付费用。用户发送数据时,根据不同优先级的传输概率,利用(1)式调整要传送的数据流量及在不同优先级之间的分配,最大化自己的效用。

对于给定的数据传送向量  $d$ ,假设网络带宽为  $C$ ,如果  $\sum_i d(i) < C$ ,所有优先级的传送概率为1。对于优先级  $i^*$  ( $\sum_{i=1}^{i^*-1} d(i) < C$ , 且  $\sum_{i=1}^{i^*} d(i) \geq C$ ),仅有  $(C - \sum_{i=1}^{i^*-1} d(i))$  的数据得到传送,优先级  $i < i^*$  的数据被丢弃。这样,对于优先级  $i (i \geq i^*)$ ,单位流量的传送成本为  $P_i / P_{i^*}$ 。可以看出,如果一个优先级的传送概率  $P_r(i, d) < P_i / P_{i+1}$ ,用户就不会使用该优先级来传输数据,而是使用优先级  $i+1$  来传输数据,这样更为合算。

不同优先级的价格确定后,用户自行根据不同优先级的传输概率决定数据发送量和优先级分配,ISP 对于用户的行为毫无影响,ISP 是诚实的。也就是说,对于决定其效用的用户行为,ISP 没有采取一些方法来使用户传输更多的数据或是使用更高的优先级传输数据,以增加自己的效用。

## 3 伪造对 ISP 效用的影响

ISP 伪造用户来传输数据,从而影响其它用户的数据流量和在不同优先级之间的分配。假设 ISP 伪造一个用户,致使优先级  $i$  的包丢失率变大,用户有如下的几种反应:减少数据

发送量、用较低的优先级传输数据或是退出市场,都会使 ISP 效用下降;增加数据发送量,ISP 效用上升;用更高的优先级来传送数据,同样的流量大小,ISP 得到更大的利益;只要获得的净利益大于为伪造所付出的成本,ISP 总是会选择伪造用户。这里以 ISP 仅伪造一个用户来说明,实际上,如果 ISP 伪造多个用户,和伪造一个用户是一样的。假如 ISP 伪造了  $K$  个用户,第  $k$  个用户的流量分配向量为:

$$d_k = \{d_k(1), d_k(2), \dots, d_k(N)\}, i=1, 2, \dots, K \quad (2)$$

用  $d_{ISP} = \{d_{ISP}(1), d_{ISP}(2), \dots, d_{ISP}(N)\}$  表示所有用户在不同优先级的总的流量向量,则在优先级  $i$  的流量为  $d_{ISP}(i) = \sum_{k=1}^K d_k(i)$ ,等同于一个用户按照  $d_{ISP}$  来分配流量、传送数据,用  $U(ISP)$  来表示该伪造用户的效用。

优先级  $i$  的单位流量价格为  $p_i$ ,ISP 为提供服务支付的成本为  $f_i(d(i))$ ,对于并没有传输的数据,ISP 也需要对其进行处理。这里的  $f_i(\cdot)$  包括实际传输数据的成本和没有传输数据的成本。

定义1 对于  $i, j \in I$ ,成本函数满足如下条件:①单调递增:  $\forall x_1 < x_2 \Rightarrow f_i(x_1) < f_i(x_2)$ ;②  $\forall i < j \Rightarrow f_i(x) < f_j(x)$ ;③线性:  $\forall \alpha, \beta, \alpha f(x) = f(\alpha x), \alpha f(x_1) + \beta f(x_2) = f(\alpha x_1 + \beta x_2)$ 。

用户使用网络需要支付给 ISP 的费用为  $\sum_{i=1}^N d_r(i) p_i$ ,这也是 ISP 从该用户所得到的毛利润。

ISP 伪造的网络用户的效用不同于其它用户的效用,其目的完全是为了使 ISP 效用最大化。ISP 伪造后,用  $d_{r+}(i) (\geq 0)$  表示用户  $r$  在优先级  $i$  增加的流量,用  $d_{r-}(i) (\geq 0)$  表示用户  $r$  在优先级  $i$  减少的流量。用  $f_{ISP,i}(x)$  表示 ISP 在优先级  $i$  伪造用户的成本,其中  $x$  表示在该优先级的流量,该函数满足定义1中的条件,则伪造用户的效用可以表示为

$$U(ISP) = \sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^N [d_{r+}(i) p_i - d_{r-}(i) p_i + f_i(d_{r-}(i)) - f_i(d_{r+}(i))] - \sum_{i=1}^N f_{ISP,i}(d_{ISP}(i)) \quad (3)$$

ISP 只有在  $U(ISP) \geq 0$  的情况下才会伪造用户,ISP 的效用最大化问题就是选择合理的  $d_{ISP}$  使伪造的用户效用最大化,即

$$d_{ISP} = \arg \max U(ISP) \quad (4)$$

和 ISP 诚实相比,如果  $U(ISP) \geq 0$ ,ISP 即可以从中渔利。伪造的用户通过选取合适的流量分配向量,从而改变优先级的传输概率。对于传输概率的改变,用户将根据公式(1)来调整自己的流量分配,在用户传输更多数据或使用更高的优先级传输数据时,都会增加 ISP 的效用;而用户减少数据发送量、使用低优先级传输数据甚至退出市场时,ISP 伪造不但没有带来利益,反而使其效用下降,遭受损失。只要增加的效用大于遭受的损失,ISP 总是会选取伪造。

对于优先级  $i$ ,如果  $d_{ISP}(i)$  太小,对于传输概率的影响不足以使用户改变数据发送向量,起不到作用;如果  $d_{ISP}(i)$  大于使该优先级的传输概率恰好小于临界值的流量,因为用户不再使用该优先级,而是切换到更高的优先级  $i+1$  传送数据,虽然  $d_{ISP}(i)$  更大,但发挥的作用是一样的,所以  $d_{ISP}(i)$  的上限是使该优先级的传输概率恰好小于临界值的流量的大小。伪造用户需要选取合适的流量分配向量。

既然 ISP 很大可能会选取伪造增加自己的效用,那么对

于 ISP 和用户的影响如何?采用实例的方法来分析 ISP 伪造对于网络市场的影响。

#### 4 实例分析

采用文[4]中的效用函数形式

$$U_r(x) = w_r \frac{x^{\beta} - 1}{\beta}, \beta < 1, w_r > 0, r = 1, 2, \dots, R \quad (5)$$

其中  $w_r$  为用户的愿付成本,  $\beta = 0$  时,  $U_r(x) = w_r \log x$ 。简单起见, 取

$$U_r(x) = w_r x^{\beta} / \beta = c_r x^{\beta}, c_r = w_r / \beta \quad (6)$$

链路容量  $C = 1$ , 有  $N = 2$  个不同的优先级,  $I = \{1, 2\}$ 。

该伪造用户使用最高的优先级来传输数据, 和使用其它优先级  $N$  传输数据有一些不同之处: 即使使最高优先级的传输概率下降, 因为没有更高的优先级可用来保证更好的数据传输质量, 其他用户仅有一个选择: 调整数据发送量。如果用户对于服务质量下降的反应是减小数据发送量, ISP 效用就会下降, 而且还要为伪造用户用最高优先级传输的数据支付成本。因此, 在使用最高优先级传输数据时, 伪造用户需要选择合适的数据流量。

a) 伪造用户只使用优先级 1 来传输数据 不同优先级的价格为  $P_i = 2^{i-2}$ , 对于优先级  $i (< N)$ , 用户使用其传输数据的条件是其传输概率  $P_r(i, d) \geq 0.5$ 。假设网络中只有一个用

户 A, 效用函数采用 (6) 式的形式,  $\beta = 2/3, c_A = 4.2$ , 其效用最大化问题可以描述为:

$$\max 4.2 x_A^{2/3} - \sum_{i=1}^2 p_i d_A(i) \quad (7)$$

$$\text{其中 } x_A = \sum_{i=1}^2 P_r(i) d_A(i) \leq 1.$$

ISP 不伪造, A 效用最大化时,  $d_A(1) = 1, d_A(2) = 0, U(A) = 3.7, U(\text{ISP}) = 0.5$ 。如果 ISP 决定伪造一个用户来使自己的效用最大化, 假设伪造用户的数据发送速率为  $t$ , 效用最大化时实际发送率为  $t'$ , 总是使用优先级 1 来传输数据。ISP 的效用问题中暂不考虑成本因素, 用户初始仅用优先级 1 传输数据, 在优先级 1 的传输概率小于 50% 时, 用优先级 2 来传输数据, 由 (7) 式可以得到如下的用户效用函数:

$$(1) t' + d_1(1) \leq 1 \text{ 时, } 4.2 d_1^{2/3}(1) - 0.5 d_1(1);$$

$$t' + d_1(1) > 1, \text{ 且 } P_r(1, d) \geq 50\% \text{ 时, } 4.2 \times [d_1(1)/(d_1(1) + t')]^{2/3} - 0.5 d_1(1).$$

$$(2) P_r(1, d) < 50\%, P_r(2, d) \geq 50\% \text{ 时, } 4.2 d_1^{2/3}(2) - d_1(2).$$

用改变伪造用户数据发送量的方法来观察用户传输数据的优先级选择和数据发送量大小的变化,  $t$  从 0 到 2, 步长  $\Delta t = 0.1$ 。

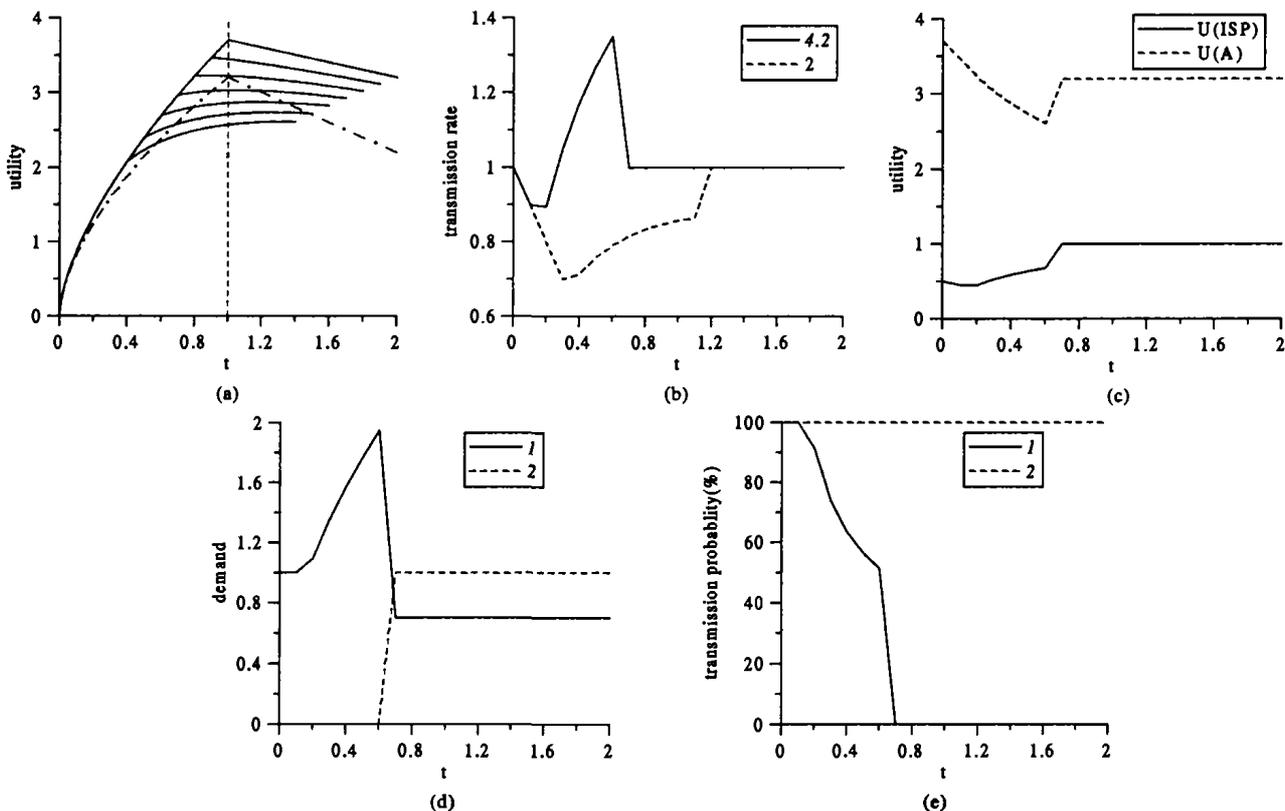


图1

如图1(a)所示, 从上到下的实线依次表示  $t$  从 0 到 0.6, 步长  $\Delta t = 0.1$  所对应的用户效用曲线, 点划线表示  $t$  从 0.7 到 2 时的用户效用曲线。从中可以看到用户效用最大化时数据发送量, 和没有伪造时的发送量 ( $=1$ ) 之间的对比。图1(b)中实线表示  $c_1 = 4.2$  时, 对应不同的  $t$ , 用户效用最大化时的数据发送速率  $v$ , 图1(c) 表示对应的用户和 ISP 最大化时的效用, 图1(d) 表示对不同优先级的带宽需求, 图1(e) 表示不同优先级的传送概率。

表1表示对应于不同的  $t$ , 用户和 ISP 效用最大化时,  $t', d_A, U(A), U(\text{ISP})$ , 以及不同优先级的  $P_r(i, d(i)) (i \in I)$  的具体数值。

从图1(c)中的用户效用曲线, 以及表1中可以明显看出, ISP 开始伪造,  $t = t' = 0.1$  时, 用户选择  $d_A = (0.9, 0)$ , ISP 的效用下降为 0.45, 用户的效用也下降为 3.465;  $t = t' = 0.2$  时, 用户选择  $d_A = (0.894, 0)$ , ISP 的效用下降为 0.447, 用户的效用也下降为 3.224。也就是说, 在这两种情况下, ISP 和用户的

效用都下降。ISP 伪造了用户后,效用不但没有增加,反而因为用户减小数据发送速率,使自己效用降低。对于 ISP 来说,损人也没有利己,是不利选择。伪造的目的就是让用户发送更

多的数据,或是使用更高的优先级来传输数据,这两个目标都没有达到,所以,伪造用户不会按照这种数据量大小发送数据。

表1 用户效用最大化时的网络市场

$t$	$t'$	$d_A$	$U(ISP)$	$U(user)$	$p_r(1,d)(\%)$	$P_r(2,d)(\%)$
0	0	(1,0)	0.5	3.7	100	100
0.1	0.1	(0.9,0)	0.45	3.465	100	100
0.2	0.2	(0.894,0)	0.447	3.224	91	100
0.3	0.3	(1.052,0)	0.526	3.027	74	100
0.4	0.4	(1.172,0)	0.586	2.867	64	100
0.5	0.5	(1.269,0)	0.635	2.731	57	100
0.6	0.6	(1.349,0)	0.675	2.612	51	100
0.7	0.7	(1.417,0)	0.709	2.505	47	100
0.7	0.7	(0,1)	1	3.2	0	100
0.8	0.7	(0,1)	1	3.2	0	100
...	...	...	...	...	...	...
2.0	0.7	(0,1)	1	3.2	0	100

假如伪造用户继续增加数据发送速率, $t=t'=0.3$ 时,用户选择  $d_A=(1.052,0)$ ,ISP 的效用上升为0.526,用户的效用为3.027,比没有伪造时效用更高。然后继续增加,一直到  $t=t'=0.6$ 时, $d_A=(1.349,0)$ , $U(ISP)=0.675$ , $U(A)=2.612$ 。用户的效用最低,ISP 的效用达到极大值,优先级1的数据传送概率(51%)接近临界值。从图1(c)中可以直观看出,在  $t \in [0.3,0.6]$ 中,ISP 效用上升,用户的效用继续下降。可以从图1(b)中看出,用户对于效用下降的反应是增加数据发送量(该值大于没有伪造时用户的数据传送量1),从而间接增加了ISP 的效用,达到了使用户发送更多数据的目的。

当  $t=0.7$ 时, $d=(1.417,0)$ ,这时优先级1的数据传送概率  $P_r(1,d)=47\% < p_1/p_2=50\%$ ,用户传送单位数据的成本为  $p_1/p_r(1,d)=1.06 > p_2$ 。所以用户会选择优先级2来传输数据,这样更为划算。效用最大化时, $t'=0.7$ , $d_A=(0,1)$ , $P_r(1,d)=0$ , $P_r(2,d)=100\%$ ,用户的效用大于使用优先级1时的效用。 $t$ 继续增大,由于用户使用优先级2来传输数据,其传输概率还是100%,用户效用不变。同时,因为  $t$ 的增大,ISP 需要为此支付更多的费用,其效用下降。所以伪造用户的选择是保证  $t'=0.7$ ,网络市场达到均衡,用户的效用为3.2,ISP 效用为1。

比较伪造前后的网络市场均衡状态,伪造前,用户的效用为3.7,ISP 的效用为0.5;伪造后,用户的效用为3.2,ISP 的效用为1。用户的效用下降,ISP 效用上升,说明伪造是对 ISP 的有利选择,对用户的不利选择。

由以上的分析,伪造用户的合理选择是  $d_{ISP}(1) \in [0.3,0.7]$ ,在此范围内,ISP 可以通过伪造增加自己的效用。由于愿付成本不同,用户可能降低数据发送量,使 ISP 效用下降,ISP 伪造时需要避免这种情况的出现。

b) 伪造用户跟进 以上分析中,假设伪造用户始终使用优先级1来传输数据。如果伪造用户在用户选择用优先级2传输数据时,跟进使用优先级2来传输数据。除了优先级2外,没有更高的优先级可用,优先级2的传输概率如果太低的话,用户就不会使用网络,这里假设  $P_r(2,d) \geq 40\%$ 。观察  $d_{ISP}(2)$ 从0到  $P_r(2,d)=40\%$  ( $\Delta d_{ISP}(2)=0.1$ )变化过程中,用户受到的影响。

图2中表示的是在不同愿付成本下,相对于伪造用户不同的数据发送量,用户效用最大化时的  $d_A(2)$ 。从中可以看到在  $P_r(2,d)$ 从1减小到0.4的过程中, $c_A=4.2$ 时,在伪造用户使用优先级2来传输数据时,用户的反应是降低数据发送量,ISP 的效用也随之下降。 $d_A(2)$ 始终小于1,ISP 的效用小于没有跟进时的效用。在此情况下,跟进是不划算的。

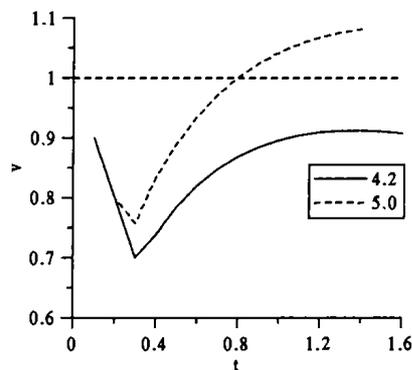


图2

而对于  $C_A=5$ 时,从  $t=0.9$ 到  $t=1.4$ ,用户一直通过增加数据发送量的方法来最大化自己的效用, $d_A(2)$ 大于1,ISP 的效用的也随之增加。在这种愿付成本下,伪造用户的合理选择是, $d_{ISP}(2) \in [0.9,1.4]$ ,伪造用户跟进时 ISP 的效用大于没有跟进时 ISP 的效用。

ISP 是否跟进需要根据用户的愿付成本来决定。

c) 不同  $c_A$  对 ISP 伪造的影响 不同的  $c_A$  反映了用户不同的愿付成本,愿付成本的不同影响了用户对于网络服务的偏好,从而会对 ISP 的伪造行为带来影响。改变  $c_A$  的值( $c_A=2$ ),其他条件都和 a)中相同。图1(b)中虚线表示对应不同的  $t$ ,用户效用最大化时的数据发送速率  $v$ ,在  $t < 1.2$ , $v=d_A(1)$ , $t \geq 1.2$ 时, $v=d_A(2)$ 。表2表示用户最大化效用时,对应于不同的  $t$ 值其数据发送量。

在  $t < 1.2$ , $P_r(1,d) \geq 50\%$ ,用户使用优先级1来传输数据。 $t=1.2$ , $d_A=(0.87,0)$ ,此时  $P_r(1,d)=48\% < 50\%$ ,所以用户使用优先级2来传输数据, $d_A=(0,1)$ 。该愿付成本下,均衡状态时  $t'=1.2$ , $d_A(0,1)$ , $U(ISP)=1$ , $U(A)=0.2$ 。

表2 用户效用最大化时数据发送量

$t$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	...	0.9	1	1.1	1.2	1.2	...	2
$v$	1	0.9	0.8	0.7	0.71	...	0.85	0.86	0.86	0.87	1	...	1

从上表以及图1(b)中可以看出,在ISP伪造的情况下,用户效用最大化时,其发送的数据始终不会超过没有伪造时的数据发送量。在用优先级1传输数据时,用户的行为和a)中不一样,没有因为ISP伪造使其效用下降而增大数据发送量。用户只是在优先级1的数据传输概率小于50%时,才使用优先级2来传输数据。

如果用户只使用优先级1来传输数据,对于ISP伪造,用户的反应是减少数据发送量。在用户如此行为的情况下,比较表1和表2,在 $c_A=4.2$ 时, $t'=0.6$ , $v$ 达到最大值:1.349,此时用户的效用为2.612,ISP的效用为0.675。而在 $c_A=2$ 时, $t'=0$ ,用户的数据发送量达到最大值,此时ISP的效用也达到最大值,为0.5,用户效用为3.7。如果ISP决定伪造,用户的数据发送量随之下降,ISP的效用也会下降。在这种情况下,即使ISP伪造,也不会使自己的效用增加,反过来还使自己的效用减小,损人也不利己。

ISP是否伪造受 $c_A$ 值影响。

d)不同价格对ISP伪造的影响 不同优先级之间的价格比会影响用户使用网络资源,用户从一个优先级切换到更高优先级的条件是,该优先级的数据发送概率 $P_v(i, d) < p_i / p_{i+1}$ 。如果不同优先级之间的价格比不同,会影响用户的优先级选择。这里,假设优先级1的价格 $p_1=0.5$ ,优先级2的价格 $p_2=1.25$ ,由于优先级1的传送概率 $P_v(1, d) < p_1 / p_2 = 40\%$ ,用户才会选用优先级2来传输数据。优先级1的传送概率大于40%时,用户总是使用优先级1来传输数据。不同于a)中在传输概率小于50%时就选用优先级2来传输数据,在该价格比率下,用户延迟用更高的优先级来传输数据,在优先级1的数据传送概率小于50%,但大于等于40%时,用户继续使用优先级1传输数据。优先级选择的不同相应影响ISP和用户的效用。

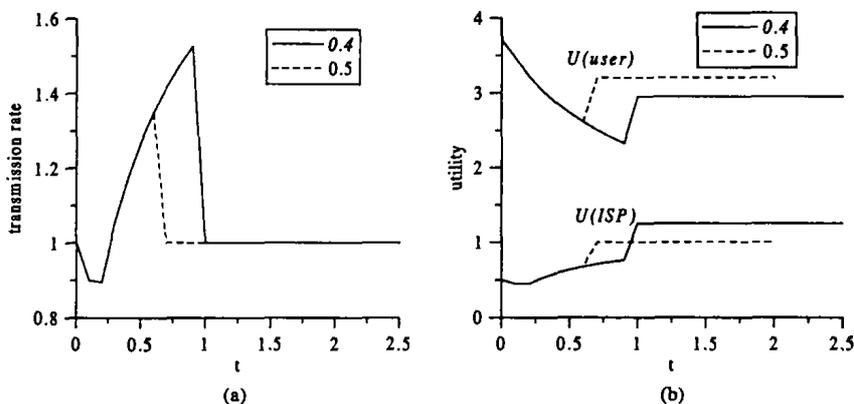


图3

其他条件和a)中相同,图3(a)中表示 $p_1/p_2=0.5$ 和 $p_1/p_2=0.4$ 时,对应不同的 $t$ ,用户效用最大化时数据发送速率 $v$ 。图3(b)中表示的是在这两种不同的价格比下,用户和ISP的效用。从两图中都可以明显看出,由于价格比的不同,伪造情况下,用户延迟使用优先级2来传输数据,因此其效用和ISP的效用都受到了影响。

**结论** 通过理论和实际的分析,伪ISP完全有可能通过伪造用户来增加自己的效用,从而改变了网络市场交易双方的行为。ISP如果想增加自己的效用,需要选取合适的的数据发送量和优先级组合来伪造用户;用户相应会改变自己的行为以使自己效用最大化:改变自己的数据发送量或是用更高的优先级传输数据,甚至退出市场。ISP伪造后,在一定条件下,可以增加自己的效用。伪造用户的数据发送量和优先级选择、在用户使用更高的优先级传输数据时是否跟进伪造、用户愿付成本、不同优先级之间价格比的不同,这些因素都影响了

ISP的伪造策略。由于这些因素的影响,ISP伪造后可能使自己的效用反而下降,损人不利己。

参考文献

- 1 Marbach P. Analysis of a Static Pricing Scheme for Priority Services. IEEE/ACM Trans on Networking, 2004, 12(2): 312~325
- 2 [德]柯武刚,史漫飞. 制度经济学[M]. 北京:商务印书馆, 2002. 80~81
- 3 新帕尔格雷夫经济学大词典(第三卷)[M]. 北京:经济科学出版社, 1992. 588
- 4 Ganesh A, Laevens K, Steinberg R. Congestion pricing and user adaptation. In: Proc. IEEE INFOCOM, Anchorage, AK, 2001. 959~965
- 5 Gupta A, Stahl D O, Whinston A B. A Stochastic Equilibrium Model of Internet Pricing. Journal of Economics Dynamics and Control, 1997, 21: 697~722