

# 控制与决策

Control and Decision

## 竞争环境下硬件平台的激励合同选择策略研究

唐华, 罗之沁, 何浩嘉, 艾兴政, 郭松波

引用本文:

唐华,罗之沁,何浩嘉,艾兴政,郭松波. 竞争环境下硬件平台的激励合同选择策略研究[J]. *控制与决策*, 2022, 37(7): 1803–1809.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.1785>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 服务差异化背景下基于行为的定价策略

Pricing strategy based on strategic customer behavior with service differentiation

*控制与决策*. 2021, 36(7): 1754–1762 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1147>

### 考虑扶贫偏好的三级农产品供应链决策及协调

Decision making and contract coordination of three-level agricultural products supply chain with consumer poverty alleviation preference

*控制与决策*. 2020, 35(11): 2589–2598 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0201>

### 制造商竞争下创新投资对零售商信息分享策略的影响

Optimal information sharing strategy for retailer under competitive manufacturers' innovation investment

*控制与决策*. 2020, 35(12): 3006–3016 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0377>

### 风险规避制造商市场入侵策略

Market encroachment strategy of risk-averse manufacturer

*控制与决策*. 2021, 36(10): 2528–2536 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1819>

### 基于Bertrand博弈的共享单车定价与投放联合策略研究

Joint pricing and launching strategy for bike-sharing enterprises based on Bertrand game

*控制与决策*. 2021, 36(7): 1786–1792 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1638>

# 竞争环境下硬件平台的激励合同选择策略研究

唐 华, 罗之沁, 何浩嘉, 艾兴政<sup>†</sup>, 郭松波

(电子科技大学 经济与管理学院, 成都 611731)

**摘 要:** 讨论竞争环境下硬件平台的激励合同选择问题, 旨在研究竞争环境下硬件平台的三部定价激励合同与传统接入费合同的表现, 识别硬件平台激励合同竞争模式的动态演变过程, 并对最终市场均衡进行分析. 首先, 建立硬件平台竞争博弈模型, 研究两个平台均提供传统接入费合同、均提供三部定价合同以及分别提供三部定价合同和传统接入费合同这 3 种情况下的博弈均衡和绩效情况; 然后, 比较上述 3 种情况下硬件商和软件商的利润, 分析三部定价激励合同与传统接入费合同的不同表现; 最后, 从硬件商和软件商同时实现帕累托改进的角度, 识别竞争性硬件平台的激励合同博弈演化过程并分析最终博弈均衡. 结果表明, 硬件平台竞争博弈最终会收敛到两个硬件商均使用激励合同的纳什均衡, 而这在某些情况下反而会使各平台陷入利润的囚徒困境.

**关键词:** 竞争; 硬件平台; 激励合同; 博弈模型; 纳什均衡; 帕累托改进

中图分类号: TP273

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2020.1785

引用格式: 唐华, 罗之沁, 何浩嘉, 等. 竞争环境下硬件平台的激励合同选择策略研究[J]. 控制与决策, 2022, 37(7): 1803-1809.

## Incentive contract selection strategy of hardware platform in competitive environment

TANG Hua, LUO Zhi-qin, HE Hao-jia, AI Xing-zheng<sup>†</sup>, GUO Song-bo

(School of Economics and Management, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

**Abstract:** This article mainly discusses the selection of incentive contracts of hardware platforms in the competitive environment, aiming to study the performance of the three tariff contracts and traditional access fee contracts of hardware platforms in the competitive environment, and identify the dynamic evolution of the competition model of hardware platform incentive contracts, and analyzes the final market equilibrium. First of all, this paper establishes a hardware platform competition game model, and studies the game equilibrium and performance in the three cases in which both platforms provide the traditional access fee contracts, both provide the three tariff contracts, and provide the three tariff contracts and traditional access fee contracts respectively. Then, it compares the profits of hardware vendors and software vendors in the above three cases, and analyzes the different performance of the three tariff contracts and the traditional access fee contracts. Finally, from the perspective of hardware vendors and software vendors achieving Pareto improvement at the same time, the evolution process of the incentive contract game of competitive hardware platforms is identified and the final game equilibrium is analyzed. The results show that the hardware platform competition game will eventually converge to a Nash equilibrium in which both hardware vendors use incentive contracts, which in some cases will instead make each platform fall into the prisoner's dilemma of profit.

**Keywords:** competition; hardware platform; incentive contract; game model; Nash equilibrium; Pareto improvement

## 0 引言

作为双边平台类型之一的硬件平台(如 Apple 手机平台、PlayStation 游戏平台等)已发展成最迅猛的实体产业之一. 在硬件平台系统中, 较高的硬件销量

有利于软件销量, 而软件销量及质量的提升也能为硬件开拓市场. 此外, 软件的质量水平会产生同边外部性, 对平台内其他软件产生或正或负的影响. 在竞争环境下, 硬件平台市场还会受到竞争对手平台的决策

收稿日期: 2020-12-21; 录用日期: 2021-04-21.

基金项目: 国家自然科学基金项目(72072022, 71572030); 国家社科基金重大项目(20&ZD084).

责任编辑: 霍宝锋.

<sup>†</sup>通讯作者. E-mail: aixz@uestc.edu.cn.

影响,此时,每个企业仅基于自身利润进行决策会导致市场均衡偏离平台系统最优均衡,故对于平台领导者而言,设计恰当的激励方案以协调平台系统是非常必要的.而硬件商为获得竞争优势从而快速占领市场,往往会对平台中的软件商采取一些激励措施.例如,为了与大型游戏商城Steam竞争,Epic在推出旗下游戏商城EGS时,通过对第三方开发商设置较低抽成比例(12%)以获取竞争优势,而Steam商城游戏抽成仍维持在30%.基于此,本文建立硬件平台竞争博弈模型,研究两个平台均提供传统接入费合同、均提供三部定价合同以及分别提供三部定价合同和传统接入费合同3种情况下的博弈均衡和绩效情况;然后,通过比较上述3种情况下硬件商和软件商的利润,分析三部定价激励合同与传统接入费合同的不同表现;最后,从硬件商和软件商同时实现帕累托改进的角度,识别出竞争性硬件平台的激励合同博弈动态演化过程.

很多学者研究网络效应对竞争性双边平台的影响.如,Jeitschko等<sup>[1]</sup>通过设置一方(“消费者”方)在加入平台后的网络效益存在空间差异,另一方(“企业”方)在加入平台后实现的网络效益相等,研究了代理决策内生的双边市场的进入和竞争. Belleflamme等<sup>[2]</sup>通过在平台的一侧引入多代理的方式,研究存在多代理可能性如何影响双边平台之间的竞争. Bakos等<sup>[3]</sup>在考虑网络效应的基础上开发了一个差异化环境下的平台竞争模型,以探究双边竞争平台两侧均存在多代理情形下平台的补贴行为.较少有文献基于硬件平台对软硬件间及不同软件间的外部性关系进行刻画. Economides等<sup>[4]</sup>以操作系统平台为例刻画了硬件与软件之间的互补性质,构建了一个专有平台和其互补专有软件应用,与一个开放平台和其专有软件应用的竞争模型,研究专有平台和开放平台的最优价格策略.钟丽<sup>[5]</sup>考虑了硬件平台中硬件对软件产生的外部性,研究垄断硬件平台的最优价格及质量决策和竞争硬件平台的硬件质量改进策略.虽然上述文献考虑了软硬件间互补性,但未考虑硬件平台中不同软件之间的质量外部性关系.本文构建的由一个硬件商和两个软件商分别组成的两竞争硬件平台不仅考虑了软硬件间的互补性关系,还考虑了同一硬件平台中软件间的质量外部性关系,完善了现有文献对硬件平台外部性特征的刻画.

激励合同在供应链管理中的应用十分广泛,该领域中,激励合同也被称作协调合同.常见的包括收益共享合同<sup>[6]</sup>、回购合同<sup>[7]</sup>、两部定价合同<sup>[8]</sup>、数量折

扣合同<sup>[9]</sup>、成本分担合同<sup>[10]</sup>等. Wu等<sup>[8]</sup>发现两部定价合同可以在信息不对称下协调供应链,同时使零售商获得正利润. Huang等<sup>[9]</sup>通过引入数量折扣合同,以解决在存在虚假退货的情况下逆向供应链中的利润冲突.三部定价合同是对两部定价合同的延伸与改进. Lambrecht等<sup>[11]</sup>设计了一个基于限额、基础价格和限额外边际价格的三部定价机制,研究了该机制下消费者需求不确定性对最优定价的影响. Ascarza等<sup>[12]</sup>在服务业的传统两部定价基础上引入免单数量项,探究客户在该三部定价收费方法与传统两部定价之间的选择情况.艾兴政等<sup>[13]</sup>研究了传统零售渠道与制造商电子渠道下的价格和服务决策行为与绩效关系特征,并基于固定费用、需求量和水平服务水平设计了三部定价协调机制.目前关于基于双边平台的激励合同的研究较少. Unno等<sup>[14]</sup>研究了风险厌恶的智能手机制造商与智能手机应用程序提供商之间的收益共享和应用程序购买支持问题,分析了此时的最优收入共享合同和最优应用程序购买支持策略.钟丽<sup>[5]</sup>针对性地考虑了硬件平台中硬件质量改进,软件质量改进以及部件供应商质量改进三种情形下,垄断硬件商采用由数量折扣与质量成本分担组成的组合激励合同设计方案.由以上文献可知,虽然激励合同在供应链管理等领域得到了众多学者的研究,但基于双边平台,尤其是竞争性的硬件平台的激励合同研究却仍然较少.

本文讨论硬件平台竞争环境下的激励合同选择问题,旨在研究竞争环境下硬件平台的三部定价激励合同与传统接入费合同的表现,识别硬件平台激励合同竞争模式的动态演变过程,对现有文献进行补充.

## 1 模型描述

通过考虑软硬件间互补效应和不同软件间的质量外部性,研究由两个竞争性硬件平台的激励合同选择问题(三部定价合同与传统接入费合同).其中,为硬件商 $H_x$ 提供产品的软件商为 $S_i(i=1,2)$ ;为硬件商 $H_y$ 提供产品的软件商为 $S_j(j=3,4)$ .两个硬件商生产销售替代性硬件产品,并向软件商提供接入支持.博弈顺序如下:第1阶段,两个平台的硬件商同时决定是否对软件商进行激励,即决定接入费合同类型;第2阶段,各硬件商推出自身的硬件产品,根据合同类型确定硬件产品的销量和合同参数;第3阶段,软件商推出自身的软件产品,基于最大化自身利润原则,根据硬件平台的收费确定软件销量和软件质量水平.假设市场处于出清状态,即所有生产的产品最终都能得到销售.竞争硬件平台结构如图1所示.

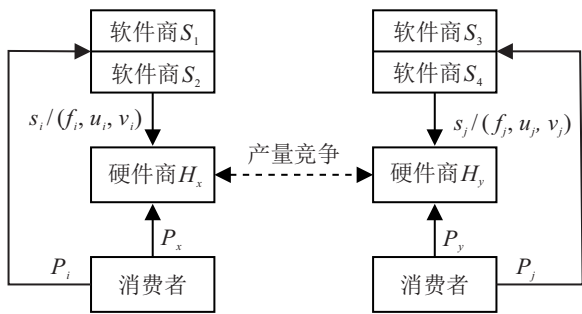


图1 竞争硬件平台结构

在硬件平台中,硬件产品有着稳定、独立的基础市场需求.同时,硬件平台上的互补性软件也对硬件需求产生影响,且市场中两个硬件平台进行产量竞争.结合相关硬件平台研究(Economides等<sup>[4]</sup>),本文假设硬件的逆需求函数为

$$p_x = 1 - q_x - tq_y + \sum_i r q_i,$$

$$p_y = 1 - q_y - tq_x + \sum_j r q_j.$$

其中: $p_x$ 、 $q_x$ ( $p_y$ 、 $q_y$ )分别为硬件商 $H_x$ ( $H_y$ )所生产硬件的市场价格和销量; $q_i$ ( $q_j$ )为基于硬件商 $H_x$ ( $H_y$ )的软件商在该硬件平台下的软件销量; $r$ 为软件对硬件的需求互补强度,满足 $r \geq 0$ ;  $t$ 为硬件平台竞争强度,满足 $0 < t < 1$ .

软件产品市场容量严格依赖于硬件平台的市场占有量,同时,软件市场还会受到其自身质量水平 $-1 \leq e \leq 1$ 以及同平台下竞争对手质量水平的影响.因此,竞争平台下软件产品的反需求函数为

$$p_i = kq_x - bq_i + d(x_i + ex_{3-i}), \quad i = 1, 2;$$

$$p_j = kq_y - bq_j + d(x_j + ex_{7-j}), \quad j = 3, 4.$$

其中: $p_i$ 、 $q_i$ 、 $x_i$ ( $p_j$ 、 $q_j$ 、 $x_j$ )分别为软件商 $S_i$ ( $S_j$ )所生产软件产品的市场价格、销量和质量改进水平; $b$ 为软件产品的价格需求弹性,满足 $b > 0$ ;  $k$ 为硬件对软件的需求互补强度,满足 $k \geq 0$ ;  $d$ 为质量效应系数,满足 $d \geq 0$ ;  $e$ 为各软件间的质量外部性因子, $e > 0$ 表示软件的质量改进会对其他软件产生积极影响,即质量互补, $e < 0$ 表示软件的质量改进会对其他软件市场产生消极影响,即质量竞争, $e$ 的绝对值越大表示软件间的质量外部性作用越大.

此外,本文假设硬件和软件的边际生产成本为零.假设软件质量改进的总成本为二次函数,对成本系数标准化后的软件质量改进成本为 $c_i = x_i^2$ .

## 2 硬件平台竞争模型

### 2.1 传统接入费合同模型(DD)

考察两个硬件商均提供传统接入费合同时的博弈均衡.传统接入费合同是指硬件商对软件商所销

售的每一单位产品收取 $s_i$ 的接入费.在市场出清的状态下,各企业的销量和质量决策通过反需求函数形成市场均衡价格.基于最大化自身利润原则,硬件商和软件商的最优化问题分别为

$$\max_{q_x s_i} \Pi_x^{DD} = p_x q_x + \sum_i s_i q_i, \quad i = 1, 2;$$

$$\max_{q_y s_j} \Pi_y^{DD} = p_y q_y + \sum_j s_j q_j, \quad j = 3, 4;$$

$$\max_{q_i x_i} \Pi_i^{DD} = (p_i - s_i) q_i - x_i^2, \quad i = 1, 2;$$

$$\max_{q_j x_j} \Pi_j^{DD} = (p_j - s_j) q_j - x_j^2, \quad j = 3, 4.$$

为保证解的存在、唯一和非负性,需满足

$$b > \frac{1}{4} \max((k+r)^2 + d^2(1+e), d^2(1-e)).$$

决策均衡结果及各方企业利润如表1所示.表1

中

$$G_1 = (4b - d^2(1+e))(2+t) - 2(k+r)^2,$$

$$G_2 = (4b - d^2(1+e)^2)(2+t) - 4(k+r)^2,$$

$$G_3 = 4A - (16b^2 - 4bd^2(2+e)(1+e) + d^4(1+e)^3)t^2,$$

$$A = (4b - d^2(1+e)^2 - 2(k+r)^2)(4b - d^2(1+e) - (k+r)^2),$$

$$L_1 = 4b - d^2(1+e) - (k+r)^2,$$

$$L_2 = (4b - d^2(1+e)^2)^2 - 4(4b - d^2(1+e))(k+r)^2,$$

$$L_3 = 4b(2-t) - d^2(1+e)(2-t) - 2(k+r)^2,$$

$$L_4 = 4b(2-t) - d^2(1+e)^2(2-t) - 4(k+r)^2,$$

$$L_5 = 16b^2 - 8b(d^2(1+e)^2 + 2(k+r)^2) + d^2(1+e)(4(k+r)^2 + d^2(1+e)^3).$$

### 2.2 三部定价合同模型(TT)

当两个硬件商均提供三部定价合同时,平台接入费的费用结构为 $s_i = f_i + u_i q_i - v_i x_i$ .其中: $f_i$ 为三部定价合同中的固定费用,假设其由软硬件双方事前谈判决定,属于外生变量; $u_i$ 为合同中硬件商对每单位售出软件收取的平台接入费; $v_i$ 为硬件商对每单位软件质量改进提供的质量补贴.基于最大化自身利润的原则,硬件商和软件商的最优化问题分别为

$$\max_{q_x u_i v_i} \Pi_x^{TT} = p_x q_x + \sum_i (f_i + u_i q_i - v_i x_i), \quad i = 1, 2;$$

$$\max_{q_y u_j v_j} \Pi_y^{TT} = p_y q_y + \sum_j (f_j + u_j q_j - v_j x_j), \quad j = 3, 4;$$

$$\max_{q_i x_i} \Pi_i^{TT} = p_i q_i - x_i^2 - (f_i + u_i q_i - v_i x_i), \quad i = 1, 2;$$

$$\max_{q_j x_j} \Pi_j^{TT} = p_j q_j - x_j^2 - (f_j + u_j q_j - v_j x_j), \quad j = 3, 4.$$

表1 3种模型(DD、TT、TD)的均衡结果

DD	TT	TD
$q_x^{DD} = q_y^{DD} = \frac{4b - d^2(1+e)}{G_1}$	$q_x^{TT} = q_y^{TT} = \frac{4b - d^2(1+e)^2}{G_2}$	$q_x^{TD} = \frac{(4b - d^2(1+e)^2)L_3}{G_3}$ $q_y^{TD} = \frac{(4b - d^2(1+e)^2)L_4}{G_3}$
$q_i^C = q_j^C = \frac{k+r}{G_1}$	$q_i^{TT} = q_j^{TT} = \frac{2(k+r)}{G_2}$	$q_i^{TD} = \frac{2(k+r)L_3}{G_3}, q_j^{TD} = \frac{(k+r)L_4}{G_3}$
$x_i^{DD} = x_j^{DD} = \frac{d(k+r)}{2G_1}$	$x_i^{TT} = x_j^{TT} = \frac{d(1+e)(k+r)}{2G_2}$	$x_i^{TD} = \frac{d(1+e)(k+r)L_3}{2G_3}$ $x_j^{TD} = \frac{d(k+r)L_4}{2G_3}$
—	$u_i^{TT} = u_j^{TT} = \frac{(4b - d^2(1+e)^2)r}{G_2}$	$u_i^{TD} = \frac{r(4b - d^2(1+e)^2)L_3}{G_3}$
—	$v_i^{TT} = v_j^{TT} = \frac{2de(k+r)}{G_2}$	$v_i^{TD} = \frac{2de(k+r)L_3}{G_3}$
$s_i^{DD} = s_j^{DD} = \frac{(4b - d^2(1+e))(k-r)}{2G_1}$	—	$s_j^{TD} = \frac{(4b - d^2(1+e))(k-r)L_4}{2G_3}$
$\pi_x^{DD} = \frac{(4b - d^2(1+e))L_1}{G_1^2}$	$\pi_x^{TT} = \frac{L_2}{G_2^2} + \sum_i f_i$	$\pi_x^{TD} = \frac{L_3L_5}{G_3^2} + \sum_i f_i$
$\pi_y^{DD} = \frac{(4b - d^2(1+e))L_1}{G_1^2}$	$\pi_y^{TT} = \frac{L_2}{G_2^2} + \sum_j f_j$	$\pi_y^{TD} = \frac{(4b - d^2(1+e))L_1L_4}{G_3^2}$
$\pi_i^{DD} = \frac{(4b - d^2)(k+r)^2}{4G_1^2}$	$\pi_i^{TT} = \frac{2(4b + d^2(1+e))(k+r)^2}{G_2^2} - f_i$	$\pi_i^{TD} = \frac{(4b - d^2(1-e^2))(k+r)^2L_3^2}{G_3^2} - f_i$
$\pi_j^{DD} = \frac{(4b - d^2)(k+r)^2}{4G_1^2}$	$\pi_j^{TT} = \frac{2(4b + d^2(1+e))(k+r)^2}{G_2^2} - f_j$	$\pi_j^{TD} = \frac{(4b - d^2)(k+r)^2L_4^2}{4G_3^2}$

为保证解的存在、唯一和非负性,需满足

$$b > \frac{1}{4} \max(2(k+r)^2 + d^2(1+e)^2, d^2(1-e)^2).$$

决策均衡结果及各方企业利润如表1所示.

### 2.3 三部定价合同与传统接入费合同的混合模型(TD)

因两硬件商对称,不妨假定硬件商*x*采用三部定价合同,硬件商*y*采用传统接入费合同,考察此时的博弈均衡.硬件商和软件商的最优化问题分别为

$$\max_{q_x u_i v_i} \Pi_x^{TD} = p_x q_x + \sum_i (f_i + u_i q_i - v_i x_i), i = 1, 2;$$

$$\max_{q_y s_j} \Pi_y^{TD} = p_y q_y + \sum_j s_j q_j, j = 3, 4;$$

$$\max_{q_i x_i} \Pi_i^{TD} = p_i q_i - x_i^2 - (f_i + u_i q_i - v_i x_i), i = 1, 2;$$

$$\max_{q_j x_j} \Pi_j^{TD} = (p_j - s_j) q_j - x_j^2, j = 3, 4.$$

为保证解的存在、唯一和非负性,需满足

$$b > \frac{1}{4} \max(2(k+r)^2 + d^2(1+e)^2, d^2(1-e)^2),$$

$$t < \frac{8b - 2d^2(1+e)^2 - 4K^2}{4b - d^2(1+e)^2}.$$

其中  $K = k+r$ .

采用逆向归纳法得到3种模型的决策均衡结果及各方企业利润如表1所示.

## 3 硬件平台激励合同选择

### 3.1 均采用同一种合同时的选择策略

当两个硬件平台均采用同一种合同时,两硬件平台对称,故本节仅针对平台*H<sub>x</sub>*研究其最优决策情况.当  $\pi_x^{TT} = \pi_x^{DD}, \pi_i^{TT} = \pi_i^{DD}$  时,固定费用*f*的边界条件分别为*f<sub>A</sub>*、*f<sub>B</sub>*,有

$$f_A = \frac{(4b - d^2(1+e))L_1}{2G_1^2} - \frac{L_2}{2G_2^2},$$

$$f_B = \frac{2(4b + d^2(1+e))(k+r)^2}{G_2^2} - \frac{(4b - d^2)(k+r)^2}{4G_1^2}.$$

**命题1** 1) 当  $e > 0$  且  $b < b_A$  时,若  $k+r < K_A$  或  $k+r > K_A$  且  $0 < t < t_A$ ,则有  $\pi_x^{TT} + \Sigma \pi_i^{TT} > \pi_x^{DD} + \Sigma \pi_i^{DD}$ ;

2) 当  $e > 0$  且  $b < b_A$  时,若  $k+r > K_A$  且  $t_A < t < 1$ ,则有  $\pi_x^{TT} + \Sigma \pi_i^{TT} < \pi_x^{DD} + \Sigma \pi_i^{DD}$ ;

3) 当  $e < 0$  或  $b > b_A$  时,若  $0 < t < t_A$ ,则有  $\pi_x^{TT} + \Sigma \pi_i^{TT} > \pi_x^{DD} + \Sigma \pi_i^{DD}$ ;

4) 当  $e < 0$  或  $b > b_A$  时,若  $t_A < t < 1$ ,则有  $\pi_x^{TT} + \Sigma \pi_i^{TT} < \pi_x^{DD} + \Sigma \pi_i^{DD}$ .

**证明** 记  $K = k+r$ . 由均衡解所满足的存在、唯一和非负条件,有  $G_1 > 0, G_2 > 0$ . 计算可得  $\pi_x^{TT} + \Sigma \pi_i^{TT} - \pi_x^{DD} - \Sigma \pi_i^{DD} = (B_1 t^2 + B_2 t + B_3) K^2 / (2G_1^2 G_2^2)$ .

因  $B_2^2 - 4B_1B_3 > 0$ , 故零点为

$$t = (-B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4B_1B_3}) / (2B_1).$$

因  $t$  非负, 且  $B_1 < 0$ ,  $(-B_2 - \sqrt{B_2^2 - 4B_1B_3}) / (2B_1) > 0$ ,  $(-B_2 + \sqrt{B_2^2 - 4B_1B_3}) / (2B_1) < 0$ , 故不等式  $\pi_x^{TT} + \Sigma\pi_i^{TT} - \pi_x^{DD} - \Sigma\pi_i^{DD} > 0$  解为

$$0 < t < \min((-B_2 - \sqrt{B_2^2 - 4B_1B_3}) / (2B_1), 1).$$

令  $t_A = (-B_2 - \sqrt{B_2^2 - 4B_1B_3}) / (2B_1)$ , 进一步讨论  $t_A$  与 1 的大小关系,  $t_A > 1$  等价于  $B_1 + B_2 + B_3 > 0$ . 由  $B_1 + B_2 + B_3 = C_1K^4 + C_2K^2 + C_3$ , 易得不等式  $B_1 + B_2 + B_3 > 0$ , 解为  $K < (-C_2 - \sqrt{C_2^2 - 4C_1C_3}) / (2C_1)$ . 令  $K_A = (-C_2 - \sqrt{C_2^2 - 4C_1C_3}) / (2C_1)$ , 当  $e > 0$  且  $b < b_A$  时  $K_A > 0$ .

综上, 当  $e > 0$  且  $b < b_A$  时, 若  $0 < K < K_A$ , 则  $t_A > 1$ , 此时原不等式成立的条件为  $0 < t < 1$ ; 若  $K > K_A$ , 则  $t_A < 1$ , 此时原不等式成立条件为  $0 < t < t_A$ . 当  $e < 0$  或  $b > b_A$  时,  $t_A < 1$ , 原不等式成立条件为  $0 < t < t_A$ . 其中

$$b_A = (2 + 4e + 5e^2 + e\sqrt{16 + 32e + 25e^2})d^2 / 8,$$

$$B_1 = -192b^3 + d^6(1 + e)^4(3 - 2e) - 4bd^4(1 + e)^2(9 + 2e - e^2) + 16b^2d^2(9 + 10e + 2e^2),$$

$$B_2 = -4(16b^2 + d^4(1 + e)^2 - 4bd^2(2 + e(2 + e))) \times (4b - d^2(1 + e)^2 - 2K^2),$$

$$B_3 = 4(4b - d^2(1 + e)^2 - 2K^2)(16b^2 + d^4(1 + e)^2(1 - 2e) - 4bd^2(2 - 3e^2) - 2d^2e^2K^2),$$

$$C_1 = 16d^2e^2,$$

$$C_2 = 8d^2e(d^2(1 + e)^2(2 + e) - 4b(2 + 5e)),$$

$$C_3 = 3d^6(1 + e)^4(1 + 2e) - 192b^3 + 144b^2d^2(1 + 2e + 2e^2) - 12bd^4(1 + e)^2(3 + 6e + 5e^2). \quad \square$$

命题1表明, TT模型(两硬件平台均采用三部定价合同)下的系统总利润并非总是大于DD(两个硬件平台均采用传统接入费合同)模型下的系统总利润. 当软件质量互补且软件产品价格需求弹性较小时, 若软硬件间的需求互补程度较大且硬件平台竞争激烈, 则DD模型下的系统总利润更大. 反之, TT模型下的系统总利润会更大. 当软件质量竞争或软件产品价格需求弹性较大时, 若硬件平台竞争强度较大, 则DD模型下的系统总利润更大. 反之, 若硬件平台竞争强度较小, 则TT模型下的系统总利润会更大.

命题2 当  $k+r < K_A$ , 或当  $k+r > K_A$  且  $t < t_A$  时, 一定存在三部定价  $(f, u^{TT}, v^{TT})$ , 使各方企业均得到帕累托改进, 其中  $f_A < f < f_B$ .

证明 当  $f > f_A$  时,  $\pi_x^{TT} > \pi_x^{DD}$ ; 当  $f < f_B$

时,  $\pi_i^{TT} > \pi_i^{DD}$ . 故各方均实现帕累托改进的条件为  $f_A < f < f_B$ . 当  $k+r < K_A$ , 或当  $k+r > K_A$  且  $t < t_A$  时, 有  $2(f_B - f_A) = 2(\pi_i^{TT} - \pi_i^{DD}) - (\pi_x^{DD} - \pi_x^{TT}) = (\pi_x^{TT} + 2\pi_i^{TT}) - (\pi_x^{DD} + 2\pi_i^{DD}) > 0$ , 故该三部定价方案一定存在.  $\square$

命题2表明, 当软硬件间需求互补程度较小, 或当软硬件间需求互补程度较大且硬件平台竞争强度较小时, 存在三部定价激励合同使竞争性硬件平台中各企业的利润得到帕累托改进. 反之, 若软硬件间需求互补程度较大且硬件平台竞争激烈, 则两硬件平台均采用三部定价合同激励反而会降低各方企业利润.

### 3.2 竞争对手采用传统接入费或三部定价合同的选择策略

因平台具备对称性, 不妨研究硬件商  $H_x$  在其竞争对手  $H_y$  选择传统接入费合同时的最优合同选择情况和硬件商  $H_y$  在其竞争对手  $H_x$  选择三部定价合同时的最优决策情况.

当  $\pi_x^{TD} = \pi_x^{DD}, \pi_i^{TD} = \pi_i^{DD}$  时, 固定费用  $f$  的边界条件分别为  $f_C, f_D$ , 有

$$f_C = \frac{(4b - d^2(1 + e))L_1}{2G_1^2} - \frac{L_3^2L_5}{2G_3^2},$$

$$f_D = \frac{(4b - d^2(1 - e^2))(k + r)^2L_3^2}{G_3^2} - \frac{(4b - d^2)(k + r)^2}{4G_1^2}.$$

当  $\pi_y^{TT} = \pi_y^{TD}, \pi_j^{TT} = \pi_j^{TD}$  时, 固定费用  $f$  的边界条件分别为  $f_E, f_F$ , 有

$$f_E = \frac{L_1L_4(4b - d^2(1 + e))}{2G_3^2} - \frac{L_2}{2G_2^2},$$

$$f_F = \frac{2(4b + d^2(1 + e))(k + r)^2}{G_2^2} - \frac{(4b - d^2)(k + r)^2L_4^2}{4G_3^2}.$$

命题3 1) 当竞争对手平台  $H_y$  选择传统接入费合同时, 有  $\pi_x^{TD} + \Sigma\pi_i^{TD} > \pi_x^{DD} + \Sigma\pi_i^{DD}, \pi_y^{TD} + \Sigma\pi_j^{TD} < \pi_x^{DD} + \Sigma\pi_i^{DD}$ ; 2) 当竞争对手平台  $H_x$  选择三部定价合同时, 有  $\pi_y^{TT} + \Sigma\pi_j^{TT} > \pi_y^{TD} + \Sigma\pi_j^{TD}, \pi_x^{TT} + \Sigma\pi_i^{TT} < \pi_x^{TD} + \Sigma\pi_i^{TD}$ .

证明与命题1类似, 此略.

命题4 1) 当竞争对手平台  $H_y$  选择传统接入费合同时, 一定存在三部定价合同  $(f, u^{TD}, v^{TD})$ , 其中  $f_C < f < f_D$ , 使硬件平台系统中各方企业实现帕累托改进; 2) 当竞争对手平台  $H_x$  选择三部定价合同时, 一定存在三部定价  $(f, u^{TT}, v^{TT})$ , 其中  $f_E < f < f_F$ , 使硬件平台系统中各方企业实现帕累托改进.

证明与命题2类似, 此略.

命题3和命题4表明, 从平台系统总利润的视角

看,当给定竞争对手平台选择传统接入费合同时,硬件平台采用三部定价合同的系统总利润总是大于采用传统接入费合同的系统总利润;当给定竞争对手平台选择三部定价合同时,硬件平台采用三部定价合同的系统总利润优于采用传统接入费合同的系统总利润.从平台各方企业的视角看,当给定竞争对手平台选择传统接入费合同时,一定存在三部定价合同 $(f, u^{\text{TD}}, v^{\text{TD}})$ ,其中 $f_C < f < f_D$ ,使各方企业均得到帕累托改进;当给定竞争对手平台选择三部定价合同时,一定存在三部定价 $(f, u^{\text{TT}}, v^{\text{TT}})$ ,其中 $f_E < f < f_F$ ,使硬件平台系统中各企业得到帕累托改进.

#### 4 竞争环境下硬件平台激励合同演变

基于第3节对竞争平台激励合同策略的分析,考虑两个硬件平台均使用传统接入费合同的平台竞争初始环境,可得平台激励合同的演变过程如命题5所述.

**命题5** 在竞争环境下,当硬件平台动态地采用三部定价激励合同时,竞争对手平台的纵向合同动态演变过程为DD→TD(DT)→TT.

**证明** 若竞争初始环境状态为DD,则根据命题4,任一硬件商可通过采用三部定价合同 $(f, u^{\text{TD}}, v^{\text{TD}})$ ,其中 $f_C < f < f_D$ ,实现该平台系统中各方企业的帕累托改进,并促使纵向合同状态演变为TD(DT);若当前市场纵向合同状态为TD(DT),则根据命题4,采用传统接入费合同的硬件商可通过制定三部定价合同 $(f, u^{\text{TT}}, v^{\text{TT}})$ ,其中 $f_C < f < f_D$ ,使该平台系统中各方企业得到帕累托改进,并促使纵向合同状态演变为TT. □

由竞争平台激励合同演化路径可以发现,基于最大化自身利润的原则,每个硬件商均有从传统接入费合同转向三部定价激励合同的动机.为了进一步解释平台在竞争中使用激励合同的内在原因,分析了当硬件平台从传统接入费合同转向三部定价合同时不同平台的硬件销量和软件销量的变化情况.

**命题6** 无论竞争对手平台采用何种合同,硬件平台从传统接入费合同转向三部定价合同后,该平台的硬件和软件销量均会提升,而竞争对手平台的硬件和软件销量均会下降.

**证明** 在均衡解存在、唯一且非负的条件下,有 $G_1, G_2, G_3 > 0, 4b - d^2(1 - e^2) > 0, 4b - d^2(1 + e)^2 > 0, 4b(4 - t^2) - d^2(1 + e)^2(4 - t^2) - 8(k + r)^2 > 0$ .故当竞争对手平台采用传统接入费合同时,有

$$q_y^{\text{TD}} - q_y^{\text{DD}} = \frac{-2(4b - d^2(1 + e))(4b - d^2(1 - e^2))(k + r)^2 t}{G_1 G_3} < 0,$$

$$q_j^{\text{TD}} - q_j^{\text{DD}} = \frac{-2(4b + d^2(1 - e^2))(k + r)^3 t}{G_1 G_3} < 0,$$

$$q_x^{\text{TT}} - q_x^{\text{TD}} = \frac{-2(4b - d^2(1 + e)^2)(4b - d^2(1 - e^2))(k + r)^2 t}{G_2 G_3} < 0,$$

$$q_i^{\text{TT}} - q_i^{\text{TD}} = \frac{-4(4b - d^2(1 - e^2))(k + r)^3 t}{G_2 G_3} < 0.$$

同理,当竞争对手平台采用三部定价激励合同时,有 $q_x^{\text{TD}} - q_x^{\text{DD}} > 0, q_i^{\text{TD}} - q_i^{\text{DD}} > 0, q_y^{\text{TT}} - q_y^{\text{TD}} > 0, q_j^{\text{TT}} - q_j^{\text{TD}} > 0$ . □

命题6表明,无论竞争对手平台选择何种接入费合同,硬件平台选择三部定价合同均能够获得更高的硬件和软件销量,同时竞争对手的硬件和软件销量都降低.这是因为硬件平台采用三部定价合同能消除平台内的决策外部性,使其更具竞争优势,从而在销量竞争中压制住竞争对手平台,故每个硬件商均有动机对平台内的软件商采取激励措施.因此,两硬件平台均使用三部定价激励合同成为均衡.

结合命题1与命题5,分析两个平台均使用三部定价合同(TT)的利润相较于最初两个平台使用传统接入费合同(DD)的利润情况,可以得到如下命题.

**命题7** 1)当 $K_A > 0$ 且 $k + r < K_A$ ,以及当 $0 < t < t_A$ 时,若 $k + r > K_A > 0$ 或 $K_A < 0$ ,则相较于DD,三部定价合同均衡(TT)能使两个平台的利润均得到改进;2)当 $t_A < t < 1$ 时,若 $k + r > K_A > 0$ 或 $K_A < 0$ ,则相较于DD,三部定价合同均衡(TT)会导致两个平台利润下降,即在博弈中出现了囚徒困境.其中,当 $e > 0$ 且 $b < b_A$ 时, $K_A > 0$ ,反之 $K_A < 0$ .

命题7表明,虽然硬件商总可以通过适当的三部定价合同实现平台中各企业利润的帕累托改进,但相较于平台竞争初始状态DD,最终达到均衡的竞争状态TT却并不总会使各平台利润得到提高.软件质量竞争或者软件质量互补且平台竞争激烈且软硬件间需求互补程度较大时,两个硬件平台均采用三部定价激励合同会使双方均陷入囚徒困境;仅当软硬件之间的互补程度较弱,或者平台竞争强度较低时,TT策略才会使双方利润最终得到改进.

#### 5 结论

本文讨论了竞争环境下两硬件平台的激励合同选择问题.首先建立硬件平台间的销量竞争博弈模型;然后分析采用不同接入费合同时竞争平台的博弈均衡,并讨论了硬件平台的激励合同选择策略;最后识别了竞争性硬件平台激励合同的演变路径.主要结论如下:

1)当两个硬件平台均采用同一种接入费合同时,

若软硬件间需求互补程度较小,或当软硬件间需求互补程度较大且硬件平台间竞争强度较小,则两硬件平台在均使用三部定价激励合同的情况下可实现平台内各企业利润的帕累托改进;反之,两硬件平台无法通过三部定价激励合同实现各方企业的帕累托改进。

2) 无论竞争对手采用何种接入费合同,硬件平台均可通过适当的三部定价激励合同实现本平台内各企业利润的帕累托改进。在硬件平台从传统接入费合同转向三部定价激励合同后,平台的软硬件销量及总利润会升高,而竞争平台的软硬件销量及平台总利润会降低,这表明对软件商实施激励行为能使平台在竞争中占据优势。

3) 竞争硬件平台激励合同演化路径为  $DD \rightarrow TD(DT) \rightarrow TT$ , 双方均使用三部定价激励合同(TT)是博弈的纳什均衡。然而,当软件质量竞争,或者软件质量互补且软硬件间需求互补程度较大时,若硬件平台间竞争强度大于某个阈值,则硬件平台将会面临利润的囚徒困境,此时虽然每个平台的软硬件销量比初始状态更高,但平台间竞争加剧导致每个平台的系统总利润变得更低。

#### 参考文献(References)

- [1] Jeitschko T D, Tremblay M J. Platform competition with endogenous homing[J]. *International Economic Review*, 2020, 61(3): 1281-1305.
- [2] Belleflamme P, Peitz M. Platform competition: Who benefits from multihoming?[J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2019, 64: 1-26.
- [3] Bakos Y, Halaburda H. Platform competition with multihoming on both sides: Subsidize or not?[J]. *Management Science*, 2020, 66(12): 5599-5607.
- [4] Economides N, Katsamakas E. Two-sided competition of proprietary vs. open source technology platforms and the implications for the software industry[J]. *Management Science*, 2006, 52(7): 1057-1071.
- [5] 钟丽. “硬件-软件”平台质量改进激励合同与竞争策略研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2019.  
(Zhong L. Research on quality improvement incentive contract and competitive strategy of “hardware-software” platform[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2019.)
- [6] Seifbarghy M, Nouhi K, Mahmoudi A. Contract design in a supply chain considering price and quality dependent demand with customer segmentation[J]. *International Journal of Production Economics*, 2015, 167: 108-118.
- [7] 许明辉, 杨东升, 胡兵, 等. 零售商温和不公平厌恶下的回购合约与渠道协调[J]. *控制与决策*, 2020, 35(1): 174-182.  
(Xu M H, Yang D S, Hu B, et al. Channel coordination with buy-back contracts and a mild inequity-averse retailer[J]. *Control and Decision*, 2020, 35(1): 174-182.)
- [8] Wu C Q, Li K P, Shi T Q. Supply chain coordination with two-part tariffs under information asymmetry[J]. *International Journal of Production Research*, 2017, 55(9): 2575-2589.
- [9] Huang X M, Choi S M, Ching W K, et al. On supply chain coordination for false failure returns: A quantity discount contract approach[J]. *International Journal of Production Economics*, 2011, 133(2): 634-644.
- [10] Gao C Y, Cheng T C E, Shen H C, et al. Incentives for quality improvement efforts coordination in supply chains with partial cost allocation contract[J]. *International Journal of Production Research*, 2016, 54(20): 6216-6231.
- [11] Lambrecht A, Seim K, Skiera B. Does uncertainty matter? Consumer behavior under three-part tariffs[J]. *Marketing Science*, 2007, 26(5): 698-710.
- [12] Ascarza E, Lambrecht A, Vilcassim N. When talk is “free”: The effect of tariff structure on usage under two — And three-part tariffs[J]. *Journal of Marketing Research*, 2012, 49(6): 882-899.
- [13] 艾兴政, 马建华, 陈忠, 等. 服务搭便车的电子渠道与传统渠道协调机制[J]. *系统工程学报*, 2011, 26(4): 507-514.  
(Ai X Z, Ma J H, Chen Z, et al. Coordination mechanism of E-channel and traditional channel under service free-riding[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2011, 26(4): 507-514.)
- [14] Unno M, Xu H. Optimal platform strategies in the smartphone market[J]. *Electronics and Communications in Japan*, 2013, 96(7): 1-10.

#### 作者简介

唐华(1995—), 女, 博士生, 从事平台运营、供应链管理的研究, E-mail: tanghua20192019@163.com;

罗之沁(1995—), 男, 硕士生, 从事平台运营的研究, E-mail: luo\_zhiqin@foxmail.com;

何浩嘉(1991—), 女, 博士生, 从事技术供应链、平台运营的研究, E-mail: hehaojia18@126.com;

艾兴政(1969—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理、平台治理等研究, E-mail: aixz@uestc.edu.cn;

郭松波(1993—), 女, 博士生, 从事供应链管理、平台运营的研究, E-mail: sbguo@std.uestc.edu.cn.

(责任编辑: 郑晓蕾)