

多接口移动主机用户与网络服务提供商间的 动态博弈过程分析与求解

张春燕 徐 恪 钟宜峰 张 赛 赵英川

(清华大学计算机科学与技术系 北京 100084)

摘 要 该文主要研究了网络服务市场中的两大类群体的动态博弈关系:网络服务提供商(ISP)提供服务,多接口移动主机用户选择服务.首先,建立了网络服务市场中ISP的服务组合和多接口移动主机用户的交互模型.其次,使用非合作博弈理论分析了独占垄断市场中的讨价还价博弈和寡头垄断市场中的动态博弈过程,论证了在理想条件下,ISP推出多种不同于其他ISP的服务组合时可以获得更多用户和收益,并得出:有限次重复博弈的子博弈精炼纳什均衡是每一阶段各个ISP均调整至相同服务组合,最终结果是ISP为每个用户制定一套服务组合;无限次重复博弈在特定条件下,存在一个特定的子博弈精炼纳什均衡,即所有ISP均不调整服务组合.最后,通过仿真验证了在独占垄断市场中ISP的价格垄断地位,给出了ISP定价的建议,验证了在寡头垄断市场中ISP动态博弈的过程,给出了根据用户群体特征制定服务组合的方法.

关键词 多接口移动主机;动态博弈过程;独占垄断市场;寡头垄断市场;讨价还价博弈;纳什均衡;移动互联网
中图法分类号 TP393 **DOI号** 10.3724/SP.J.1016.2013.01413

Dynamic Game Procedure Analyzing and Solving Between Multiple Interface Mobile Host Users and Internet Service Providers

ZHANG Chun-Yan XU Ke ZHONG Yi-Feng ZHANG Sai ZHAO Ying-Chuan
(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract This paper focuses on the dynamic game relationship between ISPs and host users in the Internet service market, where ISPs provide services and multiple interface mobile hosts select services. Through the Internet service market modeling, service composition and host users, bargaining in the Exclusive Monopoly market and the dynamic game procedure in the Oligopoly market have been analyzed by the non-cooperative game theory. Further, it has been proved that under an ideal condition, consumers could gain more profits if an ISP offers various unique service combinations. It shows that the finitely repeated game's sub-game perfect Nash equilibrium is every stage game adjusting to the same strategy, and the final result is that ISPs develop a service combination for each user; for the infinitely repeated game under certain conditions, there is a specific sub-game perfect Nash equilibrium. That is, none of the ISPs adjusts to the strategy. At last, suggestions for ISPs in the price making process is given by the confirmation of the ISP price monopoly position in the Exclusive Monopoly market through experiments, and the methods of

收稿日期:2012-10-10;最终修改稿收到日期:2013-04-13. 本课题得到国家“九七三”重点基础研究发展规划项目基金(2009CB320501, 2012CB315803)、国家自然科学基金(61170292, 60970104)、国家科技重大专项基金(2012ZX03005001-001)、国家“八六三”高技术研究发展计划项目重大课题(2013AA013302)和国家科技支撑计划课题(2011BAK08B05-02)资助. 张春燕,女,1987年生,硕士,主要研究方向为无线网络、多接口移动主机性能优化和流量分配. E-mail: cyzhang87@gmail.com. 徐 恪,男,1974年生,博士,教授,主要研究领域为下一代互联网、交换和路由结构、P2P网络、overlay网络、物联网. 钟宜峰,男,1989年生,博士研究生,主要研究方向为互联网经济学和网络经济学. 张 赛,男,1988年生,硕士研究生,主要研究方向为在线社交网络. 赵英川,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向为下一代互联网、物联网.

service combinations selection based on the features of user groups will be developed by testing the ISP dynamic game procedure in the Oligopoly market.

Keywords multiple interface mobile host; dynamic game procedure; Exclusive Monopoly market; Oligopoly market; bargaining; Nash equilibrium; mobile Internet

1 引 言

目前移动网络服务市场中主要网络服务提供商 (ISP) 有中国移动、中国电信和中国联通. 使用网络服务的移动主机普遍具有多个网络接口, 并可以由这些不同的接口通过不同的 ISP 接入到 Internet 中^[1]. 有利益必然有纷争, ISP 间明争暗斗争夺市场用户和利润, 而用户也有权选择 ISP 及提供的网络服务. 从经济学角度来看, 提供服务的 ISP 与选择服务的用户间存在着动态博弈关系.

在经济学中, 按竞争的方式将市场划分为完全竞争市场^[2]和不完全竞争市场^[3]. 完全竞争是市场竞争的理想状态, 要求有足够多的卖家和买家, 且每个人不能单独影响市场价格. 不完全竞争是由美国经济学家克拉克提出来的, 他指出完全竞争只是一种竞争的理想状态, 而实际生活中并不存在.

本文所述的网络服务市场不具备完全竞争市场的严格的前提条件. 首先, 网络服务市场不可能达到任何一个 ISP 的进入和退出都不影响市场价格; 其次, ISP 提供的服务不可能完全同质, 这是由于 ISP 的研发技术不可能完全相同, 推出的服务种类也不尽相同; 最后, 市场参与者不可能完全了解各种信息, 如使用服务的成本及收入情况等. 综上所述, 网络服务市场是一个不完全竞争的市场.

在不完全竞争市场中存在着一定程度的垄断, 按组织形式对垄断市场进行分类, 可分为独占垄断市场^[4]、寡头垄断市场^[5]和联合垄断市场^[6].

对于网络服务市场而言, 独占垄断市场中只有一个 ISP 提供服务; 寡头垄断市场中有多个 ISP 提供多种服务组合, 用户可根据自己的需求选择多个 ISP 和服务组合; 联合垄断市场中有多个 ISP 联合控制网络服务市场, 这种形式的垄断会对市场竞争过程进行遏制和阻碍, 对社会具有一定的危害^[7]. 从博弈角度来分析, 联合垄断是不稳固的. 当某个 ISP 为了获得更高的收益, 采取先进的生产工艺降低成本, 并调整服务组合, 从而获得了更多的用户和利润, 此时, 这种联合垄断形式就会被打破. 一旦这种

价格联盟被打破, 市场就转变为寡头垄断市场.

本文使用经济学中非合作博弈理论研究网络服务市场中 ISP 和用户间的动态博弈关系. 之所以不采用合作博弈理论的原因在于, 合作博弈强调的是团体理性, 而非合作博弈强调的是个人理性、个人最优策略, 因此处于竞争关系的参与者之间很难达成一个具有约束力的协议^[8]. 另外, 本文在独占垄断市场的分析中使用基于非合作博弈理论的讨价还价博弈^[9].

本文的主要贡献有以下几点:

(1) 建立了通用的服务组合模型和多接口移动主机用户模型;

(2) 使用讨价还价理论分析了独占垄断市场中 ISP 与用户的博弈, 并使用动态博弈理论分析了寡头垄断市场中 ISP 之间的博弈, 给出了 2 个定理和 3 个结论;

(3) 调研了移动主机消费者的消费偏好数据, 并以此为基础进行实验分析, 证实了在独占垄断市场中 ISP 的价格垄断地位, 给出了 ISP 定价的建议以及验证了在寡头垄断市场中 ISP 动态博弈的过程, 并给出了根据用户群体特征制定服务组合的方法.

本文第 2 节介绍在这个领域内的当前国内外相关研究工作; 第 3 节对网络服务市场中 ISP 的服务组合和多接口移动主机用户进行建模; 第 4 节介绍多接口移动主机用户与 ISP 之间的动态博弈过程; 第 5 节通过实验验证在独占垄断市场和寡头垄断市场中的动态博弈的过程, 并给出各自的求解方法; 第 6 节对本文工作进行总结, 并指出进一步的工作内容.

2 相关工作

本文的研究内容包括服务组合模型的建立、ISP 和用户的动态博弈关系及用户效用和 ISP 成本计算, 下面分别从这几个方面对目前国内外研究现状进行介绍.

当前, 研究网络服务市场中 ISP 的服务组合模型的工作较多, 例如, 文献^[10]综述了内容分发网络 (CDN) 和 P2P 网络的 3 种基本的网络资源价格模

型,分别是基于平价定价、基于使用量定价和基于拥塞控制的定价,并提到存在这几种定价的混合模型,例如基于平价和使用量的混合价格模型^[11],本文中的服务即采用这种混合模型。

研究 ISP 和用户动态博弈关系的工作还较少,但服务定价方法^[10-20]的工作较多,总的来讲有两种研究思路:(1)系统最优化理论;(2)基于合作博弈或非合作博弈的参与者策略优化方式。首先,系统最优化理论这种思路的主要目标是使得网络效用最大化^[10,12-14],目前研究工作较为深入。例如,文献[12]研究了在网络传播市场中的上层 ISP 与下层 ISP 或者机构之间的分层收费问题,目标是分析当前的分层定价方式在整个网络传输市场中是否接近最优,以及最优策略是否存在。这篇文章建立的用户需求模型和 ISP 费用模型对我们的工作有一定的启发,但由于其解决的问题是 ISP 市场一端,没有涉及用户端的服务选择问题,因此与本文工作存在较大差异。其次,使用经济学中基于合作博弈理论研究网络定价和 P2P 网络交互的工作也较为深入和全面,例如,文献[15]分析了 P2P 网络中接入端 ISP 和 PCP (Peer-assisted CPs)间的基于纳什均衡的讨价还价解(NBS),从而系统可以运行在公平的帕累托最优点上。此文章虽与本文的网络应用场景不同,但其使用的基于纳什均衡的讨价还价解决方案可以借鉴。文献[16]提出了一种基于合作博弈理论的网络定价理念,指出在 QoS 模型中讨价还价博弈能够带来宏观较优的结果,而领导者跟随者博弈则并不是帕累托最优解。虽然基于合作博弈的研究较多且理论较为成熟,但经济学家发现实际情况中参与者之间却往往不是合作博弈的关系。目前使用非合作博弈理论研究网络服务市场中 ISP 和用户动态博弈关系的工作较少。

在多接口移动主机用户端效用计算方面,文献[1]通过对移动主机与 Internet 间通信进行简化和建模,提出了一种基于主动探测可用路径的最优化费用和性能的流量分配方法。此方法可用于本文中的用户端效用选择策略中。在 ISP 成本计算方面,文献[12]指出,既然无法估计成本的不确定性因素(基站数目、用户位置、电费等),那么就穷举出可能存在的成本模型用于他们的实验。这个模型建立在两个假设基础上,首先假设 ISP 所负载的流量与总成本成正比关系;第二,假设单位成本是一个与距离相关的函数。本文与这篇文章的场景不同,因此不能采用此方法。文献[21]提供了一种设备运行成本与网络

规模成对数关系的成本计算方案,这种方案对成本的估算较为笼统,但由于本文中成本对所研究的问题影响不大,可借鉴这种方法。

3 网络服务市场建模

网络服务市场有两大类群体,提供网络服务的 ISP 和选择使用服务的多接口移动主机用户。本节主要介绍 ISP 的服务组合模型和多接口移动主机用户模型。

首先对本文中所用到的标记和变量进行声明,在未提前声明的情况下,本文所用符号的意义均参照表 1 中的解释。

表 1 标记和变量声明

符号	描述	实验参考值
USER	多接口移动主机总数	10^5
I	ISP 的数量, i 为 ISP 的索引	[1,10]
α	成本与服务量和用户规模关系参数	0.01
β	ISP 成本中与服务使用量无关部分	10^5
val	ISP 的评价因子	1,2
λ	用户需求对服务价格变化的敏感度	(0,10]
ρ	用户费用和性能的折中参数	(0,∞)
$Plan_i$	ISP_i 提供的服务组合	—
π_i	ISP_i 的服务收益	—
$Income_i$	ISP_i 的总收入	—
$Cost_i$	ISP_i 的总成本	—

3.1 网络服务提供商的服务组合模型

通过调研市场上的几家主要 ISP,得出两条结论:(1)ISP 可提供语音通话、短信、数据流量、可视电话等多种服务;(2)对于每一种服务,ISP 根据人群需求量设置不同的服务区间。每种服务的基本收费形式均为:预交费用加超出免费部分的费用。这是价格歧视的一种区间定价方法^[22],用以获得用户的未使用服务量所带来的利润。

对上述信息进行抽象,可得出 ISP 的服务组合模型。假设 ISP 可提供 n 种服务, ISP_i 推出的第 k 种服务区间的数目为 m_{ki} , $m_i = \sum_{k=1}^n m_{ki}$, $k=1,2,\dots,n$ 。则 ISP_i 的服务组合模型如下:

$$Plan_i = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m_i,1} & x_{m_i,2} & x_{m_i,3} \end{pmatrix}, \quad i=1,2,\dots,I.$$

其中 $Plan_i$ 矩阵第 1 列表示某种服务的预交费用,第 2 列表示免费区间服务量,第 3 列表示超出免费区间收费标准。

3.2 多接口移动主机用户模型

通过调研使用 ISP 服务的多接口移动主机用户,可知用户的服务需求服从某种统计规律(如正态分布).将服务需求量记为 $Demand$,其概率密度函数记为 $demand(x)$,可在实验中根据调研数据进行拟合得到.我们针对不同的市场形态,分别使用两种服务需求模型对用户的服务需求进行描述.

(1) 固定弹性需求(CED)模型^[12].在独占垄断市场下,用户只能使用这个唯一的 ISP 提供的服务.此时,用户对服务的平均需求与服务价格的变化是相关联的.这种需求称之为固定弹性需求,建立在 alpha-fair 效用模型^[23]基础上.用户的平均需求量随价格变化的函数关系为

$$\bar{Q}(price) = \left(\frac{val}{price} \right)^\lambda.$$

其中, val 表示 ISP 的评价因子, $price$ 表示 ISP 所设定的服务价格, λ 表示用户需求对服务价格变化的敏感度;

(2) 效用最优需求模型.在寡头垄断市场下,多接口移动主机可同时接入不同的 ISP 中.效用最优需求模型是指用户总选择对自己效用最大的 ISP 和服务组合.

用户的效用评价函数为费用和性能的最优化.采用文献[1]中对于费用和性能的建模,选择最优化费用和性能的双目标函数:

$$\min Z = Payment + \rho PerfMeasurement (\rho \in [0, \infty)).$$

其中, ρ 是费用和性能的折中参数,根据移动主机的需求而定, ρ 取值越小,说明用户越注重较低费用,反之越大,说明用户越注重较好的性能.

4 动态博弈过程分析

本节先对用户付费和 ISP 收益进行计算,然后分别对两种市场形态中用户和 ISP 的博弈关系进行分析.

4.1 多接口移动主机用户付费计算

移动主机可以通过多个接口接入至不同的 ISP,因此可同时选择多个 ISP 和多种服务组合.

由 3.1 节的服务组合模型可知,对于某个特定用户,若选择了 ISP_i 的服务区间 $p(x_{p1}, x_{p2}, x_{p3})$,使用的服务量为 q ,则所需缴纳的费用如下:

$$Payment(q, i, p) = \begin{cases} x_{p1}, & q \leq x_{p2} \\ x_{p1} + (q - x_{p2}) \times x_{p3}, & q > x_{p2} \end{cases}.$$

若选择了多项服务,则对这些费用进行累加.

4.2 网络服务提供商收益计算

ISP 的收益与总收入和总成本相关,下面介绍 ISP 的总收入和总成本的计算,进而获得 ISP 的总收益.

4.2.1 总收入计算

假设在 t 时刻用户总数量为 $u(t)$, ISP_i 所拥有的用户总数为 $u_i(t)$,选择 ISP_i 的服务区间 k 的用户数目为 $u_{ik}(t)$,由于用户可选择多个 ISP 和多套服务组合,则

$$\sum_{k=1}^n u_{ik}(t) \geq u_i(t), \sum_{k=1}^n u_i(t) \geq u(t), i = 1, 2, \dots, I.$$

从用户需求模型可知,用户的需求服从某种统计规律.选用分片方式对用户付费进行计算,将用户的服务需求分成若干片,逐一计算出每片中用户的付费,再进行累加求和,具体操作步骤如下.

1. 将用户需求分为长度为 s 的片段,计算落在某个片中的用户数目,计算公式如下:

$$\begin{aligned} users &= u(t) \times P(ks \leq X < (k+1)s) \\ &= u(t) \times \int_{ks}^{(k+1)s} demand(x) dx, \\ k &= 0, 1, \dots. \end{aligned}$$

结束条件为 $users < \epsilon$ (ϵ 为边界阈值常数).

2. 对于这些用户,每个用户根据其效用最优原则选择某个 ISP 的某种服务组合,假设某个用户的服务需求组合为 q_j ($j = 0, 1, \dots, users$),用户选择 ISP_i 的服务组合为 $\{p_m | m = 1, 2, \dots, m_i\}$.对于第 k 个分片 s , ISP_i 总收入(包含成本的毛收入)公式如下:

$$Income_i^k = \sum_{j=1}^{users} \sum_m Payment(q_j, i, p_m).$$

3. ISP_i 的总收入为所有 k 个片段的累加求和:

$$Income_i = \sum_k Income_i^k.$$

4.2.2 总成本计算

由于成本与很多不确定因素相关,如基站数目、用户位置、电费等,或者其中会涉及商业机密,ISP 不会将其成本公布出来,造成了我们无法准确估计成本.

文献[21]提出设备平均每月开销成本与网络规模成对数关系,加之本文的 ISP 的成本主要和服务量关系较大,因此假设 ISP 成本函数如下:

$$Cost(q) = \alpha \log(u_i(t) \times q) + \beta.$$

其中, α 为成本与服务使用量和用户规模关系参数, β 为 ISP 成本中与服务使用量无关部分.

4.2.3 总收益计算

ISP 的收益为总收入减总成本,则 ISP_i 收益为

$$\pi_i(Q) = Income_i(Q) - Cost_i(Q).$$

后续博弈分析中,ISP 的支付即为该收益函数,即 ISP 的目标是最大化自身收益。

4.3 两种市场模式下的动态博弈过程分析

4.3.1 独占垄断市场

在独占垄断市场中,ISP 对市场价格拥有绝对控制权,但用户可以主动选择购买服务量的多少,ISP 与用户间是一种讨价还价博弈^[9]。博弈的参与者是 ISP 和用户,ISP 的战略空间是{涨价,降价},支付函数是运营商收益,用户的战略空间是{增量购买,减量购买},支付函数是用户付费。

ISP 与用户的博弈过程如图 1 所示。最初,ISP 推出服务 p_0 ,用户购买服务量为 q_0 ,则 ISP 和用户的支付为 $(-Payment(q_0, 1, p_0), \pi(q_0))$ 。当 ISP 选择升价推出 p_1 时,则用户选择减量 Δq_1 购买服务量,此时 ISP 和用户的支付为 $(-Payment(q_0 - \Delta q_1, 1, p_1), \pi(q_0 - \Delta q_1))$;当 ISP 选择降价时,用户增量 Δq_2 购买服务量,则 ISP 和用户的支付为 $(-Payment(q_0 + \Delta q_2, 1, p_2), \pi(q_0 + \Delta q_2))$ 。此时,若 ISP 可以接受这个收益,则博弈结束,否则,继续进行讨价还价博弈。

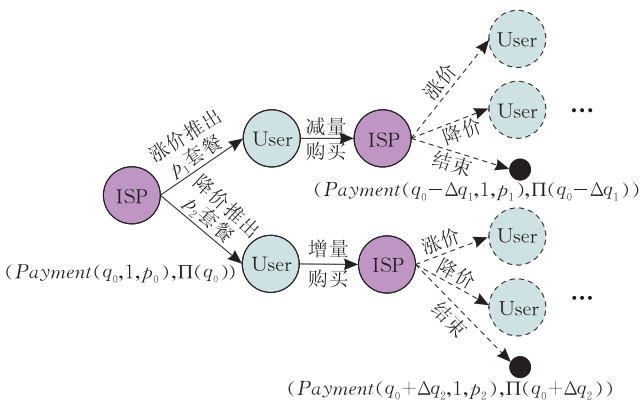


图 1 ISP 与用户讨价还价博弈动态过程

4.3.2 寡头垄断市场

在寡头垄断市场中,用户有多个 ISP 和多种服务组合可供选择。博弈的参与者是各个 ISP,战略空间是{调整,不调整},支付函数是 ISP 收益。举个例子,假设有两家服务提供商 ISP_1 和 ISP_2 ,初始时,两家推出相同服务组合,收益分别是(5,5);若一方调整服务组合,则这一方获得较高收益 6,另外一方收益降低为 2;若两方均调整服务组合,则又均分市场份额,收益分别为(3,3)。需要说明的是,这里的收益取值关系符合有冲突的非合作博弈模型的一般性要求,具体的取值大小不影响本文的分析结论。

假设 ISP_1 先进行决策, ISP_2 观测到 ISP_1 的选择后决策,这个博弈的扩展表述如图 2 所示。记为

Y :调整, N :不调整。

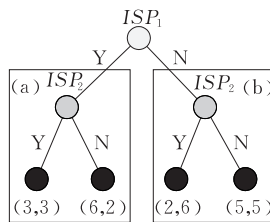


图 2 两个 ISP 的博弈树

ISP_1 的战略空间是 $\{Y, N\}$, ISP_2 有 4 个纯战略,分别为:(1) 不论 ISP_1 调整不调整, ISP_2 调整;(2) ISP_1 调整 ISP_2 调整, ISP_1 不调整 ISP_2 不调整;(3) ISP_1 调整 ISP_2 不调整, ISP_1 不调整 ISP_2 调整;(4) 不论 ISP_1 调整不调整, ISP_2 不调整。因此 ISP_2 的战略空间可记为 $\{\{YY\}, \{YN\}, \{NY\}, \{NN\}\}$ 。博弈的战略表达式如表 2 所示。

表 2 两个 ISP 博弈的战略式表述

		ISP_2			
		YY	YN	NY	NN
ISP_1	Y	(3,3)	(3,3)	(6,2)	(6,2)
	N	(2,6)	(5,5)	(2,6)	(5,5)

分析可知,这个博弈只有一个纯战略纳什均衡,为 $\{Y, \{YY\}\}$,且 $\{YY\}$ 既在子博弈 (a) 又在子博弈 (b) 中构成纳什均衡,因此 $\{Y, \{YY\}\}$ 是这个博弈唯一的子博弈精炼纳什均衡。

但本问题并不是一次博弈就可以解决的,在双方均调整服务组合后,又进入下一次的博弈过程,因此是一个重复博弈的过程。若这个过程是有限次重复博弈,则该问题的唯一子博弈精炼纳什均衡是每一阶段博弈均选择 $\{Y, \{YY\}\}$;若这个过程是无限次重复博弈,可知当两个 ISP 均选择不调整时,双方收益均大于均选择调整时的收益。因此 ISP 可选择冷酷策略:(1) 开始选择不调整;(2) 选择不调整直到一方选择调整策略,然后永远选择调整策略。则根据无名氏定理可知,存在贴现因子 $\delta^* < 1$,使得对于所有 $\delta \geq \delta^*$,ISP 均选择不调整是一个特定的子博弈精炼纳什均衡,下面计算这个 δ^* :

$$6 + 3\delta + 3\delta^2 + \dots \leq 5 + 5\delta + 5\delta^2 + \dots$$

或

$$6 + \frac{3\delta}{1-\delta} \leq \frac{5}{1-\delta}$$

解上述条件得 $\delta \geq \frac{1}{3}$,即 $\delta^* = \frac{1}{3}$ 。此时,两个 ISP

均选择不调整策略会有较高收益。

可知,ISP 间动态重复博弈过程按以下规律进

行:(1)进入市场的 ISP 与原 ISP 采用相同的策略,用户重新选择 ISP 和服务组合;(2)某些 ISP 为了吸引更多用户以获得更大收益,推出多种不同的服务组合,用户理性选择对自己效用最大的服务组合;(3)未调整策略的 ISP 遭受用户数目减少和收益降低,这些 ISP 也选择调整其组合策略;第 2 和 3 步反复进行,直到最后达到市场暂时稳态。

假定网络服务市场是公平竞争市场,均可提供各种网络服务,均面向相同的用户群体,称这些条件为理想条件.假设 G 是 I 个 ISP 间的阶段博弈, $G(T)$ 是 G 重复 T 次的重复博弈.下面分别分析 $G(T)$ 是有限次重复博弈 ($T < \infty$) 和无限次重复博弈 ($T = \infty$) 的情况.

定理 1. 在理想条件下,某个网络服务提供商推出多种不同于其他网络服务提供商的服务组合时可以获得更多用户和收益. ISP 与用户间阶段博弈 G 有唯一的纳什均衡解,为各个 ISP 均调整至相同服务组合,均分市场用户和收益.

证明. 定理 1 证明过程见附录,此处略去.

从定理 1 可知,阶段博弈 G 有唯一的纳什均衡.则当 $G(T)$ 是有限次重复博弈时, $G(T)$ 的唯一子博弈精炼纳什均衡是阶段博弈 G 每一阶段均取这个唯一的纳什均衡^[8].当 $G(T)$ 是无限次重复博弈时,存在 $\delta^* < 1$,使得对于所有 $\delta \geq \delta^*$,ISP 均不调整策略是 $G(T)$ 的一个特定的子博弈精炼纳什均衡解.

若用户的服务需求量为 q ,选择服务提供商 ISP_i 的 p 服务 (x_{p1}, x_{p2}, x_{p3}),则用户单位服务费用记为

$$\bar{c}(q) = \frac{\text{Payment}(q, i, p)}{q}.$$

此单位服务费用必须大于网络服务提供商的单位服务成本,否则服务提供商将会亏本.

定理 2. 单位服务费用在用户的服务需求等于免费服务量时最低.

证明. 当服务量 $q \leq x_{p2}$ 时, $\bar{c}(q) = \frac{x_{p1}}{q}$, 求导得 $\frac{d\bar{c}(q)}{dq} = -\frac{1}{q^2} < 0$, 则最小值在 $q = x_{p2}$ 处取得. 当流量 $q > x_{p2}$ 时, $\bar{c}(q) = \frac{x_{p1} + (q - x_{p2}) \times x_{p3}}{q}$, 求导得 $\frac{d\bar{c}(q)}{dq} = -\frac{-x_{p1} + x_{p2} \times x_{p3}}{q^2} > 0$, 最小值仍在 $q = x_{p2}$ 处取得. 综上所述可知,

$$\min(\bar{c}(q)) = \frac{x_{p1}}{q} \Big|_{q=x_{p2}} = \frac{x_{p1}}{x_{p2}}. \quad \text{证毕.}$$

在现实生活中,一般博弈次数有限,因此可先考虑有限次重复博弈的结果.从定理 1 可知,多个 ISP 在市场驱动下会有限次重复博弈下去,直至每个用户都可以获得一种适合自己的服务组合.从定理 2 可知,当每个用户都拥有自己的服务组合时,即 $q = x_{p2}$,此时单位服务费用最低,最接近单位服务成本,因此服务提供商的纯收益会减少.总结以上定理和分析,可得以下 3 条结论.

结论 1. 在寡头垄断市场中,网络服务提供商若想获得较高利润,则需要推出多种服务组合.市场竞争结果是各家企业均分市场用户和份额,且总收益会随着博弈次数的增加而减少.

结论 2. 在理想状态下,重复博弈的结果是网络服务提供商为每个用户制定一套服务组合.

结论 3. 当每个用户都拥有适合自己的服务组合时,单位服务费用最低,此时单位服务费用接近服务成本.

5 仿真与分析求解

5.1 用户群体形态调研

我们选择具有代表性的数据流量服务进行调研,分析用户群体形态,这种方法也可以推广至其他网络服务中.

设计两种方式对用户群体进行调研.第 1 种方式是收集实验室 20 名同学半年(从 2011 年 9 月至 2012 年 2 月)的数据流量详细账单,这种方式的特点是用户数目少,群体具有相似性,如消费水平和环境相似等;第 2 种方式是采用网络调查问卷的方式调研网络用户的数据流量信息(问卷内容包括:选择使用的 ISP、数据流量套餐及 2011 年 11 月至 2012 年 2 月的数据流量等),共收集到有效问卷 792 份,这种方式的特点是用户数目庞大、分布范围广,且群体具有多样性.

图 3 和图 4 是针对同一个月分别面向实验室学生和网路用户进行数据统计和拟合的结果.对学生用户数据使用 Lilliefors Test^[24-25] 检验,检验结果为零,因此数据服从正态分布规律.对于网路用户,图 4 中有多个峰值点,总体并不服从正态分布,但局部服从正态分布.这是由于不同群体的消费水平、工作需求等的不同,对于数据流量的使用情况也有很大差异.

从以上分析可知,不同用户群体对于数据流量具有不同的需求,而在相同用户群体中,这种需求却

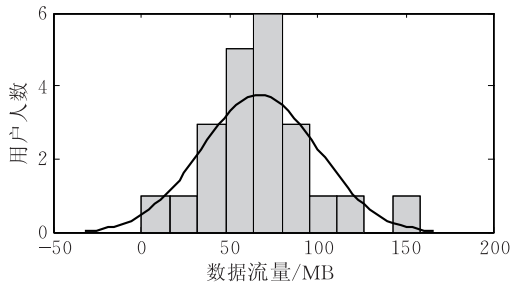


图3 2012年1月学生群体数据流量统计规律

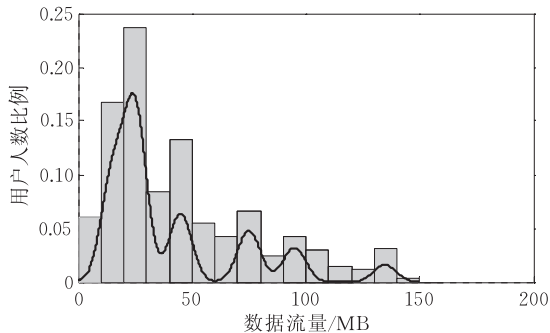


图4 2012年1月网络用户群体数据流量统计规律

有一定的相似之处.因此,ISP 制定出针对不同群体的不同的服务组合具有重要意义.

在我们的工作中,可先研究两个不同群体的规律,即两个具有不同均值和方差的正态分布密度函数的叠加.推广至多个不同群体时,研究方法相同.

假设有两个用户群体分别服从两种正态分布,其概率密度函数分别记为 $f_1(x; \mu_1, \delta_1)$ 和 $f_2(x; \mu_2, \delta_2)$ (实验中取 $\mu_1 = 30, \delta_1 = 8, \mu_2 = 70, \delta_2 = 11$).假设这两个群体数量比例相同,则其累加的概率密度为

$$demand(x) = \frac{1}{2}(f_1(x; \mu_1, \delta_1) + f_2(x; \mu_2, \delta_2)).$$

将上述概率密度函数带入 4.2.1 节 ISP 的总收入计算中,计算第 k 段分布的人数为

$$\begin{aligned} users &= USER \times \int_{ks}^{(k+1)s} demand(x) dx \\ &= \frac{1}{2} USER \times \left(\int_{ks}^{(k+1)s} f_1(x; \mu_1, \delta_1) dx + \int_{ks}^{(k+1)s} f_2(x; \mu_2, \delta_2) dx \right) \\ &= \frac{1}{2} USER \times (F_1((k+1)s) - F_1(ks) + F_2((k+1)s) - F_2(ks)) \\ &= \frac{1}{2} USER \times \left(\Phi\left(\frac{(k+1)s - \mu_1}{\sigma_1}\right) - \Phi\left(\frac{ks - \mu_1}{\sigma_1}\right) + \right. \end{aligned}$$

$$\left. \Phi\left(\frac{(k+1)s - \mu_2}{\sigma_2}\right) - \Phi\left(\frac{ks - \mu_2}{\sigma_2}\right) \right),$$

其中 $\Phi(x)$ 为标准正态分布的累积分布函数.

5.2 独占垄断市场求解

本节首先验证价格对平均需求的影响,然后验证了 ISP 价格对其收益和用户使用服务量的影响.

5.2.1 用户平均需求与价格的关系

在独占垄断市场中,用户群体的总需求满足 5.1 节中的统计规律(服从正态分布),用户的平均需求满足固定弹性需求(CED)模型,即

$$\bar{\mu} = \left(\frac{val}{price}\right)^\lambda.$$

实验中取 $val_1 = 1, val_2 = 2, \lambda_1 = 1.5, \lambda_2 = 3$. 用户平均需求随着价格的变化关系如图 5 所示.

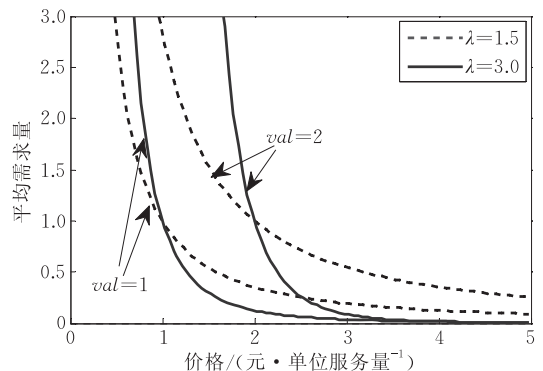


图5 用户平均需求随价格的变化情况

从图 5 中可知:在 val 给定的情况下, λ 越大,用户平均需求对价格变化越敏感.

5.2.2 网络服务提供商定价

实验仿真场景设置:有一家 ISP,无任何服务组合 $(0, 0, x_{03})$; 用户总数为 USER, 设置两类用户群体的 val 分别为 $(1, 2)$, λ 分别为 $(1.5, 1.5), (3, 3)$ 和 $(6, 6)$.

在实验给定数据下,得出 ISP 收益和总服务使用量随服务价格的变化如图 6 和图 7.

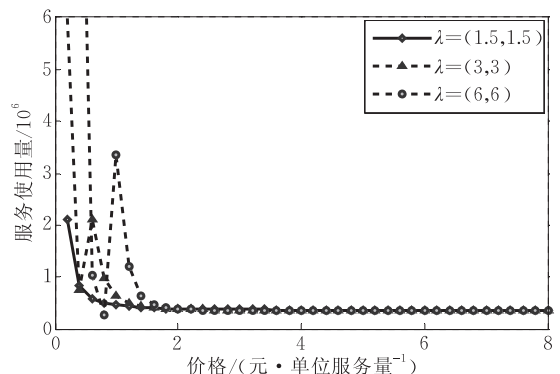


图6 服务提供商总服务使用量随价格变化情况

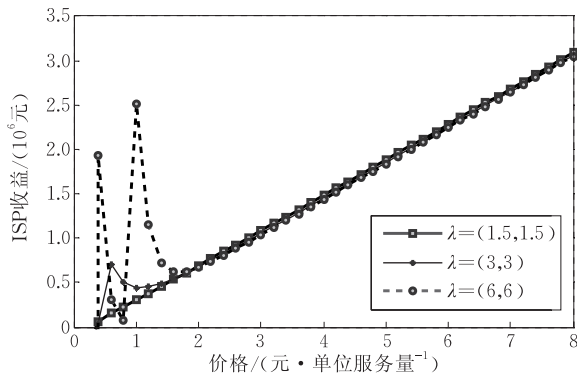


图 7 服务提供商收益随服务价格变化情况

从图中可知,在 $price < 0.5$ 时,总服务使用量非常大,但由于价格低廉,总收益并不高;在 $0.5 < price < 1.5$ 时,总服务使用量较大,此时总收益出现一个小高峰;在 $price > 1.5$ 时,总服务使用量迅速减小,但由于服务价格很高,收益呈增长趋势。因此,若 ISP 将价格制定在 $0.5 < price < 1.5$,则可兼顾收益和总服务使用量。

5.2.3 独占垄断市场总结

在独占垄断市场下,ISP 一味抬高服务价格可以获得巨大收益,但与此同时,其服务量的使用情况会愈加惨淡。在这种市场下,ISP 应根据其服务面向的市场用户制定价格,若想其服务面向大众用户,则应该推出较为低廉的价格;若想使其服务针对少数高消费用户,则推出高端价格;若想兼顾用户市场和收益,则可推出较为适中的价格。

5.3 寡头垄断市场求解

根据 4.3.2 节分析,本节对寡头垄断市场博弈过程进行验证和求解。

5.3.1 寡头垄断市场中的动态博弈过程

实验仿真场景设置:有 3 家 ISP (ISP_1, ISP_2, ISP_3),成本均相同,各家可能推出的服务组合有

$$Plan_i = \begin{pmatrix} 5 & 30 & 1 \\ 10 & 70 & 1 \\ 14 & 100 & 1 \end{pmatrix} (i = 1, 2, 3).$$

重复博弈过程:博弈第 1 阶段,各个 ISP 均只推出第一种服务组合 $Plan_i(1, :) = (5, 30, 1)$;第 2 阶段,某家 ISP (如 ISP_1) 又推出 $Plan_i(2, :) = (10, 70, 1)$;第 3 阶段,其他 ISP 也相继推出 $Plan_i(2, :)$;第 4 阶段,某家 ISP (如 ISP_1) 又推出 $Plan_i(3, :) = (20, 150, 1)$;第 5 阶段,其他 ISP 也相继推出 $Plan_i(3, :)$;...

从表 3 可知, ISP_1 在第 2 阶段、第 4 阶段推出新的服务组合,获得了较高的用户和收益。第 3 阶

段、第 5 阶段市场收益和用户又被均分。从用户百分比之和大于 1 可知,部分用户选择了多个 ISP。

表 3 重复博弈过程各阶段实验数据(收益单位: 10^5 元)

服务组合	市场总收益	ISP 收益		
		ISP_1 收益 $u_1(t)$ /(百分比)	ISP_2 收益 $u_2(t)$ /(百分比)	ISP_3 收益 $u_3(t)$ /(百分比)
第 1 阶段	10.2950	3.5666(66.9%)	3.1593(62.1%)	3.5690(68.0%)
第 2 阶段	9.3756	6.7706(74.2%)	1.3141(20.4%)	1.2909(20.1%)
第 3 阶段	9.3756	3.1489(37.3%)	3.1242(37.5%)	3.2125(39.4%)
第 4 阶段	9.2132	4.5875(44.2%)	2.2985(27.7%)	2.3273(28.1%)
第 5 阶段	9.2132	3.0483(33.3%)	3.0974(33.3%)	3.0675(33.3%)

从本仿真可得出:(1)从单个服务提供商来看,应适当推出多种服务组合,以获得更高的用户数量,从而获得较高的收益;(2)市场总利润随着服务组合的增多而减少。

5.3.2 网络服务提供商制定服务组合方法

由于 4.3.2 节中的结论 2 是在理想条件下得到的,但在实际的市场场景下,不可能针对每个用户制定一套服务组合,因此可探索最佳服务组合形式。由此涉及到服务区间的临界值选取与用户群体特性(平均值和方差)的关系。

我们知道,正态分布时区间 $(\mu - 1\sigma, \mu + 1\sigma)$ 的面积占总面积的 68.27%;正态分布时区间 $(\mu - 1.96\sigma, \mu + 1.96\sigma)$ 的面积占总面积的 95%。因此可根据用户服务需求密度设置服务量临界值。

实验仿真场景设置: ISP_1 设置其服务组合 $Plan_1$ 与 5.3.1 节中相同, ISP_2 的 $Plan_2$ 与 ISP_3 的 $Plan_3$ 按如下设置:

$$Plan_2 = \begin{pmatrix} 4 & 22 & 1 \\ 5 & 30 & 1 \\ 6 & 38 & 1 \\ 8 & 59 & 1 \\ 10 & 70 & 1 \\ 12 & 89 & 1 \end{pmatrix}, Plan_3 = \begin{pmatrix} 3 & 14 & 1 \\ 5 & 30 & 1 \\ 7 & 45 & 1 \\ 8 & 50 & 1 \\ 10 & 70 & 1 \\ 13 & 92 & 1 \end{pmatrix}.$$

其中 $Plan_2$ 服务组合中, ISP_2 的免费部分服务量分别是两个群体的 $(\mu - 1\sigma, \mu + 1\sigma)$ 的三等分, ISP_2 的免费部分服务量分别是两个群体的 $(\mu - 1.96\sigma, \mu + 1.96\sigma)$ 的三等分。

仿真测得 3 个 ISP 采用不同服务组合收益结果如图表 4 所示,用户选择 ISP 的结果如图 8 所示。

表 4 ISP 采用不同服务组合收益对比(收益单位: 10^5 元)

市场总收益	ISP 收益		
	ISP_1 收益 $u_1(t)$ /(百分比)	ISP_2 收益 $u_2(t)$ /(百分比)	ISP_3 收益 $u_3(t)$ /(百分比)
7.9271	1.0730(13.7%)	5.0657(64.3%)	1.7883(25.5%)

从表 4 中可知,采用与用户群体特性参数相关且划分较为平均的 ISP_2 收益最多,用户群体人数最

大,其次是 ISP_3 ,最差的是 ISP_1 。

图 8 中,选择 ISP_2 的用户分布较广,其次是 ISP_3 , ISP_1 的用户数目最少。

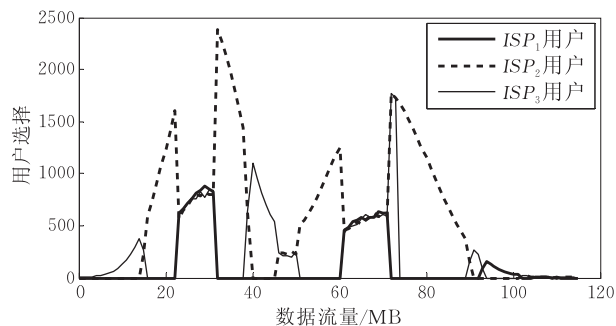


图 8 ISP 的用户选择分布

对比 3 家 ISP, ISP_2 获得的用户和收益最多,因为它根据用户群体特征参数(均值和方差)制定的。因此 ISP 的服务区间临界值应根据用户群体特性进行选取。

5.3.3 寡头垄断市场总结

仿真 1 验证了在寡头垄断市场中 ISP 动态博弈的过程,即某个 ISP 在每个阶段博弈中不断推出新的服务组合,而每个阶段博弈的纳什均衡为各个 ISP 均调整至相同策略,重新均分用户和利润。而市场总利润会随着博弈次数的增加而减少。在理想情况下,最终的博弈结果是为每个用户制定一套服务组合。

仿真 2 给出了根据用户群体特征制定服务组合的方法。在非理想市场中,可先调研用户的群体特征参数,根据用户的特征参数将用户分布密集的区域合理划分,使得用户需求较为均匀地映射到不同的服务区间,以获得较多的用户和收益。

6 总结和进一步工作

本文主要研究了网络服务市场中的两大类群体的动态博弈关系:网络服务提供商进行服务提供,多接口移动主机用户进行服务选择。文中首先讨论不完全竞争的 3 种网络服务市场组织形式,并通过调研市场上的几家主要 ISP,建立通用的服务组合模型,以及调研多接口移动主机用户的需求,建立服务需求模型。然后分析在独占垄断市场中的讨价还价博弈和在寡头垄断市场中的动态重复博弈过程,论证了在理想条件下,ISP 推出多种不同于其他 ISP 的服务组合时可以获得更多用户和收益,重复博弈过程每一阶段的唯一纳什均衡解是各个 ISP 均调整

至相同服务组合,并得出:此问题的有限次重复博弈的子博弈精炼纳什均衡是每一阶段各个 ISP 均调整至相同服务组合,最终结果是 ISP 为每个用户制定一套服务组合;无限次重复博弈在特定条件下,存在一个特定的子博弈精炼纳什均衡,即所有 ISP 均选择不调整服务组合。最后,本文通过仿真证实了在独占垄断市场中 ISP 的价格垄断地位,给出了 ISP 定价的建议,验证了在寡头垄断市场中 ISP 动态重复博弈的过程,并给出了根据用户群体特征制定服务组合的方法。

本文的下一步工作内容是进一步探讨在加入一些外界因素的非理想状态下,服务提供商与用户在动态重复博弈过程中的关系。

致 谢 感谢清华大学人文社会科学学院经济学研究所的王勇老师,他对本文提出了宝贵的指导意见!

参 考 文 献

- [1] Zhang Chun-Yan, Xu Ke, Wang Bao-Jin, Shen Meng. Optimizing cost and performance in multiple interface mobile hosts. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(11): 2176-2186(in Chinese)
(张春燕, 徐格, 王保进, 沈蒙. 多接口移动主机最优化费用和性能方法研究. 计算机学报, 2011, 34(11): 2176-2186)
- [2] Novshek W, Sonnenschein H. General equilibrium with free entry: A synthetic approach to the theory of perfect competition. Journal of Economic Literature, 1987, 25(3): 1281-1306
- [3] Harrison A E. Productivity, imperfect competition and trade reform: Theory and evidence. Journal of International Economics, 1994, 36(1-2): 53-73
- [4] Baumol W J, Blinder A S, Gale C L. Microeconomics, Principles and Policy. Cincinnati, Ohio, United States: South-Western Educational Publishing, 2001: 212
- [5] Friedman J W. Oligopoly and the Theory of Games. Amsterdam and New York: North-Holland Publisher, 1976
- [6] Notz W. International private agreements in the form of cartels, syndicates, and other combinations. Journal of Political Economy, 1920, 28(8): 658-679
- [7] Hu An-Gang, Guo Yong. From monopoly market to competitive market: The deep social change. Reform and Theory, 2002, (5): 10-13(in Chinese)
(胡鞍钢, 过勇. 从垄断市场到竞争市场:深刻的社会变革. 改革与理论, 2002, (5): 10-13)
- [8] Zhang Wei-Ying. Game Theory and Information Economics. 2nd Edition. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 2005(in Chinese)
(张维迎. 博弈论与信息经济学. 第 2 版. 上海: 上海人民出版社, 2005)

- [9] Binmore K, Rubinstein A, Wolinsky A. The Nash bargaining solution in economic modelling. *RAND Journal of Economics*, 1986, 17(2): 176-188
- [10] He Huan, Xu Ke, Liu Ying. Internet resource pricing models, mechanisms and methods. *Networking Science*, 2012(1): 48-66
- [11] Altmann J, Chu K. How to charge for network services: Flat-rate or usage-based? *Computer Networks*, 2001, 36(5-6): 519-531
- [12] Vyttautas V, Cristian L, Nick F. How many tiers? Pricing in the internet transit market//*Proceedings of the ACM SIGCOMM 2011 Conference*. Toronto, Canada, 2011: 194-205
- [13] Keon N, Anandalingam G. A new pricing model for competitive telecommunications services using congestion discounts. *INFORMS Journal on Computing*, 2005, 17(4): 248-262
- [14] Yuksel M, Kalyanarama S. Pricing granularity for congestion sensitive pricing//*Proceedings of the Computers and Communications (ISCC 2003)*. Antalya, Turkey, 2003: 169-174
- [15] He Huan, Xu Ke. Can P2P technology benefit ISPs? A cooperative profit-distribution answer//*Proceedings of the 20th International Conference on Computer Communications and Networks (IEEE ICCCN'11)*. Maui, USA, 2011: 761-769
- [16] Cao Xi-Ren, Shen Hong-Xia. Internet pricing with a game theoretical approach: Concepts and examples. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2002, 10(2): 208-216
- [17] Yaiche H, Mazumdar R R, Rosenberg C. Game theoretic framework for bandwidth allocation and pricing in broadband networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2000, 8(5): 667-678
- [18] Ma R T, Chiu D M, Lui J C S, et al. On cooperative settlement between content, transit, and eyeball internet service providers. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2011, 19(3): 802-815
- [19] Ma R T, Chiu D M, Lui J C S, et al. Interconnecting eyeballs to content: A shapley value perspective on ISP peering and settlement//*Proceedings of the 3rd International Workshop on Economics of Networked Systems*. Seattle, USA, 2008: 61-66
- [20] Wang Q, Chiu D M, Lui J C S. ISP uplink pricing in a competitive market//*Proceedings of the International Conference on Telecommunications*. St. Petersburg, Russia, 2008: 1-6
- [21] Xu Ke, Lin Song, Wu Jian-Ping. A three-network convergence evolution model and analysis based on user utility. *Chinese Journal of Computers*, 2013, 36(5): 903-914 (in Chinese)
(徐格, 林嵩, 吴建平. 基于用户效用的三网融合演化模型与分析. *计算机学报*, 2013, 36(5): 903-914)
- [22] Bhargava H, Choudhary V. Second-degree price discrimination for information goods under nonlinear utility functions//*Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. Maui, USA, 2001: 197-204
- [23] Jeonghoon Mo, Jean Walrand. Fair end-to-end window-based congestion control. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2002, 8(5): 556-567
- [24] Ge Yu-Bo. *Probability and Mathematical Statistics*. Beijing: Tsinghua University Press, 2005 (in Chinese)
(葛余博. *概率论与数理统计*. 北京: 清华大学出版社, 2005)
- [25] Lilliefors H W. On the Kolmogorov—Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 1967, 62: 399-402

附 录.

定理 1 证明. 假设有 I 个 ISP, 推出服务的数目为 n ($n \geq 0$).

(1) $n=0$ 是初始情况, 每个 ISP 尚未推出任何服务组合, 即 $(0, 0, x_{03})$. 此时用户选择任何 ISP 均付费相同, 因此用户随机选择 ISP, ISP 均分市场用户和利润.

当 $n=1$ 时, ISP_j (其中, $1 \leq j \leq I$) 推出服务组合 1 (x_{11}, x_{12}, x_{13}) , 可知 $x_{12}/x_{11} < x_{03}$. 当选择服务组合 1 时, 当服务量 $q \in [0, x_{12}]$ 时, 费用为 $Payment(q, j, 1) = x_{11}$, 当服务量 $q \in [x_{12}, +\infty)$ 时, 费用为 $Payment(q, j, 1) = x_{11} + (q - x_{12}) \times x_{13}$; 当不选择服务组合 1 时, 费用为 $Payment(q, i, 1) = q \times x_{03}$. 推导可知, 当 $x_{13} \leq x_{03}$ 时, $q \in (\frac{x_{11}}{x_{03}}, +\infty)$, 或当 $x_{13} > x_{03}$ 时, $q \in (\frac{x_{11}}{x_{03}}, \frac{x_{12} \times x_{13} - x_{11}}{x_{13} - x_{03}}]$, 用户会选择服务组合 1. 此时 ISP_j 获得了更高的用户和利润份额; 这时其他 ISP 会追随这个 ISP 也推出服务组合 1, 均分市场利润. 此时命题成立.

(2) 当 $n=k$ 时, 经过若干轮博弈后, I 个 ISP 均推出 k 种相同服务组合, 假设命题成立.

(3) 当 $n=k+1$ 时, 若其中 ISP_j 推出了第 $(k+1)$ 种 t' 服务 $(x_{t'1}, x_{t'2}, x_{t'3})$, 这个服务介于 t 服务和 $(t+1)$ 服务中间, 因此有 $x_{t1} < x_{t'1} < x_{(t+1)1}, x_{t2} < x_{t'2} < x_{(t+1)2}, t \in \{1, 2, \dots, k\}$.

由于 ISP 推出的服务要比直接进行流量计费便宜, 于是有

$$x_{(t+1)1} - x_{t1} < x_{t3} \times (x_{(t+1)2} - x_{t2}) \quad (1)$$

$$x_{t'1} - x_{t1} < x_{t3} \times (x_{t'2} - x_{t2}) \quad (2)$$

$$x_{(t+1)1} - x_{t'1} < x_{t'3} \times (x_{(t+1)2} - x_{t'2}) \quad (3)$$

对于服务量为 $q \in [x_{t2}, x_{(t+1)2}]$ 的用户群, 选择服务区间 t 时付费为 $Payment(q, i, t) = x_{t1} + (q - x_{t2}) \times x_{t3}$, 选择 $(t+1)$ 时付费为 $Payment(q, i, t+1) = x_{(t+1)1}$. 计算可知, 当服务量为 $q \in [x_{t2}, x_{t2} + \frac{x_{(t+1)1} - x_{t1}}{x_{t3}})$ 时, 用户选择 t 服务区间; 当服务量为 $q \in [x_{t2} + \frac{x_{(t+1)1} - x_{t1}}{x_{t3}}, x_{(t+1)2})$ 时, 用户选择 $(t+1)$ 服务区间. 下面讨论加入服务区间 t' 后用户的服务选择.

对于用户群 $q \in [x_{t2}, x_{t'2})$, 若选择 t' 服务区间, 则 $Payment(q, j, t') = x_{t'1}$. 可知当 $Payment(q, j, t') < Payment(q, i, t)$ 且 $Payment(q, j, t') < Payment(q, i, t+1)$ 时, 用户选择 t' . 联立公式如下:

$$\begin{cases} x_{t'1} < x_{t1} + (q - x_{t2}) \times x_{t3} \\ x_{t'1} < x_{(t+1)1} \\ q \in [x_{t2}, x_{t'2}) \end{cases} \quad (4)$$

推导式(2)、(4)可知服务量为 $q \in (\frac{x_{t'1} - x_{t1}}{x_{t3}} + x_{t2}, x_{t'2})$

的用户在这个区间选择 t' 服务区间付费最少.

对于服务量为 $q \in [x_{t'2}, x_{(t+1)2}]$ 的用户群, 若选择 t' 服务区间, 则 $Payment(q, j, t') = x_{t'1} + (q - x_{t'2}) \times x_{t'3}$. 同理可得公式如下:

$$\begin{cases} x_{t'1} + (q - x_{t'2}) \times x_{t'3} < x_{t1} + (q - x_{t2}) \times x_{t3} \\ x_{t'1} + (q - x_{t'2}) \times x_{t'3} < x_{(t+1)1} \\ q \in [x_{t'2}, x_{(t+1)2}] \end{cases} \quad (5)$$

推导式(5)可知服务量 q 满足以下条件时, 选择 t' 付费最少.

$$q \times (x_{t'3} - x_{t3}) + (x_{t'1} - x_{t1}) - (x_{t'2} \times x_{t'3} - x_{t2} \times x_{t3}) < 0 \quad (6)$$

$$x_{t'2} \leq q < \frac{x_{(t+1)1} - x_{t'1}}{x_{t'3}} + x_{t'2} \quad (\text{右边表达式记为 } M) \quad (7)$$

当 $x_{t'3} \leq x_{t3}$ 时, 可证式(6) < 0 恒成立. 则 $x_{t'2} \leq q < M$.

当 $x_{t'3} > x_{t3}$ 时, $q < \frac{(x_{t'2} \times x_{t'3} - x_{t2} \times x_{t3}) - (x_{t'1} - x_{t1})}{x_{t'3} - x_{t3}}$

(右边表达式记为 N) 且 $x_{t'2} \leq q < \frac{x_{(t+1)1} - x_{t'1}}{x_{t'3}} + x_{t'2}$, 推理可知

$N > x_{t'2}$. 计算得到, 当 $x_{t3} < x_{t'3} < \frac{x_{t3}(x_{(t+1)1} - x_{t'1})}{x_{(t+1)1} - x_{t1} - x_{t3}(x_{t'2} - x_{t2})}$

(右边表达式记为 R , 可证 $R > x_{t3}$) 时, $N > M$, 此时, $x_{t'2} \leq q < M$; 当 $x_{t'3} > R$ 时, $N < M$, $x_{t'2} \leq q < N$.

综上所述, 当 $x_{t'3} < R$ 时, $q \in \left(\frac{x_{t'1} - x_{t1}}{x_{t'3}} + x_{t'2}, M \right)$, 当

$x_{t'3} > R$ 时, $q \in \left(\frac{x_{t'1} - x_{t1}}{x_{t'3}} + x_{t'2}, N \right)$, 用户群选择 t' 服务费用

付费最少. 因此新推出的服务区间使得 ISP_j 获得了更多的用户群和收益. 其他 ISP 会追随 ISP_j 而推出相同的服务, 市场又达到均分.

(4) 综上所述, 此命题得证.

证毕.



ZHANG Chun-Yan, born in 1987, M. S.. Her main research interests include wireless network, performance optimization and flow distribution in multiple interface mobile hosts.

XU Ke, born in 1974, Ph. D., professor, Ph. D. supervisor. His main research interests include Next Generation Internet (NGI), switching and routing structure, P2P

network, overlay network and Internet of Things.

ZHONG Yi-Feng, born in 1989, Ph. D. candidate. His main research interests include Internet Economics and Network Economics.

ZHANG Sai, born in 1988, M. S. candidate. His main research interest is online social networks.

ZHAO Ying-Chuan, born in 1984, M. S. candidate. His main research interests include Next Generation Internet (NGI) and Internet of Things.

Background

This paper solves the problem of the dynamic game procedure between multiple interface mobile host users for service selection and Internet Service Providers for service providing. Nowadays, researches on game theory and Internet pricing have received more and more attentions. Some works are about the upper ISP charging the small ISPs or organizations in tires for higher profit. And some works are about the game relationship among the Internet Service Providers. Compared with those related works, our work mainly concerns about the dynamic relationship between users and ISPs, which has not been studied yet.

With the rapid development of the mobile Internet, this work has been increasingly important, for more and more mobile users will come up that need ISPs provide more service. There are three kinds of imperfect competition in this Internet service market, exclusive monopolistic competition, oligopolistic competition and Joint competition (for its plan is formulated on the competitors agreement, not on the market

laws, we do not study this kind of competition here). In the exclusive monopolistic competition, it is bargain game relation between mobile users and the ISPs, which is ISPs give a price, then users decide to buy or not, or buy more or less. Then ISPs rise or lower the service price, and go on. In the oligopolistic competition, it is dynamic game relation among ISPs and users. For there are several ISPs in the market, how do the ISP decide their service compositions become very significant, for proper composition may attract more users and profit. In this paper, it proved that under the idealized condition, more consumers profits could be gained if ISP offers various unique service combinations and finally the final game result is the service package made for each consumer.

There is still some developing room to continue this work in some aspects, for example, we can study the ISPs and users relation under realistic condition, and this will be our future work.