

文章编号:1674-2869(2018)01-0103-06

基于不同定价标准的云计算服务定价机制的研究

叶春森,苗青,方淑玉

安徽大学商学院,安徽合肥 230601

摘要:为探索基于连接速度和流量的云计算服务定价机制差异,构建了不同定价标准下的消费者效用模型。应用该模型对基于单位时间连接速度、使用量及复合定价标准的不同定价方案绩效进行比较,研究结果表明以单位时间连接速度为定价标准时,供应商利润及消费者效用均达到最优。进一步通过数值算例展示结果的有效性,该结果对云计算服务供应商定价机制设计具有指导意义。

关键词:云计算服务;定价机制;偏好异质性

中图分类号:TP393 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2018.01.019

Pricing Mechanism of Cloud Computing Service Based on Different Pricing Standards

YE Chunsen, Miao Qing*, FANG Shuyu

Business School, Anhui University, Hefei 230601, China

Abstract: To explore the difference of cloud computing service pricing mechanism by connection speed and traffic, we constructed the consumer utility model based on different pricing standards to compare the performance of different pricing schemes by the connection speed per unit time, the used volume and the composite pricing standard. The results showed that the supplier profit and the consumer utility were both optimal when the connection speed per unit time was used as the pricing standard, which was further valued by numerical examples. The results provide guiding significance for the pricing mechanism design for cloud computing service providers.

Keywords: cloud computing services; pricing mechanism; preference heterogeneity

云计算是继个人计算机和互联网之后,第三次信息技术(information technology, IT)浪潮的代表,是一种通过互联网向客户提供硬件和软件等IT服务的新型IT服务模式^[1]。云服务提供商开发并持续地提供可用的云服务,一方面是由于服务和构成服务的资源是需要成本支出的,另一方面是由于提供资源或服务是有目的的一盈利,因此提供商会向使用资源或服务的客户,收取一定的费用^[2]。云计算平台通过将云计算能力作为一种服务出租来获利。然而,如果服务价格高于用户

自己进行IT建设带来的各方面成本的总和,那么就无法吸引到用户。同时,随着云计算行业的发展,如果服务供应商不能够提供一个相对有竞争力的价格,也就无法在行业竞争中胜出^[3]。通过分析现存云计算平台发现按使用量定价及按连接速度定价为主要定价方式,如亚马逊旗下的亚马逊网络服务(amazon web services, AWS)平台针对60多种云服务提供按实际使用量付费的定价模式。借助AWS,用户无需再支付巨额前期费用,只需支付较少的变动成本,然后按照实际使用量和使用

收稿日期:2017-05-26

作者简介:叶春森,博士,副教授。E-mail:369001985@qq.com

引文格式:叶春森,苗青,方淑玉.基于不同定价标准的云计算服务定价机制的研究[J].武汉工程大学学报,2018,40(1):103-108.

时间付费即可。而阿里云作为国内最领先的云服务供应商,对于其产品云服务器(elastic compute service, ECS)针对不同客户采取了按量收费及对不同连接速度(bandwidth)收取不同的价格,按量付费如针对华北地区客户根据其服务器规格,1核内存为8 GByte的CPU收费为0.82元/h,2核内存为8 GByte的CPU收费为0.99元/h;按带宽收费时,针对其华南地区客户,当带宽为1 Mbps时,价格为23元/1 Mbps/月,带宽为5 Mbps时,价格为125元/5 Mbps/月。

近年来,国内外学者对云计算服务定价机制做出相关研究并取得以下重要成果。Shin-yi Wu等^[4]论述了消费者和供应商的最优问题,并将二部制定价、纯使用量定价及固定费用定价这三种定价机制进行对比分析,认为当总的边际成本和监测成本低于阈值时,固定费用定价是首选定价方式;边际成本和监督成本为零时,二部制定价和固定费用定价能够取得相同的利润水平,并影响基于使用的定价,同时还提出当客户具有最大消费水平异质性的特征时,二部制定价是三种定价方式中最为盈利的。陈立勇等^[5]通过分析固定定价机制和动态定价机制的优缺点提出了云环境下的动态分段定价策略。此外,窦一凡等^[6]通过构建数学模型的方式对比了版权定价和按使用量定价两种模式的最优定价策略下的软件市场份额并分析了产品质量的影响。他们认为按照使用量定价的主要优势在于,无论是单独采用按照使用量定价模式还是在已有版本的基础上增加新版本,按照使用量定价总是可以在一定条件下覆盖到全部的消费群体。肖鹏等^[7]提出一种基于混合博弈策略的云资源定价及交易模型,一定程度上弥补了现有定价机制在效率和公平性方面的不足。李玥等^[8]基于Repast Symphony建立了多主体仿真模型,比较分析了3种不同定价机制下的基础设施及服务(infrasructuce as a service, IaaS)云服务提供商的收益。他们认为随着服务时长和顾客数量的增加,动态定价机制更能为IaaS云服务提供商带来更多收益。吴良刚等^[9]从供应商和消费者的角度对比分析了两种常见的云计算定价机制:按使用量定价(pay-per-use)和认购定价(subscription)。指出一般情况下,认购定价机制要优于按使用量定价。

基于现有文献的研究,发现虽然对于按使用量定价已有众多学者展开研究论述,但是针对云计算服务平台实际运营中存在的供应商以使用量 Q (pay as you use)及单位时间连接速度 B (band-

width)为定价标准的情况却很少有学者提及,因此本文针对实际应用中存在的云计算服务运营商定价标准选择问题,在考虑到消费者偏好异质性的情况下,分别对比分析了以使用量 Q 、连接速度 B 及综合考虑 Q 、 B 为定价标准的三种定价方案,并展开研究。

1 云计算服务定价方式

选择合适的定价机制是云服务供应商的重要决策,因为它直接影响供应商自身收益及顾客的使用模式。本文主要对以 Q 、 B 及综合考虑 Q 、 B 为定价标准的情况下的三种定价方式进行研究。

1.1 以 Q 为定价标准

由于按使用量付费较为简便且便于理解,目前,大多数云计算服务供应商都采取按使用量付费为主要的定价方式。“云计算”模式采纳的是“软件即服务”(SaaS)理念,即消费者可以像使用水和电那样根据服务的使用量来缴纳费用。例如, Salesforce.com提供的客户关系管理系统(customer relationship management, CRM)^[10],客户企业不再需要建立自己的数据中心来管理客户数据,而是由Salesforce提供网络服务,企业用户在登录企业网站并操作CRM系统时,整个过程实际是在Salesforce的平台上完成的,而客户企业只需根据自身用户的使用量缴纳费用即可。由于实际云计算环境中,存在许多短期的使用用户,如仅使用1 h或24 h,则此时为了覆盖尽可能多的用户群体,云供应商选择以使用量为计价标准。

1.2 以 B 为定价标准

单位时间连接速度即网络带宽是指在单位时间(一般指的是1 s)内能传输的数据量,网络带宽作为衡量网络特征的一个重要指标,日益受到人们的普遍关注,同样也对供应商为云服务定价产生了重要影响。为争取偏好不同连接速度的客户,云供应商采取以连接速度为标准的定价方案,如阿里云对其ECS支持以不同网络带宽收费,如在青岛地区,带宽为1 Mbps时,收费为20.7元/月,带宽为3 Mbps时,收费为63.9元/月,带宽等于5 Mbps时,收费达到112.5元/月。

1.3 考虑 Q 和 B 的定价标准

基于消费者偏好异质性^[11],即消费者或是偏好 Q 、或是偏好 B ,亦或倾向于以 $Q+B$ 为定价标准,第三种情况下,供应商必须针对该类消费者给出特殊的定价方案,如以 $Q+B$ 为定价标准制定定价方案。 $Q+B$ 为定价标准即制定云计算服务定价方

案时同时考虑使用量 Q 及单位时间连接速度 B 两因素,可以理解为,以一定的连接速度 B 在网页上下载或上传某文件所收取的费用,此时该文件大小即为用户的使用量。例如,带宽为 10 Mbps,使用量为 20 Mbps 时,收费 2.5 元;带宽为 20 Mbps,使用量为 40 Mbps 时,收费 6.5 元。

2 模型

2.1 假设

假设 1: 云服务供应商及消费者均为风险中性者^[12],即对于三种定价标准而言,风险程度并不会影响定价标准的选择。

假设 2: 消费者关于数据服务使用量和连接速度的边际支付意愿是异质的,即不同的消费者对数据服务使用量及连接速度的偏好不同。

假设 3: 消费者效用函数为 $U(B, Q, \lambda) = \lambda v Q - \frac{1}{2\theta} Q^2 + \lambda B - \frac{1}{2\eta} B^2 - P(\lambda)$, 消费者效用关于 Q, B 为凹函数。

假设 4: λ 表示消费者的偏好类型,具体表现为某种定价标准下消费者所购买云服务占其购买云服务总支出的百分比,因此为了简化分析,假定 $\lambda \sim U[0, 1]$, 此时供应商利润函数为:

$$\int_{\lambda}^1 U(\lambda) - \frac{\partial U(\lambda)}{\partial \lambda} (1 - \lambda) d\lambda。$$

2.2 消费者效用函数的基准模型

消费者类型 λ 为

$$U(B, Q, \lambda) = \lambda v Q - \frac{1}{2\theta} Q^2 + \lambda B - \frac{1}{2\eta} B^2 - P(\lambda) \quad (1)$$

if $\theta \lambda v \geq Q$ 且 $\eta \lambda \geq B$

当 $\theta \lambda v < Q$ 或 $\eta \lambda < B$ 时,假设二者的二次函数分别等于 $\frac{\theta}{2} \lambda^2 v^2$ 或 $\frac{\eta}{2} \lambda^2$ 。

模型中所涉及参数的含义如表 1 所示。

表 1 模型参数的含义

Tab. 1 Definitions of model parameters

| 模型参数 | 参数释义 |
|--------------------|--|
| $U(B, Q, \lambda)$ | 消费者效用 |
| Q | 使用量 |
| B | 单位时间连接速度 |
| λ | 消费者偏好类型 |
| v | 消费者对定价标准的敏感性, $v \geq 1$ 时,消费者对 Q 的变化比 B 的变化更为敏感 |
| θ | 表示使用量与效用的凹性,即随着使用量增加,总效用增量递减 |
| η | 表示连接速度与效用的凹性,即随着连接速度增大,总效用增量递减 |

本文中所采用的二次效用函数的形式最早由国外学者 Singh 等^[13]所提出,且被广泛应用于以线性需求函数为微观基础的经济学文献中。如 Sundararajan^[14]在其关于数字产品版权保护的文章中引用了一个可变成本为零的效用函数 $U(Q, \theta) = \theta Q - \frac{1}{2} Q^2$ 以说明卖家可以通过实施数字版权管理(digital rights management, DRM)系统影响盗版。同样,该函数形式也适用于本文对云计算服务定价进行研究。主要有以下三点原因,首先,其满足所有非线性定价文献中的规律性条件,如关于每个定价变量是递增函数,在本文中具体表现为消费者关于使用量(Q)和单位时间连接速度(B)总是偏好于更多的使用量和更快的连接速度,其次,需求曲线呈向下凹的形状表明消费者偏好关于 Q, B 是边际递减的。最后,这种函数形式由于其推导解析解的便捷性而被广泛应用。

2.3 分析

对于垄断供应商而言,消费者的边际支付意愿是隐性变量,因此消费者与云服务垄断运营商之间存在信息不对称的问题,以下对该情况下运营商采用不同定价标准时的最优定价方案进行分析与描述。

命题一: B 一定时,以 Q 为定价标准所决定的最优定价方案为:

$$\begin{aligned} B^* &= \lambda \eta, \\ Q^* &= \theta v (2\lambda - 1), \\ P^Q(\lambda) &= \frac{2}{9} (\theta v^2 + \eta), \\ \Pi^Q &= \frac{2}{27} (\theta v^2 + \eta). \end{aligned}$$

证明:假定此时云计算运营商采取 Q 为定价标准,供应商提供一组包含不同定价合约的定价方案 $\{Q(\lambda), P^Q(\lambda)\}$, 消费者根据其边际支付意愿选择任一定价合约 $(Q(\hat{\lambda}), P^Q(\hat{\lambda}))$, 此时消费者效用函数表示为:

$$U^Q(\lambda, \hat{\lambda}) = \lambda v Q(\hat{\lambda}) - \frac{1}{2\theta} (Q(\hat{\lambda}))^2 + \lambda B - \frac{1}{2\eta} B^2 - P^Q(\hat{\lambda}) \quad (2)$$

在既定的定价单位下,消费者将选择一个最优的单位时间连接速度以最大化其效用。根据最大化的一阶条件, $U^Q(\lambda, \hat{\lambda})$ 对连接速度 B 求偏导, 即:

$$\frac{\partial U^Q(\lambda, \hat{\lambda})}{\partial B} = \lambda - \frac{B}{\eta} = 0, B^* = \lambda \eta。$$

将所求得的 B^* 代入式(2)中,得到有效效用

函数为:

$$U^O(\lambda, \hat{\lambda}) = \lambda v Q(\hat{\lambda}) - \frac{1}{2\theta}(Q(\hat{\lambda}))^2 + \frac{\eta}{2}\lambda^2 - P^O(\hat{\lambda}) \quad (3)$$

此时, 供应商的最优问题可以描述为激励相容约束^[15] ($IC-M: U^O(\lambda) \geq U^O(\lambda, \hat{\lambda}), \forall \lambda, \hat{\lambda}$) 及个人理性约束 ($IR-M: U^O(\lambda) \geq 0, \forall \lambda$) 下的利润最大化, 表示为:

$$\Pi^O = \max_{Q(\lambda), P^O(\lambda)} E_i[P^O(\lambda)] \quad (4)$$

约束条件中, 激励相容约束引导消费者选择效用更大的定价合约, 而个人理性约束可以保证消费者愿意参与定价合约的选择。此时供应商的期望利润为:

$$\int_{\lambda}^1 P(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda}^1 U^O(\lambda) - \frac{\partial U^O(\lambda)}{\partial \lambda} (1-\lambda) d\lambda \quad (5)$$

将 B^* 代入式(1)得到 $U^O(\lambda)$:

$$U^O(\lambda) = \lambda v Q - \frac{1}{2\theta} Q^2 + \frac{1}{2} \eta \lambda^2 \quad (6)$$

将式(6)代入式(5)并简化, 期望利润为:

$$\int_{\lambda}^1 (2\lambda v - v) Q - \frac{1}{2\theta} Q^2 + \frac{3}{2} \eta \lambda^2 - \eta \lambda d\lambda \quad (7)$$

为使期望利润最大, 则被积函数应达到最大值, 可以看出被积函数中关于 Q 有:

$$h(Q) = (2\lambda v - v) Q - \frac{1}{2\theta} Q^2 \quad (8)$$

为使 $h(Q)$ 达到最大值, 根据最大化的一阶条件, 关于 Q 求导。

$$\frac{dh(Q)}{dQ} = 2\lambda v - v - \frac{1}{\theta} Q, Q^* = \theta v(2\lambda - 1)$$

当 $\theta \lambda v < Q$ 或 $\eta \lambda < B$ 时, 消费者净效用函数为:

$$U^O(\lambda, \hat{\lambda}) = \frac{1}{2} \theta \lambda^2 v^2 + \frac{1}{2} \eta \lambda^2 - P^O(\hat{\lambda}) \quad (9)$$

消费者是否选择购买云计算服务由等式 $\frac{1}{2} \theta \lambda^2 v^2 + \frac{1}{2} \eta \lambda^2 - P^O = 0$ 决定, 则通过计算得到

$$\lambda = \sqrt{\frac{2P^O}{\theta v^2 + \eta}}$$

由于利润最大化的目标函数为:

$$f(P^O) = P^O \times \left(1 - \sqrt{\frac{2P^O}{\theta v^2 + \eta}}\right) \quad (10)$$

为确定 P^O_{\max} , 根据最大值一阶条件, 对目标函数 $f(P^O)$ 关于 P^O 求导。

$$\frac{df(P^O)}{dP^O} = 1 - \frac{3}{2} \sqrt{\frac{2}{\theta v^2 + \eta}} (P^O)^{\frac{1}{2}} = 0, P^O = \frac{2}{9} (\theta v^2 + \eta)$$

代入利润最大化目标函数 $f(P^O)$, 得到最大化利润为 $\Pi = \frac{2}{27} (\theta v^2 + \eta)$ 。

命题二: Q 一定时, 以 B 为定价标准所决定的

最优定价方案为:

$$Q^* = \lambda v \theta,$$

$$B^* = \eta(2\lambda - 1),$$

$$P^B(\lambda) = \frac{1}{2} (\theta v^2 + \eta) \left(\frac{8 + 4\eta - \theta v^2}{24}\right)^2 \times$$

$$\Pi^B = \frac{1}{2} (\theta v^2 + \eta) \left(\frac{8 + 4\eta - \theta v^2}{24}\right)^2 \times \left(1 - \frac{8 + 4\eta - \theta v^2}{24}\right)。$$

证明: 此时消费者净效用函数表示为:

$$U^B(\lambda, \hat{\lambda}) = \lambda v Q - \frac{1}{2\theta} Q^2 + \lambda B(\hat{\lambda}) - \frac{1}{2\eta} B(\hat{\lambda})^2 - P^B(\hat{\lambda}) \quad (11)$$

同样的, 在既定的定价标准下, 消费者将选择一个最佳使用量以最大化其效用。

根据最大化的一阶条件, $U^B(\lambda, \hat{\lambda})$ 对使用量 Q 求偏导。

$$\frac{\partial U^B(\lambda, \hat{\lambda})}{\partial Q} = \lambda v - \frac{1}{\theta} Q = 0, Q^* = \lambda v \theta。$$

将 Q^* 代入式(11)中, 得到有效效用函数为:

$$U^B(\lambda, \hat{\lambda}) = \lambda^2 v^2 \theta - \frac{1}{2} \theta \lambda^2 v^2 + \lambda B(\hat{\lambda}) - \frac{1}{2\eta} B(\hat{\lambda})^2 - P^B(\hat{\lambda}) \quad (12)$$

与命题一中约束条件相同, 此时供应商的最优问题可以描述为:

$$\Pi^B = \max_{B(\lambda), P^B(\lambda)} E_i[P^B(\lambda)]。$$

供应商的期望利润为:

$$\int_{\lambda}^1 P(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda}^1 U^B(\lambda) - \frac{\partial U^B(\lambda)}{\partial \lambda} (1-\lambda) d\lambda \quad (13)$$

此时, $U^B(\lambda)$ 为 Q^* 代入式(1)所得到, 即

$$U^B = \frac{1}{2} \theta \lambda^2 v^2 + \lambda B - \frac{1}{2\eta} B^2 \quad (14)$$

将式(14)代入式(13)并简化, 得到期望利润为:

$$\int_{\lambda}^1 (2\lambda - 1) B - \frac{1}{2\eta} B^2 + \frac{1}{2} \theta \lambda^2 v^2 d\lambda \quad (15)$$

为使期望利润最大, 则被积函数应达到最大值, 可以看出被积函数中关于 B 有 $\phi(B) = (2\lambda - 1) B - \frac{1}{2\eta} B^2$, 为使 $\phi(B)$ 达到最值, 根据最大化的一阶条件, 关于 B 求导:

$$\frac{d\phi(B)}{dB} = 2\lambda - 1 - \frac{1}{\eta} B = 0, B^* = \eta(2\lambda - 1)。$$

将 B^* 代入式(15)并简化得到:

$$\int_{\lambda}^1 4\lambda^3 - (4 + 2\eta - \frac{\theta v^2}{2}) \lambda^2 + (1 + 2\eta) \lambda - \frac{\eta}{2} d\lambda \quad (16)$$

同样的, 有 $\psi(\lambda) = 4\lambda^3 - (4 + 2\eta - \frac{\theta v^2}{2}) \lambda^2 + (1 + 2\eta) \lambda$, 根据求极大值的一阶、二阶条件

$$\frac{\partial \psi(\lambda)}{\partial \lambda} = 12\lambda^2 - 2(4 + 2\eta - \frac{\theta v^2}{2}) \lambda + (1 + 2\eta) > 0,$$

$$\frac{\partial^2 \psi(\lambda)}{\partial \lambda^2} = 24\lambda - 2(4 + 2\eta - \frac{\theta v^2}{2}) = 0,$$

$$\text{可以得到 } \lambda^* = \frac{8 + 4\eta - \theta v^2}{24}.$$

与命题一相同,当 $\theta \lambda v < Q$ 或 $\eta \lambda < B$ 时,消费者效用函数为:

$$UB(\lambda, \hat{\lambda}) = \frac{1}{2}\theta \lambda^2 v^2 + \frac{1}{2}\eta \lambda^2 - P^B(\lambda) \quad (17)$$

消费者是否选择购买云服务由等式 $\frac{1}{2}\theta \lambda^2 v^2 + \frac{1}{2}\eta \lambda^2 - P^B = 0$ 决定,将 λ^* 代入,得到

$$P_{\max}^B = \frac{1}{2}(\theta v^2 + \eta) \left(\frac{8 + 4\eta - \theta v^2}{24} \right)^2. \text{ 由于利润最大化的目标函数由 } f(P^B) = P^B \times (1 - \lambda) \text{ 确定,将 } \lambda^* \text{ 及 } P^B$$

代入,可以得到最大化利润为:

$$\Pi^B = \frac{1}{2}(\theta v^2 + \eta) \left(\frac{8 + 4\eta - \theta v^2}{24} \right)^2 \times \left(1 - \frac{8 + 4\eta - \theta v^2}{24} \right).$$

命题三:定价标准同时考虑 Q 及 B 时,所确定的最优定价方案为:

$$Q^* = \lambda v \theta,$$

$$B^* = \lambda \eta,$$

$$P^{Q,B} = \frac{1}{18}(\theta v^2 + \eta),$$

$$\Pi^{Q,B} = \frac{1}{27}(\theta v^2 + \eta).$$

证明:此时消费者净效用函数表示为:

$$U(Q(\hat{\lambda}), B(\hat{\lambda})) = \lambda v Q(\hat{\lambda}) - \frac{1}{2\theta} Q(\hat{\lambda})^2 + \lambda B(\hat{\lambda}) - \frac{1}{2\eta} B(\hat{\lambda})^2 - P(\hat{\lambda}) \quad (18)$$

根据多元函数的极值条件,分别将效用函数关于 Q 、 B 求偏导,即

$$\frac{\partial U}{\partial Q} = \lambda v - \frac{1}{\theta} Q = 0, \frac{\partial U}{\partial B} = \lambda - \frac{1}{\eta} B = 0.$$

则有 $Q^* = \lambda v \theta$, $B^* = \lambda \eta$. 将计算结果代入式(18)中,得到有效效用函数为:

$$U(Q(\hat{\lambda}), B(\hat{\lambda})) = \frac{\theta}{2} \lambda^2 v^2 + \frac{\eta}{2} \lambda^2 - P(\hat{\lambda}) \quad (19)$$

约束条件与命题一、命题二相同,此时供应商的最优问题可以描述为:

$$\Pi^{Q,B} = \max_{Q(\lambda), B(\lambda), P^Q(\lambda)} E_{\lambda}[P^{Q,B}(\lambda)] \quad (20)$$

供应商期望利润为: $\int_{\lambda}^1 P(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda}^1 U(\lambda) - \frac{\partial U(\lambda)}{\partial \lambda} (1 - \lambda) d\lambda$, 将式(19)代入并简化,得到供应商期望利润为:

$$\int_{\lambda}^1 \left(\frac{3}{2}\theta \lambda^2 v^2 + \frac{3}{2}\eta \lambda^2 - \theta \lambda v^2 - \eta \lambda \right) d\lambda \quad (21)$$

为使期望利润最大,则被积函数达到最大值,可以看出被积函数关于 λ 有 $g(\lambda) = \frac{3}{2}\theta \lambda^2 v^2 +$

$\frac{3}{2}\eta \lambda^2 - \theta \lambda v^2 - \eta \lambda$, 为使 $g(\lambda)$ 达到最大值,根据最大化的一阶条件,对 λ 求导为:

$$\frac{dg(\lambda)}{d\lambda} = 3\theta \lambda v^2 + 3\eta \lambda - \theta v^2 - \eta = 0, \lambda^* = \frac{1}{3}.$$

与命题一相同,消费者是否选择购买云服务由等式 $\frac{1}{2}\theta \lambda^2 v^2 + \frac{1}{2}\eta \lambda^2 - P(\lambda) = 0$ 决定,将 λ^* 代入,得到 $P_{\max}^{Q,B} = \frac{1}{18}(\theta v^2 + \eta)$. 利润最大化的目标函数由 $f(P^{Q,B}) = P^{Q,B} \times (1 - \lambda)$ 确定,将 λ^* 及 $P^{Q,B}$ 代入,可以得到最大化利润为 $\Pi^{Q,B} = \frac{1}{27}(\theta v^2 + \eta)$.

2.4 比较

推论一:当且仅当 $\eta < 3\theta v^2 + 1$, 以 B 为定价标准确定供应商利润大于以 Q 为定价标准,此时同时考虑 Q 、 B 确定定价标准时,供应商利润最小,即 $\Pi^B > \Pi^Q > \Pi^{Q,B}$. 此时, B 为定价标准对于供应商而言更为盈利,因此此时供应商更倾向以 B 为定价单位; $\eta > 3\theta v^2 + 1$ 时,按定价标准不同所确定的供应商利润排序为: $\Pi^Q > \Pi^B > \Pi^{Q,B}$, 即该情况下供应商若以 Q 为定价标准将获得最大利润。

证明

将以 Q 为定价标准计算出的最佳使用量 $Q^* = \theta v(2\lambda - 1)$ 代入式(7)中的被积函数并简化,可以得到被积函数为:

$$\frac{1}{2}\theta v^2(2\lambda - 1)^2 + \frac{3}{2}\eta \lambda^2 - \eta \lambda \quad (22)$$

将式(16)中的被积函数与式(22)相减,即:

$$4\lambda^3 - (4 + \frac{7}{2}\eta - \frac{3}{2}\theta v^2)\lambda^2 + (1 + 3\eta + 2\theta v^2)\lambda - \frac{\eta}{2} - \frac{\theta}{2}v^2 \quad (23)$$

可以看出式(23)为关于 λ 的三次多项式,且随 λ 递增,由假设中知 $\lambda \sim U[0, 1]$, 则当 $\lambda = 1$ 时,式(23)为 $3\theta v^2 - \eta + 1$, 当且仅当 $3\theta v^2 - \eta + 1 > 0$ 时,即 $\eta < 3\theta v^2 + 1$ 时,以 B 为定价单位与以 Q 为定价单位的期望利润之差大于零,由命题3有 $\Pi^{Q,B} < \Pi^Q$, 结合 $\Pi^B < \Pi^Q$ 有: $\Pi^B < \Pi^Q < \Pi^{Q,B}$, 当 $3\theta v^2 - \eta + 1 < 0$ 时,即 $\eta > 3\theta v^2 + 1$ 时,以 Q 为定价单位的期望利润大于以 B 定价,此时将式(16)与式(21)中被积函数相减并简化得到:

$$4\lambda^3 - 4\lambda^2 + \frac{7}{2}\eta \lambda^2 - \theta v^2 \lambda^2 + \lambda + 3\eta \lambda - \frac{\eta}{2} + \theta \lambda v^2 \quad (24)$$

与式(23)类似,式(24)也是关于 λ 的多项式,当 $\lambda = 1$ 时,式(24)为 $1 + 6\eta$, 该式始终大于0,因此,以 B 为定价标准所确定的最大利润此时大于定价标准同时考虑 Q 、 B 的情况,即 $\eta > 3\theta v^2 + 1$ 时,

有 $\Pi^Q > \Pi^B > \Pi^{Q,B}$ 。

推论二: 当 $\eta \in (3\theta v^2 + 1 - \tau, 3\theta v^2 + 1 + \tau)$, $\tau > 0$ 时, 可以通过合作协调, 成本分摊等机制实现以 B 与 Q 为定价单位时的效果相同。

证明 在推论二中, $\eta < 3\theta v^2 + 1$ 时, $\Pi^B > \Pi^Q > \Pi^{Q,B}$, 为弥补定价标准分别为 Q 及综合考虑 $Q、B$ 时利润较低的效果, 可以建立一个整体性的合作协调机制, 优化 IT 部门的组织结构, 以进一步提高定价标准综合考虑 $Q、B$ 或定价标准仅为 Q 时的低效率, 以使 $Q+B$ 为定价标准或 Q 为定价标准时所获得的期望利润等于以 B 为定价标准时的期望利润。

3 数值算例

为了更为直观的分析定价标准不同对最佳定价方案的影响, 以下对各参数进行赋值, $v=2, \theta=\eta=1$, 此时基准模型变为:

$$U(B, Q) = 2\lambda Q - \frac{1}{2}Q^2 + \lambda B - \frac{1}{2}B^2 - P(\lambda) \quad (25)$$

此时, 对三种定价方案中消费者效用及供应商利润进行比较和分析, 以进一步说明定价标准的选择对定价方案所产生的重要影响。

如图 1 所示, 尽管定价标准不同, 但消费者效用均为递增趋势。这表明, 不论采用何种定价标准, 消费者效用总是随着使用量或连接速度的增加而递增, 即定价标准的选择并不会对消费者效用产生重要影响。同时也表明定价标准的选择可以部分抵消消费者偏好异质性的负面影响, 此处的负面影响指消费者偏好的定价标准与供应商所选择的定价标准不一致时, 会减少一部分消费者效用。因此, 不论消费者偏好何种定价标准, 其效用总是增加的, 这就使得定价方案保留了更多消费者剩余, 这对于消费者而言是颇有好处的。

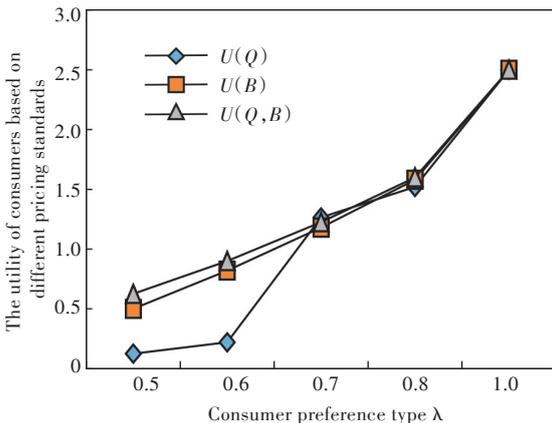


图 1 不同定价标准下的消费者效用

Fig. 1 Consumer utility based on different pricing standards

最后, 对不同定价标准确定的最优定价方案中的供应商利润进行分析如图 2 所示, 观察和分析图 2, 可以看出供应商利润关于横轴向下凹, B 及 Q 为定价标准时, 供应商利润近似相交于最大值点, 进一步观察, 可以发现当利润呈上升趋势时, 以 B 为定价标准确定的供应商利润总是最大; 而利润下降阶段, 定价标准同时考虑 $Q、B$ 时的供应商利润总是最小的。这两个特征突出表明了不同的定价标准对供应商利润具有重要影响, 即当消费者偏好类型为 0.575 时, 三种定价标准中以 B 为定价标准所确定的供应商利润最大; 当消费者偏好类型大于 0.575 时, 供应商利润总是呈降低趋势。

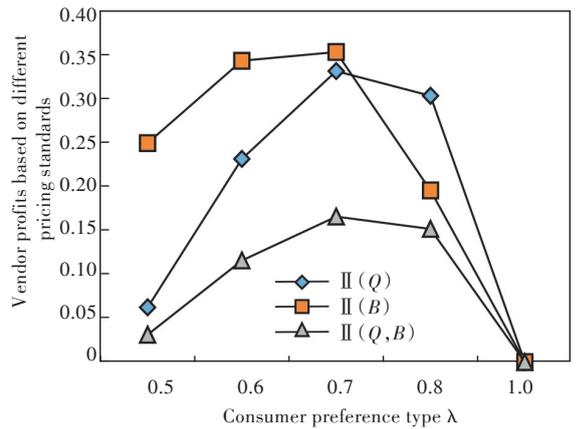


图 2 不同定价标准下的供应商利润

Fig. 2 Supplier profit under different pricing standards

因此, 提出根据消费者偏好存在差异的实际情况, 供应商应首先考虑采用 B 为定价标准以获得最大利润。

4 结语

结合云计算服务市场在实际定价过程中所存在的供应商定价标准不科学的实际情况, 通过构建消费者效用函数模型分析了定价标准的选择对最优定价方案的影响, 并分别从供应商角度及消费者角度进行了研究分析, 认为选择单位时间连接速度 B 为定价标准可以使供应商利润进一步增大。此外, 所利用的模型还可以扩展到以下方面: 首先, 可以假定消费者能够准确预测服务使用量来研究此时定价机制的决策问题。其次, 可以考虑评估消费者对于不同定价指标的心理反应, 对消费者行为经济学进行研究论证。