

众筹平台上网络外部性的价值度量模型^①

李永立^{1,2}, 刘超¹, 樊宁远², 樊治平²

(1. 哈尔滨工业大学经济与管理学院, 哈尔滨 150001; 2. 东北大学工商管理学院, 沈阳 110169)

摘要: 在“互联网+”背景下, 众筹模式逐渐崭露头角, 成为电商营销的一种新形态. 本文从众筹模式的特征分析出发, 以其网络外部性特征和完全垄断的市场结构为切入点, 建立众筹平台网络外部性的价值度量模型. 该模型以考虑宏观网络外部性的消费者效用函数和众筹发起人的收益函数为基础, 在差异化定价策略、非差异化定价策略和无网络外部性基础模型的三种情形下, 应用两阶段博弈模型分别求解众筹发起人的最优价格向量、参与者的最优申购量和众筹发起人的最优收益水平, 进而通过比较在不同策略下众筹发起人最优收益的差异得出众筹平台网络外部性的策略价值和内在价值. 进一步, 将模型的理论结果应用于推荐网络这一特殊的网络结构中, 并设计出具有推荐功能的众筹平台. 结果表明: 本文所设计的具有推荐功能的众筹平台, 可以显著提升众筹发起人的收益水平, 对完善众筹平台的营销模式具有管理实践意义.

关键词: 众筹平台; 网络外部性; 定价理论; 价值度量模型; 复杂网络分析

中图分类号: TP391; N949 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2020)06-0044-15

0 引言

随着共享经济和互联网技术的不断发展, 众筹模式逐步在电商平台上崭露头角, 成为一种新兴的商品营销模式^[1]. 事实上, 众筹的思想由来已久, 早在19世纪50年代, 就有在政府财政紧张的情况下, 以报纸为媒介进行自由女神像兴建的筹资活动. 注意到, 传统的融资方式往往以股份制的形式, 由几个股东或财团参与; 不同于这种少数人的投资模式, 众筹具有广泛的参与性, 允许任何感兴趣的人参与, 并且对资金的要求门槛很低, 这是众筹模式具有共享经济的特征之一. 特别是随着电子技术的不断发展, 众筹从传统的媒介发展到互联网平台上, 大大扩展了众筹项目的范围和参与程度, 不仅仅是少量的艺术品、大型土木工程或者公益项目采用众筹的模式, 大量的商品诸如

各类农产品、电器设备、白酒和饮料等都成为了众筹项目的标的物. 由此, 众筹也从一种融资模式逐步发展成为一种商品乃至服务产品的营销模式, 这成为近年来众筹模式在电子商务领域应用的一种新模式: 比如国内大型的在线购物平台京东和淘宝等, 都推出了京东众筹和淘宝众筹等新的营销模式. 注意到, 这一新的营销模式, 虽然采用的是传统的众筹方式, 但是这些众筹项目的标的物具有典型的商品特征, 其实质上也是以商品售卖为目标. 但是, 相比于传统的在线购物模式, 众筹这一新的营销模式尚处于起步阶段, 在参与数量与交易规模上不可与传统的在线购物模式同日而语, 因此需要更多市场策略的研究以期推进该模式的发展, 更好地促进现代“互联网+电子商务”产业的演进, 这是本文研究的核心目标.

具体到京东和淘宝平台上的现代众筹模式,

① 收稿日期: 2018-01-01; 修改日期: 2020-01-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71771041; 71501034).

作者简介: 李永立(1985—), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 博士生导师, Email: liyongli@hit.edu.cn

除了具有传统众筹模式的基本结构与特征外,其还有以下特征需要在建模中加以关注:(1)就单个众筹项目而言,其具有完全垄断的市场结构.在现实的众筹模式中,众筹的发起人既充当生产者,也充当销售者,并且是该项目唯一的产品提供者;特别是众筹产品往往具有一定的创意性和难以替代性,并且考虑到众筹具有时限的要求;由此,在特定的时间段内,该众筹产品的发起人往往具有完全垄断厂商的特征.(2)消费者参与众筹的决策受到宏微观网络外部性的影响.就是否参与某一众筹项目而言,消费者往往要考虑自身对于该项目产品的偏好,与此同时,还将充分考虑其他人的参与行为.比如:就宏观方面而言,如果某一众筹项目有很多人参与,成功在望,消费者会较为积极地参与这一项目,因为预期即将成功的项目不会白白浪费参与人的热情、等待时间和所投入货币的时间成本,而一个预计难以成功的项目,参与人往往会知难而退;就微观方面而言,消费者往往还会受其朋友推荐和其朋友评论的影响,如果一个项目朋友大都参加并且极力推荐,有助于该消费者参加这一项目,反之则反是.(3)当代众筹平台具有市场信息发现和存储的功能.就众筹模式具有市场发现的能力而言,其可以提前锁定消费者,获知产品是否被市场接受,而传统的营销模式往往对于新产品上市的接受情况具有不确定性.更为重要的是,随着数字化众筹平台的发展,可以获知每位参与者的申购数量以及他们之间的影响或推荐关系.特别是推荐关系,虽然目前的众筹平台没有设置这一功能,但是可以类似于“人大经济论坛”推广新用户注册的功能进行设置,以期获知参与者之间的推荐关系及消费者获知众筹项目信息的来源渠道.注意到,以上众筹模式的特征是研究众筹市场机制的重要基础,一方面,本文所建立的模型将基于完全垄断的市场结构和充分利用众筹市场的信息发现机制,另一方面,本文将重点关注影响众筹成功的网络外部性因素,充分利用该因素,旨在解决以下研究问题:众筹平台上的网络外部性是否有助于提高众筹发起者的收益水平?如果是,那么如何利用和发展网络外部性提高收益水平,推进众筹模式的发展;如果不是,又如何限制网

络外部性的负面影响.

特别地,针对以上特征中的网络外部性,一个较为早期的定义是随着使用同一产品或服务的用户数量变化,每个用户从消费此产品或服务中所获得的效用的变化^[2];这一定义强调了网络外部性的宏观影响,也即商品或服务整体用户的数量对消费者效用的影响,这一早期定义在本文中称为“宏观网络外部性”.而后,随着网络研究的不断深入,特别是“三度影响力”的提出^[3],网络外部性概念的外延在不断扩展,其强调了个体的行为及其效用的变化受到网络上与之有关联的朋友的影响,本文称之为“微观网络外部性”.随着电子商务研究的不断发展,网络外部性越来越受到研究者的重视,比如文献[4~7]的研究工作.特别是本文所研究的众筹平台^[8,9],其作为当代电子商务平台的一个有机组成部分,也同样具有典型的网络外部性的特征,也即:既有用户参与的行为,众筹总体的参与率,乃至用户的评论及推荐行为,都会对是否参与该众筹项目的潜在消费者产生影响.注意到,以上列举的因素,用户的参与、互动及推荐行为属于微观网络外部性的范畴,而众筹整体的参与率及推进进度属于宏观网络外部性的范畴.由此可见,抓住网络外部性这个要素,将其视为一种社会资本,有助于从网络外部性价值的度量入手,开展对众筹营销模式的研究;具体地,研究网络外部性价值的构成及其影响规律,有助于在众筹平台上更加合理地利用网络外部性的价值,提升众筹发起人的收益水平及众筹的成功率.

本文主要的创新点概括为如下3个方面.第一,就研究问题而言,本文所关注的众筹模式下网络外部性的价值度量问题,是一个新的研究问题,是对现有关于众筹模式研究的有益补充.虽然目前有部分涉及众筹平台及其商业模式的研究,比如文献[10]研究了众筹平台上的最优定价与产品发布策略问题;但鲜有学者关注众筹模式的网络外部性特征.第二,在方法层面,本文将继承文献[11,12]的奠基性模型结构,并将扩展奠基模型的分析方法和理论结果与当代众筹模式的特征结合起来,从理论上给出发展当代众筹模式的管理策略.第三,在既有的关于网络外部性的研

究^[13, 14], 往往只单独研究宏微观网络外部性的一个方面, 本文结合了客观问题的实际情况, 将两种网络外部性同时考虑在一个模型中, 这在既有的研究并不多见的, 属于本文的另一个创新之处. 综合以上3个层面的创新点, 本文的主要工作及贡献如下: (1) 将宏观网络外部性和微观网络外部性引入到消费者效用函数中, 构建同时考虑宏微观网络外性的消费者效用函数, 发展了已有的涉及网络外部性影响规律的研究工作; (2) 应用两阶段博弈模型分别求解出在差异化定价策略、非差异化定价策略和无网络外部性的基础模型3种情形下众筹发起人的最优价格向量、参与者的最优申购量和众筹发起人的最优收益水平; (3) 对比不同情形下发起人最优收益的差异, 建立众筹平台上度量网络外部性价值的模型; (4) 应用模型的理论结果, 利用推荐网络这一特殊的网络结构验证模型的合理性和实用性; (5) 设计了具有推荐功能的众筹平台, 并给出提高发起人收益水平的管理建议. 本文的后续章节将围绕以上工作详细展开, 不再赘述.

1 模型建立

1.1 网络外部性的刻画

根据引言的介绍, 宏观网络外部性强调了商品或服务整体用户的数量对消费者效用的影响. 由此, 令某一众筹项目全部参与者的集合记为 $N := \{1, 2, \dots, n\}$, 并记第 j 个众筹参与者申购的数量记为 x_j ; 则对于众筹参与者 i 而言 ($i \neq j$), 其宏观网络外部性为

$$H(i) = \sum_{j \neq i}^n x_j \quad (1)$$

由于微观网络外部性考虑了网络上同伴效应的影响, 定义“交互影响网络”的矩阵为 $\mathbf{G} := [g_{ij}]_{i, j \in N}$, 其中第 i 行第 j 列的元素 g_{ij} 表示众筹参与者 j 对于参与者 i 的影响强度. 由此, 结合参与者的申购量, 对于众筹参与者 i 而言 ($i \neq j$), 其微观网络外部性为

$$W(i) = \sum_{j \neq i}^n g_{ij} x_j \quad (2)$$

对“交互影响矩阵”对角线上的元素 g_{ii} ($\forall i \in N$) 而言, 考虑到“交互影响矩阵”刻画的是来自网络上其他个体的影响; 因此, 类似于邻接矩阵的定义, 令所有的对角线元素为0; 而对于非对角线上的元素 g_{ij} ($i \neq j$) 而言, 有3种取值情况: 1) $g_{ij} > 0$, 表示参与者 j 的申购会对参与者 i 的申购决策产生正向的影响; 2) $g_{ij} < 0$, 表示参与者 j 的申购会对参与者 i 的申购决策产生负向的影响; 3) $g_{ij} = 0$, 表示参与者 j 的申购不对参与者 i 的申购决策产生影响.

尽管微观网络外部性从数学的刻画上是明确的, 但是在现实的市场环境中, 完全获得众筹参与者之间相互影响的强度信息是困难的. 为此, 本文讨论一种特殊的交互影响网络——推荐网络: 注意到这一网络结构的信息是容易获得的, 可以类似于人大经济论坛上注册推广的机制, 让已申购该众筹项目的参与人在众筹平台上(可以依托微信、QQ或者开发众筹平台APP的功能)发送推荐该众筹项目的链接给潜在的参与者; 如果潜在的参与者接受该推荐并成功参与众筹项目, 则形成该推荐网络上的一个有效链接. 具体地, 定义推荐网络为 $\mathbf{T} := [t_{ij}]_{i, j \in N}$, 则类似于微观网络外部性的定义, 其对角线元素 $t_{ii} = 0$ ($\forall i \in N$), 并且若 $t_{ij} = 1$, 表示参与者 j 成功推荐潜在的参与者 i 参与了该众筹项目. 综上所述, 众筹推荐网络具有如下性质: 该网络的元素为0或1, 并且该网络为有向网络, 是所定义的交互影响矩阵的一类特殊情形.

1.2 考虑宏微观网络外部性的消费者效用函数

综合以上刻画的宏微观网络外部性, 并考虑到参与者自身对于该众筹产品偏好的程度, 本文继承既有研究文献[11~13]和文献[15, 16]中效用函数的形式, 采用如下二次型的效用函数: 对于第 i 个众筹参与者, 记申购一单位众筹标的物的支出(也即购买价格)为 p_i , 则其效用表示为

$$u_i = \alpha_i x_i - \frac{1}{2} \beta_i x_i^2 + (\gamma_i H(i) + W(i)) x_i - p_i x_i \quad (3)$$

式中 α_i 和 β_i 反映参与者 i 对众筹标的产品的偏好

程度,且都为非负数;具体地, α_i 反映了边际效用,而 β_i 反映了边际效用递减效应. 一般而言, α_i 越大,反映消费者 i 对该众筹标的产品越喜欢;而 β_i 越小,则意味着更小的边际递减效应,也即消费者倾向于申购和消费更多的众筹标的产品;反之则反是. 对于效用函数中的 γ_i ,其含义是对于参与者 i 而言,宏观网络外部性相对于微观网络外部性的影响强度比例. 通常来说,宏观网络外部性的影响强度要小于微观网络外部性的影响强度,因此本文设定 $0 < \gamma_i < 1$. 综上,在给定每名参与者偏好参数、宏微观网络外部性及其影响强度时, u_i 为申购量 x_i 和价格 p_i 的函数,其中申购量 x_i 是消费者 i 的控制变量.

1.3 众筹发起人的收益函数

回顾引言中关于众筹模式特征的介绍,众筹发起人兼产品的生产者与销售者的功能于一身,对该众筹项目具有垄断地位. 由此,对于该众筹发起人,其作为该众筹产品的完全垄断商,可以针对该项目不同的参与者给出差异化的定价. 虽然在现实市场中,表面上看每个参与者面临相同的产品定价,但众筹发起人可以通过其他的补偿手段,达到事实上差异化定价的目的. 而从无差异的定价到有差异定价具体管理策略的实施方法和过程,则是本文所研究管理策略的一个重要组成部分. 为此,需要对比在无差异定价情形下和有差异定价的情形下,众筹发起人实际收益的不同给出相应的管理策略.

令生产单位产品的费用为 c ,则在无差异定价情形下,对于市场上一致的产品价格 p ,众筹发起人的收益函数为

$$S(p) = (p - c) \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

则在差异化定价的情形下,回顾效用函数式(3)中 p_i 的定义,众筹发起人的收益函数为

$$S(p_1, p_2, \dots, p_n) = \sum_{i=1}^n (p_i - c) x_i \quad (5)$$

注意到,由于众筹发起人具有制定众筹产品价格的能力,这里收益函数中的决策变量为价格. 众筹发起人以收益最大化为目标,而消费者以效用最大化为目标,两类市场主体构成了博弈主体,他们

在各自追求最大化的过程中形成了博弈过程.

2 模型求解及不同情形下的理论结果

针对第 1 节所建立的效用函数与收益函数,本节描述如何求解其最优化问题. 这里涉及了两个控制变量的求解:一个是众筹发起人的最优定价策略,另一个是每名参与者的最优消费量. 考虑到模型在不同的情境下,将面临略有差异的收益函数和效用函数,因此首先以最复杂的情形——差异化定价情形为例,给出模型求解的具体过程. 而后,参照给出的求解过程,讨论无差异化定价情形下的结果,并给出无网络外部性影响时模型的理论结果.

2.1 以差异化定价情形为例的模型求解过程

在差异化定价的情形下,对消费者 i 而言,其面临如下的最优化问题

$$\max_{x_i} u_i(x_i, p_i) \quad (6)$$

式中效用函数 u_i 的定义如式(3)所示,其被强调为申购量 x_i 和价格 p_i 的函数. 注意到 u_i 是连续可微的函数,并且宏微观网络外部性 $H(i)$ 和 $W(i)$ 不含有控制变量 x_i ,则给定 p_i ,以上最优化问题可直接求解如下

$$\frac{\partial u_i(x_i, p_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (7)$$

进一步联立 i 从 1 到 n 的结果,并根据 $H(i)$ 和 $W(i)$ 的表达式,得到如下用矩阵表示的线性方程组

$$\begin{bmatrix} \beta_1 & -\gamma_1 - g_{12} & \dots & -\gamma_1 - g_{1n} \\ -\gamma_2 - g_{21} & \beta_2 & \dots & -\gamma_2 - g_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ -\gamma_n - g_{n1} & -\gamma_n - g_{n2} & \dots & \beta_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 - p_1 \\ \alpha_2 - p_2 \\ \vdots \\ \alpha_n - p_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

就上述联立方程组的解而言,理论上存在 x_i 为负数的可能. 而在现实世界中,一个潜在的消费者至多不参与该众筹项目的申购,更不可能申购

一个负数的量. 从现实世界对于申购量为正数的客观要求来看, 这类未参与申购的消费者在可行解的范围之外, 也即不是本文模型的考虑对象, 并且基于现实世界的数据, 我们能够观察到的申购者都是成功参与了众筹项目的消费者, 也即对那些 $x_i > 0$ 的参与者进行建模. 对此, 根据现实世界的客观约束, 给出如下的可行解满足 $x_i > 0$ 的充分条件作为假设.

假设 1 (主对角占优假设) 对于所有观察到的成功参与了众筹项目的参与者而言, 假设参数满足如下约束条件

$$\beta_i > \sum_{j \neq i}^n |\gamma_i + g_{ij}| \quad (9)$$

注意到, 满足假设条件的矩阵为主对角占优矩阵, 其不仅可逆, 而且所求得的逆矩阵为正矩阵. 结合式(8)易见: 对于所有参与者而言, 价格与申购量呈负相关, 也即价格越高、申购量越少, 这是正常商品和理性参与者应满足的属性. 如果以上充分条件不满足, 则可能存在价格越高, 申购量也越高的非理性参与者, 虽然对于个别商品可能部分参与者会有类似的特殊行为, 但是对于市场上交易

的绝大多数商品而言, 价量应负相关. 结合后面关于最优的 p_i 取值的结果, 该假设保证了所有的最优申购量为正数, 这与以上所分析的真实市场的实际情况相一致.

为方便表述本文的结果, 将式(8)中的各量写成向量的形式 $\mathbf{x} := [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$, $\boldsymbol{\alpha} := [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n]^T$, $\mathbf{p} := [p_1, p_2, \dots, p_n]^T$, $\boldsymbol{\beta} := [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n]^T$, 以及单位矩阵 \mathbf{I} 和定义的综合了宏微观网络外部性的影响矩阵 $\mathbf{M} = [m_{ij}]_{i,j \in N}$, 这里当 $i \neq j$ 时, $m_{ij} = \gamma_i + g_{ij}$, 当 $i = j$ 时, $m_{ii} = 0$. 由此, 式(8)用矩阵形式表示为

$$[\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{M}] \cdot \mathbf{x} = \boldsymbol{\alpha} - \mathbf{p} \quad (10)$$

在假设条件下, 当效用函数取得最大值时, 可解得申购量与价格之间的关系为

$$\mathbf{x} = (\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1}(\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{p}) \quad (11)$$

将式(11)代入众筹发起人的收益函数式(5), 求解最优化问题

$$\max_{\mathbf{p}} (\mathbf{p} - \mathbf{c})^T (\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1}(\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{p}) \quad (12)$$

其中 $\mathbf{c} := [c, c, \dots, c]^T$. 式(12)的目标函数是关于控制变量 \mathbf{p} 的二次函数, 令其对 \mathbf{p} 的一阶导数为零, 可以得到目标函数取得最大值的充要条件

$$\frac{d(\mathbf{p} - \mathbf{c})^T (\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1}(\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{p})}{d\mathbf{p}} = \boldsymbol{\alpha}^T (\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-T} + \mathbf{c}^T (\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1} - \mathbf{p}^T [(\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1} + (\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-T}] = 0 \quad (13)$$

记 $\mathbf{A} := (\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1}$, 则众筹发起人在实施价格歧视情形下的最优出价策略为

$$\mathbf{p}^* = (\mathbf{A} + \mathbf{A}^T)^{-1}(\mathbf{A}\boldsymbol{\alpha} + \mathbf{A}^T\mathbf{c}) \quad (14)$$

将这一结果回代入式(11), 可获得各个参与者的最优申购量为

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^* &= \mathbf{A}(\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{p}^*) \\ &= \mathbf{A}(\boldsymbol{\alpha} - (\mathbf{A} + \mathbf{A}^T)^{-1}(\mathbf{A}\boldsymbol{\alpha} + \mathbf{A}^T\mathbf{c})) \quad (15) \\ &= (\mathbf{A}^{-1} + \mathbf{A}^{-T})^{-1}(\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{c}) \end{aligned}$$

由此综合 \mathbf{p}^* 和 \mathbf{x}^* 的结果, 代入式(5)即可以求得众筹发起人获得的最大收益为

$$(\mathbf{p}^* - \mathbf{c})^T \mathbf{x}^* = \frac{1}{2}(\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{c})^T (\mathbf{A}^{-1} + \mathbf{A}^{-T})^{-1}(\boldsymbol{\alpha} - \mathbf{c}) \quad (16)$$

2.2 不同情境下的理论结果

根据以上在差异化定价情形下的模型求解过

程, 可以总结出模型求解的一般流程如下: 首先针对每名参与者的效用函数求导, 求得其最大化时的最优价量反应方程(如式(8)或式(11)), 而后将最优价量反应方程代入参与者的收益函数中, 求出最优定价策略(如式(12)和式(14)), 最后将最优定价策略代入最优价量反应方程中, 求得每名参与者的最优申购量(如式(15)), 以及众筹发起人的最优收益(如式(16)). 尽管在不同的情形下, 由于对控制变量约束的不同, 众筹发起者的收益函数乃至消费者的效用函数会有形式上些许的变化, 但以上求解的思路和流程是一致的. 按照以上求解过程, 求得不同情境下的结果如下.

I) 差异化定价策略.

当众筹发起人实施差异化定价策略时, 其各个决策变量以及由此得到的最优收益情况已由

2.1 节给出. 为了和后面的几种情形相区分, 用下标“ I ”标示此类情形, 如结果 1 所示.

结果 1(差异化定价策略) 当众筹发起人实施价格歧视时, 最优的定价策略为

$$p_I^* = (A + A^T)^{-1}(A\alpha + A^T c) \quad (17)$$

参与者最优的申购量为

$$x_I^* = (A^{-1} + A^{-T})^{-1}(\alpha - c) \quad (18)$$

以及由此形成的众筹发起人最优收益水平为

$$B_I = \frac{1}{2}(\alpha - c)^T (A^{-1} + A^{-T})^{-1}(\alpha - c) \quad (19)$$

II) 非差异化定价策略.

虽然众筹发起人具有完全垄断的市场地位, 但在真实的众筹平台上, 众筹发起人也会由于实施差异化定价的种种限制而对所有的参与者实施一致的价格, 实行非差异化的定价策略; 也即 $p_1 = p_2 = \dots = p_n$, 在增加该约束条件下, 其各个控制变量及最优收益的结果总结在结果 2 中, 并用下标“ II ”标示.

结果 2(非差异化定价策略) 当众筹发起人实行非差异化定价策略时, 最优的定价策略为

$$p_{II}^* = \frac{1}{2} \frac{I^T A \alpha}{I^T A I} + \frac{c}{2} \quad (20)$$

参与者最优的申购量为

$$x_{II}^* = A \left(\alpha - \left(\frac{1}{2} \frac{I^T A \alpha}{I^T A I} + \frac{c}{2} \right) I \right) \quad (21)$$

以及由此形成的众筹发起人最优收益水平为

$$B_{II} = \frac{1}{4} \frac{(I^T A \alpha - I^T A c)^2}{I^T A I} \quad (22)$$

III) 无网络外部性影响的基准定价策略.

为了度量网络外部性的价值, 增加一个对基础模型及其最优解的描述. 由此, 可以通过模型之间的比较, 度量网络外部性的价值. 具体地, 当网络外部性不被考虑时, 在差异化定价的情形下, 其结果总结在如下的结果 3 中, 并用下标“ III ”标示.

结果 3(无网络外部性影响的基准定价策略)

在基础模型中, 当网络外部性被忽略时, 在差异化定价的情形下, 众筹发起人最优的定价策略为

$$p_{III}^* = \frac{\alpha + c}{2} \quad (23)$$

参与者最优的申购量为

$$x_{III}^* = (\beta \cdot I)^{-1} \frac{(\alpha - c)}{2} \quad (24)$$

以及由此形成的众筹发起人最优收益水平为

$$B_{III} = \frac{(\beta \cdot I)^{-1} (\alpha - c)^T (\alpha - c)}{4} \quad (25)$$

2.3 模型讨论

在众筹平台上实现商品售卖的功能, 是在电子商务环境中新零售模式兴起的体现, 这已经在京东和淘宝平台上初步实现. 本文的模型以众筹新零售模式为管理背景, 与该新兴模式相契合的特征重点表现在如下 4 个方面:

第一, 把握了众筹发起人接近垄断厂商的地位, 其是众筹标的物的生产者和销售者, 并且具有价格的制定权. 回顾引言中关于众筹特征的描述, 由于众筹产品往往具有创意性和独特性, 作为众筹标的物的生产者和销售者, 众筹发起人对于该标的物具有类似于垄断厂商的市场地位, 具有产品的定价权, 并具有实施差异化定价的能力.

第二, 抓住了宏微观网络外部性影响新零售模式的显著特点. 回顾众筹参与的过程, 众筹平台具有先申购, 达到众筹标准后, 才进行生产和消费的特征, 这与既有的直接付费和直接购买(即买即卖)的普通电子商务平台有不同. 申购在前、生产消费在后的特征使得消费者间的社会网络能够更深刻地影响消费者参与众筹的行为: 一方面, 宏观网络外部性的信息提示消费者众筹项目是否会如期成功实施, 这对于消费者参与众筹项目是重要的影响因素和信息; 另一方面, 申购和生产的时间差有助于消费者更理性地考量微观网络外部性的信息, 这对于消费决策是重要的因素. 由此, 宏微观网络外部性在众筹平台上具有不可忽视的意义, 在我们所建立的模型中, 特别将两类网络外部性加以描述和考虑.

第三, 众筹平台的售卖模式决定了本文所求出的静态最优解更符合现实市场的消费特征. 在其他的即买即卖的市场上, 消费者进入市场有先后, 具有先行后效的决策机制特征; 但在众筹平台上, 虽然消费者的申购有先后, 但其有充分的时间决定申购量并能在众筹募集期结束前调整(增加或减少)申购量, 而在众筹募集期结束时, 众筹发起人对全体消费者同时进行生产和完成发货. 注意到从申购到生产的时间差有助于消费者充分利用市场及网络信息调整消费量, 达到最优的平衡状态, 这与本文所求解模型的最优解相一致; 而在

其他市场上,由于即买即卖的模式,消费者又有先后的消费次序,很难达到这个静态的最优平衡状态,需要建立主从博弈的求解机制,这与本文模型是不同的.由此可见,本文模型求解的静态均衡最优解恰恰是适用于众筹模式的求解策略.

第四,一般而言,完全垄断厂商在满足特定的条件下可以实施差异化定价的策略,如“消费者偏好差异”与“市场隔离”^[17],而随着研究的不断深入,如文献[11, 12]发现以及后续的扩展研究文献[18, 19],消费者处于影响网络中的不同地位也是导致差异化定价的原因.本文继承既有的关于差异化定价的前提条件,并且强调市场因素本身也会影响差异化定价的实施;特别是在本文讨论的众筹平台上,众筹发起人可以通过给予不同的价格折扣或返现实施差异化定价的策略,但这种价格歧视往往是有方向性的,也即降低的价格策略便于实施,而提升价格的策略往往会引起消费者的强烈反感而难以实施,这一点在本文的应用章节有较为详尽的表述.

诚然,本文的模型虽然针对众筹模式的特征进行建立,但如果其他的市场特征也符合和接近本文描述的众筹模式,本文建立的模型也有潜在的适用价值,所提出的管理建议一定程度也是适用的.

3 网络外部性的价值度量及其性质

3.1 网络外部性的价值定义

根据以上不同情境下的理论结果,本文以基础模型中众筹发起人的收益为基础,将网络外部性分为两个部分来考虑:一个部分为在考虑网络外部性情形下,实施差异化定价与未实施差异化定价众筹发起人最优收益的差额作为网络外部性价值一个方面的体现,称之为“网络外部性的策略价值”;而另一个部分为未实施差异化定价下众筹发起人的最优收益与基础模型中众筹发起人最优收益的差异作为“网络外部性的内在价值”.整体的网络外部性的价值由这两部分加总进行度量,具体定义如下:

定义 1(网络外部性的策略价值、内在价值和总体价值) 给定交互影响网络的矩阵 G 、宏观网络外部性的影响强度系数矩阵 $\gamma := (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)^T$ 和全

体参与者的偏好系数 α 和 β ,则网络外部性的策略价值 CV 定义为

$$CV = B_I - B_{II} \tag{26}$$

网络外部性的内在价值 NV 定义为

$$NV = B_{II} - B_{III} \tag{27}$$

加总以上两类价值得到网络外部性的总体价值 ZV 为

$$ZV = CV + NV \tag{28}$$

其中 B_I 、 B_{II} 和 B_{III} 分别由式(19)、式(22)和式(25)给出.

为了突出网络结构对众筹发起者收益的影响,本文假设所有的参与者除了网络位置可能存在差别外,其偏好系数以及宏观网络外部性影响强度系数都相等,如假设 2 所示.

假设 2(偏好一致性假设) 对于众筹项目的全部参与个体,令其具有一致的产品偏好和宏观网络外部性影响强度系数,也即 $\alpha_i = \alpha$, $\beta_i = \beta$ 和 $\gamma_i = \gamma$, 这里 $i \in N$.

该假设虽然和真实市场有差异,但是其提出的目的是为了控制其他因素对模型结果的干扰,有助于集中发现由于不同的网络结构所引起结果变化的规律,以期给出关于网络结构影响价值规律的性质定理.事实上,在真实的市场环境中,对于消费者偏好及宏观网络外部性影响强度系数的数据也不易获得,在不能获知参数具体取值的条件下,将其视为一致的是一种折中的做法,这也是在应用网络外部性价值度量模型时面对的现实问题.

3.2 影响网络外部性价值的性质定理

以下分别讨论影响 3 种网络外部性价值的性质定理.首先,由于非差异化定价策略的情形相当于在差异化定价的基础上增加对价格向量的约束,也即所有参与者面临的出价都相等,则直观上约束条件相当于缩小了可行解的取值范围,所以在差异化定价情形下发起人的最优收益应不小于非差异化定价下的最优收益,也即 $B_I \geq B_{II}$;换句话说,网络外部性的策略价值不小于零.以下严格证明这个直观发现:

性质 1(网络外部性的策略价值不小于零)

以本文的模型和两个假设为基础,成立 $CV \geq 0$.

证明 在假设条件下,式(19)中求得的 B_I 用矩阵形式表示为

$$B_I = \frac{(\alpha - c)^2}{4} \mathbf{I}^T \left(\frac{\mathbf{A}^{-1} + \mathbf{A}^{-T}}{2} \right)^{-1} \mathbf{I} \quad (29)$$

类似地, 式(22)中求得的 B_{II} 可表示为

$$B_{II} = \frac{(\alpha - c)^2}{4} \mathbf{I}^T \mathbf{A} \mathbf{I} \quad (30)$$

由此, 要证明 $CV \geq 0$, 或者 $B_I \geq B_{II}$, 只需证明下式成立

$$\mathbf{I}^T \left(\frac{\mathbf{A}^{-1} + \mathbf{A}^{-T}}{2} \right)^{-1} \mathbf{I} \geq \mathbf{I}^T \mathbf{A} \mathbf{I} \quad (31)$$

为此, 注意到以下事实

$$\mathbf{I}^T \mathbf{A} \mathbf{I} = \mathbf{I}^T \left(\frac{\mathbf{A} + \mathbf{A}^T}{2} \right) \mathbf{I} \quad (32)$$

而后, 式(31)不等式的证明转化为求证以下不等关系

$$\mathbf{I}^T \left(\frac{\mathbf{A}^{-1} + \mathbf{A}^{-T}}{2} \right)^{-1} \mathbf{I} \geq \mathbf{I}^T \left(\frac{\mathbf{A} + \mathbf{A}^T}{2} \right) \mathbf{I} \quad (33)$$

于是, 考虑到事实存在的以下不等关系

$$\frac{\mathbf{I}^T \left(\frac{\mathbf{A} + \mathbf{A}^T}{2} \right) \mathbf{I}}{\mathbf{I}^T \left(\frac{\mathbf{A}^{-1} + \mathbf{A}^{-T}}{2} \right)^{-1} \mathbf{I}} \leq \max_{\mathbf{x} \neq 0} \frac{\mathbf{x}^T \left(\frac{\mathbf{A} + \mathbf{A}^T}{2} \right) \mathbf{x}}{\mathbf{x}^T \left(\frac{\mathbf{A}^{-1} + \mathbf{A}^{-T}}{2} \right)^{-1} \mathbf{x}} \quad (34)$$

由于夹在 \mathbf{I}^T 和 \mathbf{I} 之间的两个矩阵都是对称矩阵, 根据 Rayleigh-Ritz 定理可知

$$\max_{\|\mathbf{x}\|=1} \frac{\mathbf{x}^T \left(\frac{\mathbf{A} + \mathbf{A}^T}{2} \right) \mathbf{x}}{\mathbf{x}^T \left(\frac{\mathbf{A}^{-1} + \mathbf{A}^{-T}}{2} \right)^{-1} \mathbf{x}} = \lambda_{\max} \left(\left(\frac{\mathbf{A}^{-1} + \mathbf{A}^{-T}}{2} \right) \cdot \left(\frac{\mathbf{A} + \mathbf{A}^T}{2} \right) \right) \quad (35)$$

其中 $\lambda_{\max}(\cdot)$ 表示括号内所对应矩阵的最大特征根. 对 $\lambda_{\max}(\cdot)$ 括号里面的矩阵进行计算得到

$$\begin{aligned} \lambda_{\max} \left(\left(\frac{\mathbf{A}^{-1} + \mathbf{A}^{-T}}{2} \right) \cdot \left(\frac{\mathbf{A} + \mathbf{A}^T}{2} \right) \right) &= \\ \lambda_{\max} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} (\mathbf{A}^{-1} \mathbf{A}^T + \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}) \right) &\leq \quad (36) \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \lambda_{\max} (\mathbf{A}^{-1} \mathbf{A}^T + \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}) \end{aligned}$$

令 $\lambda(\cdot)$ 表示括号内矩阵的任一特征根, 成立 $|\lambda(\mathbf{A}^{-1} \mathbf{A}^T)| = |\lambda(\mathbf{A}^{-T} \mathbf{A})| = 1$ 和 $(\mathbf{A}^{-1} \mathbf{A}^T)^{-1} =$

$\mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}$, 则两个矩阵的特征根为倒数关系, 可令 $\exp(iw)$ 和 $\exp(-iw)$ 分别为 $\mathbf{A}^{-1} \mathbf{A}^T$ 和 $\mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}$ 的特征根, 其中 $w \in [0, 2\pi)$. 根据特征根与矩阵范数的不等关系可知

$$\begin{aligned} \lambda(\mathbf{A}^{-1} \mathbf{A}^T + \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}) &= \exp(iw) + \exp(-iw) \\ &\leq 2 \cos w \leq 2 \quad (37) \end{aligned}$$

由此易见 $\lambda_{\max}(\mathbf{A}^{-1} \mathbf{A}^T + \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}) \leq 2$. 进一步倒推上去, 式(33)或式(31)的不等关系成立, 命题得证. 证毕.

在以上的证明中, 注意到当且仅当 $w = 0$ 时, 也即 $\mathbf{A} = \mathbf{A}^T$ 时, 以上不等号可以取得等号, 此即为 $CV = 0$ 的充要条件, 这时意味着网络外部性的策略价值为零, 由此形成如下的推论.

推论 1(网络外部性策略价值为零的条件)

当参与者之间的交互影响网络的矩阵 \mathbf{G} 为对称矩阵时, 网络外部性的策略价值为零.

事实上, 推论 1 指出了在什么条件下, 实施差异化定价是无效的. 具体地, 当消费者间交互影响的网络为对称网络时, 众筹发起人实施差异化的定价是无效的, 其与非差异化定价下所获得的最大收益相等. 然而, 当该交互影响网络不是对称的时候, 众筹发起人实施差异化的定价策略总能获得较高的收益水平, 而这个高出的收益水平正是本文“网络外部性策略价值”所度量和体现的.

接下来, 讨论网络外部性内在价值的性质定理. 同样从直观上, 本文所定义的微观网络外部性可以是正向影响, 也可以是负向影响; 由此, 网络外部性的内在价值可正可负, 这应该取决于网络本身的特征, 特别地, 当 \mathbf{G} 中的元素都为正数时, 网络外部性的内在价值应该为正, 都为负数时, 应为负. 为了严谨地验证以上直观猜想, 相关的性质定理证明如下.

性质 2(网络外部性内在价值的正负条件)

以本文的模型和两个假设为基础, 不同的交互影响网络矩阵 \mathbf{G} 将导致 NV 不同的符号. 特别地, 令宏观网络外部性影响强度系数 $\gamma > 0$, 对于任意的 $i, j \in N$, 当 $g_{ij} \geq 0$ 时, 则 $NV > 0$; 而当 $g_{ij} + \gamma \leq 0$ 时, 则 $NV \leq 0$.

证明 为此, 根据 NV 的定义及 B_{II} 和 B_{III} 的

表达式,成立

$$\begin{aligned} NV &= B_{II} - B_{III} \\ &= \frac{(\alpha - c)^2}{4} (\mathbf{I}^T \mathbf{A} \mathbf{I} - \mathbf{I}^T (\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I})^{-1} \mathbf{I}) \quad (38) \\ &= \frac{(\alpha - c)^2}{4} \mathbf{I}^T (\mathbf{A} - (\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I})^{-1}) \mathbf{I} \end{aligned}$$

经运算成立以下关系

$$\mathbf{A} = (\boldsymbol{\beta} \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1} = \boldsymbol{\beta}^{-1} \mathbf{I} + \boldsymbol{\beta}^{-1} \mathbf{M} (\boldsymbol{\beta} \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1} \quad (39)$$

也即

$$\mathbf{A} - \boldsymbol{\beta}^{-1} \mathbf{I} = \boldsymbol{\beta}^{-1} \mathbf{M} (\boldsymbol{\beta} \mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1} \quad (40)$$

根据假设 1, $\boldsymbol{\beta} > 0$ 且 $\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{M}$ 为主对角占优矩阵, 则其逆矩阵也是主对角占优矩阵, 所以式 (38) 中 NV 的符号取决于矩阵 \mathbf{M} 的符号特征. 根据式 (10) 及其陈述中关于矩阵 \mathbf{M} 的定义, 得到以下事实: 当 $g_{ij} \geq 0$ 且 $\gamma > 0$ 时, \mathbf{M} 中的每个元素都为正数, 是 $NV > 0$ 的充分条件; 而当 $g_{ij} + \gamma \leq 0$ 时, \mathbf{M} 中的每个元素都为非正数, 是 $NV \leq 0$ 的充分条件. 因此, 不同的矩阵将导致网络外部性的内在价值取不同的符号. 证毕.

结合以上两个性质及一个推论, 回顾式 (28) 中对于“网络外部性总体价值 (ZV)”的定义, 可以发现: 网络外部性的总体价值同样受制于交互影响网络矩阵 \mathbf{G} 和宏观网络外部性影响强度系数 γ 的影响, 其可正可负. 其中, 在 \mathbf{G} 为非对称网络的条件下, 网络外部性的策略价值为正, 意味着差异化定价的策略将有助于众筹发起人收益水平的提高, 但是由于 \mathbf{G} 中消费者之间影响关系符号的不确定性, 网络外部性的内在价值可正可负, 特别为负数的时候, 可能会大于网络外部性的策略价值, 从而导致网络外部性的总体价值为负. 这些性质有助于指导众筹发起人盈利策略的制定, 同时给出相应的营销策略, 以促进现代众筹模式的发展, 具体策略及管理意义请参见第 4 节.

3.3 关于网络外部性价值的讨论

基于以上建立的度量模型和性质定理, 以下分别讨论网络外部性价值的经济学含义、网络外部性价值发挥的原理及其在管理实践中的意义. 具体地, 1) 网络外部性价值的经济含义. 在本文

中, 网络外部性作为一种社会资本对待, 对其价值的度量研究类似于对资本资产的定价研究. 而本文所解决的一个核心问题就是网络外部性的价值度量问题. 网络外部性的存在与否, 会对厂商的收益产生影响, 而不同的网络外部性会产生不同程度的收益变化, 由此, 本文从厂商收益变化的视角为度量网络外部性的价值开辟了思路, 并以众筹新零售模式为提托, 实践了本文的研究思路. 2) 网络外部性价值的实现机制. 网络外部性通过影响消费者的效用进而影响其购买决策, 相应地, 厂商根据消费者购买决策的变化制定新的定价和销售策略; 由此, 网络外部性的存在使得厂商的定价和销售策略出现新的特点和规律. 与不考虑网络外部性相比, 厂商利用网络外部性进而实施定价和营销策略所获取的额外收益就是网络外部性策略价值的体现. 3) 众筹平台为背景的网络外部性价值度量模型. 结合本文对众筹平台新零售模式特征和售卖方式的分析, 网络外部性是该新兴平台不可忽视的影响因素, 特别是随着社交媒体平台的发展, 如何利用网络外部性提高收益水平成为一个新的管理问题. 本文的模型旨在通过度量网络外部性的价值, 研究其影响因素与影响规律, 以期助力众筹模式下新零售业的发展.

4 基于理论模型的管理策略与算例

4.1 管理策略的相关结果

上文将消费者之间交互影响网络的矩阵 \mathbf{G} 视为已知的, 进行了模型的理论分析; 事实上, 这个矩阵中的元素往往难以准确确定, 即便是参与者自身, 也难以确切给出其他参与者的影响强度. 那么, 如何在信息缺失的情形下利用本文的理论结果? 注意到, 尽管广义上的 \mathbf{G} 确实难以度量并获得, 但可以针对其中的一些特殊关系进行具体分析, 这就涉及到本节所讨论的“推荐网络”. 推荐网络, 反映的是消费者之间的推荐关系, 比如参与者 A 成功推荐参与者 B 参与了众筹项目, 则形成推荐网络上从 A 到 B 的有向边. 尽管目前的众筹网络平台上还没有实施推荐网络的功能, 但从技术上是可行的. 具体地, 可以类似于“人大经济

论坛”上推荐好友注册,进而奖励论坛币的做法实现这一功能并记录推荐网络;比如:消费者A可以在众筹平台上推荐该项目给其他潜在的消费者,如果收到A推荐的人成功参与了该项目,则形成A到成功参与者的一条有向边,记录这一推荐信息.由此,如果在众筹平台上引入推荐功能,是否有利于众筹发起人收益的提高?并且众筹发起人如何激励消费者推荐其他人参与该众筹项目?以上问题是本节将在上文理论研究基础上拟回答的现实管理问题.

为了直观地表述推荐网络,图1给出一个由7个节点构成的推荐网络,其具有如下的性质:首先本文中的推荐网络是一个有向网络,具有典型的树形结构,这是因为在众筹平台上,推荐的发出者都是已经参与了众筹申购的消费者,他们对没有参与的消费者发出推荐邀请,不会再反过来邀请已经参加过的消费者,不会形成如环形网络等其他网络结构;其次,推荐网络对应的邻接矩阵有0和1两类元素构成,0表示没有推荐关系,1表示有推荐关系;其三,推荐网络的邻接矩阵是非负的,本质上体现的是参与者之间正向的影响关系.以所研究的推荐网络特征为基础,根据上文已经证明的性质定理不难得出如下推论:1)由于推荐网络是非对称的网络,根据性质1可知推荐网络的策略价值大于零,由此,众筹发起人可以通过差异化定价的策略获得额外的收益;2)由于推荐网络中的每个元素都是非负的,则根据性质2可知该网络的内在价值大于零,这意味着众筹发起人为了提高收益,有内在的动力采用推荐网络的营销机制.回到本节开始的两个研究问题,这里已经获得了其中一个问题的答案,将其总结在结论1中.

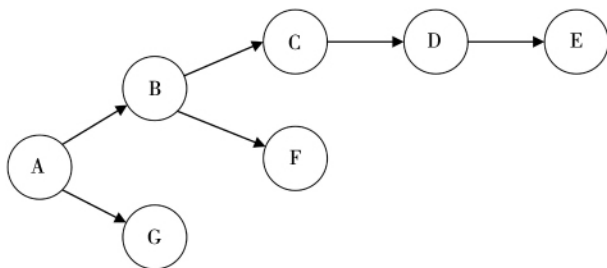


图1 7个节点构成的树形推荐网络

Fig. 1 A tree referral network containing seven nodes

结论1(引入推荐功能的意义及其投资上限)

在众筹平台上引入推荐的功能有利于众筹发起人收益的提高,并且引入该功能的投入应小于推荐网络本身的内在价值.

以上论证了推荐功能引入众筹平台的意义,但推荐功能具体的设计而言,特别是从如何发挥推荐网络策略价值的角度,激励参与者的推荐行为而言,需要在现实的众筹平台基础上引入如下的推荐流程:首先,众筹参与者在真实市场中面对的是一个给定的和统一的众筹标的物的价格,由于众筹发起人在发布众筹产品时,并不能确定参与者相互之间推荐网络的结构特征;因此,结合假设2,其在制定统一发布价格时将依据定理2关于最优定价的结论,制定一个统一的最优价格 p_0 为 $(\alpha + c) / 2$.由此,众筹发起人将 p_0 作为众筹标的物的发布价格,让参与者根据该价格做出是否参与众筹的决定,并推荐朋友网络中潜在的消费者参与众筹.而后,当众筹条件达成时(一般指参与的人数达到一定规模),事实形成的推荐网络 G 可以获知.在此基础上,对推荐网络上不同位置的消费者实施价格折扣的策略,达到差异化定价的结果,并让参与者根据每个人当前的价格信息决定购买量.

注意到以上的众筹过程和目前在京东与淘宝平台上正在使用的众筹过程略有差异.就目前的众筹平台而言,其无法实现差异化定价的功能;而本文所设计的具有推荐功能的众筹平台,首先进行的是参与者是否参与该众筹的决策,而后根据他们实际成功推荐的情况(也即获知的推荐网络 G),通过打折实施差异化的定价策略.在这个过程中,每个参与者的申购量是公开的,而价格打折的信息只有自己可见.至此,新设计的具有推荐功能的众筹平台及其流程是否比原来的更好,也即该功能的加入是否有利于激励参与者的推荐行为,并且能够带给众筹发起人更多的收益?事实上,上文所研究的“推荐网络的策略价值”有助于回答这些问题,具体在推论2中阐述.

推论2(激励参与者的推荐行为) 在本文所设计的具有推荐功能的众筹平台上,存在推荐网络上的部分参与者,他们将面临比统一发布价格

p_0 更低的最优价格,也即存在 p_0 价格折扣的空间.

证明 根据定理 1 和假设 2,在差异化定价的情形下,众筹发起人的最优定价策略为

$$p_1^* = (A + A^T)^{-1}(\alpha A + c A^T) I$$

对其做如下的等价处理

$$\begin{aligned} & (A + A^T)^{-1}(\alpha A + c A^T) I \\ &= \frac{\alpha + c}{2} I + \frac{\alpha - c}{2} (A + A^T)^{-1}(A - A^T) I \end{aligned}$$

由此 p_1^* 中各个元素与 p_0 的差异表示如下

$$\begin{aligned} & p_1^* - p_0 I \\ &= \frac{\alpha - c}{2} (A + A^T)^{-1}(A - A^T) I \\ &= \frac{\alpha - c}{2} (A^{-T} - A^{-1}) (A^{-1} + A^{-T})^{-1} I \end{aligned}$$

由矩阵 A 的定义及假设 1 和假设 2 可知 $A^{-1} + A^{-T} = 2\beta I - (M + M^T)$, 仍为一个主对角占优矩阵,因此逆矩阵的所有元素非负,则列向量 $(A^{-1} + A^{-T})^{-1} I$ 中的所有元素为非负值. 由于 $A^{-T} - A^{-1} = M - M^T = G - G^T$. 则对处于推荐网络最上游的节点,令该节点的编号为 1,对于任意的 $i \neq 1$,有 $g_{ii} \geq 0$,而其中至少有一个为 1,这取决于其处于网络最上游的位置;由此知 $A^{-T} - A^{-1}$ 的第一行元素非正,则 $p_1^* - p_0 I$ 的第一个元素非正,也即存在推荐网络上的参与者,其最优价格低于统一发布价格,存在价格折扣的空间. 证毕.

推论 2 回答了本文设计的具有推荐功能的众筹平台是否有激励推荐行为的可能. 结果表明:在推荐网络上,存在具有折扣空间的消费者,该折扣空间为激励参与者的推荐行为提供了可能. 事实上,只有当参与者成功推荐了其他参与者,才有机会处在推荐网络的上游,获得具有折扣空间的可能.

推论 3(推荐功能提高众筹发起人的收益)

在本文所设计的具有推荐功能的众筹平台上,众筹发起人将获得更多的收益.

证明 首先,在没有推荐功能的众筹平台上,所有消费者面对同样的发布价格,发起人的收益为 B_{III} ,也即本文结果 3 中的情形;而在具有推荐功能的众筹平台上,令众筹发起人的收益为 B_Z . 推论 3 如果成立,只需论证 $B_Z > B_{III}$ 即可. 为此,注意到

$$\begin{aligned} B_Z &\geq \sum_{i=1}^n p_i^* x_i(p_i^*) I(p_i^* < p_0) + \\ &\sum_{i=1}^n p_0 x_i(p_0) (1 - I(p_i^* < p_0)) \end{aligned}$$

其中 $I(\cdot)$ 是示性函数,当括号中的条件满足时,取值为 1,否则为 0. 注意到,式中每个参与者的最终申购量是价格的函数. 因为发起人仅仅对最优价格低于发布价格的参与者进行打折以激励其推荐行为,而对于最优价格高于发布价格的那些个体,不再进行抬高价格的歧视行为. 与此同时,在推荐网络前端的申购者因为价格的降低,会增加申购量,由此会潜在地增加后续参与者的申购量,因此对于那些没有价格折扣的参与者而言,其在具有推荐功能的众筹平台上将比没有该功能的平台具有更多的申购量,也即大于没有推荐网络时的 $x_i(p_0)$. 由此, B_Z 具有以上的不等式形式;而 B_Z 式右边整体等价于

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n p_0 x_i(p_0) + \sum_{i=1}^n (p_i^* x_i(p_i^*) - \\ & p_0 x_i(p_0)) I(p_i^* < p_0) \end{aligned}$$

其中的 $\sum_{i=1}^n p_0 x_i(p_0)$ 恰为 B_{III} ,以下只需论证上式右边的第二项非负即可. 为此,对于满足 $p_i^* < p_0$ 的那些个体,其依然构成了一个推荐网络,记其集合为 S ,根据性质 1 和性质 2,在这个推荐网络上,成立

$$\sum_{i \in S} (p_i^* x_i(p_i^*) - p_0 x_i(p_0)) > 0$$

于是 $B_Z > B_{III}$ 成立,性质得证. 证毕.

推论 3 回答了本文设计的具有推荐功能的众筹平台是否能够给众筹发起人带来收益. 虽然众筹发起人对处于推荐网络上游的部分参与者实施了价格折扣,但因这一策略事实上相当于对部分参与者施行了差异化定价,可以部分发挥推荐网络的策略价值,因此提高了收益水平. 综合以上的论述,并结合推论 2 与推论 3 的内容,得到如下的结论 2.

结论 2(推荐行为的价格折扣及收益增加)

在本文所设计的具有推荐功能的众筹平台上,可以通过实施对推荐网络上部分上游参与者的价格折扣策略,进而激励参与者推荐更多的人加入到

该众筹产品的申购中; 并且这一价格折扣策略有助于众筹发起人收益的增加.

4.2 数值算例

为了更加直观理解以上结果, 类似于文献[11]中参数取值的选择方法, 不失一般性地令 $\alpha = 5, \beta = 10, \gamma = 0.1$ 和 $c = 1$, 则如图1所示的各个参与者的申购价格、申购量和价格折扣情

况, 以及各个参与者对发起人收益的贡献量如表1所示. 同时, 为了增强对比效果, 给出如图2所示的同样含有7个节点的推荐网络, 结果呈现在表2中.

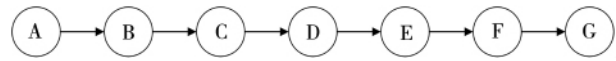


图2 含有7个节点的线型推荐网络

Fig. 2 A line referral network containing seven nodes

表1 图1网络中的相关结果

Table 1 The corresponding results based on the network displayed in Fig. 1

节点		A	B	C	D	E	F	G	汇总
不引入推荐网络	申购价格	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	—
	申购量	0.200 0	0.200 0	0.200 0	0.200 0	0.200 0	0.200 0	0.200 0	—
	发起人收益	0.400 0	0.400 0	0.400 0	0.400 0	0.400 0	0.400 0	0.400 0	2.800 0
引入推荐网络	申购价格	2.762 5	2.886 4	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	—
	申购量	0.238 2	0.249 5	0.239 4	0.238 4	0.238 3	0.239 4	0.238 2	—
	发起人收益	0.419 8	0.470 7	0.478 8	0.476 8	0.476 6	0.478 8	0.476 4	3.277 9
	价格折扣	0.920 8	0.962 1	1	1	1	1	1	—

表2 图2网络中的相关结果

Table 2 The corresponding results based on the network displayed in Fig. 2

节点		A	B	C	D	E	F	G	汇总
不引入推荐网络	申购价格	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	—
	申购量	0.200 0	0.200 0	0.200 0	0.200 0	0.200 0	0.200 0	0.200 0	—
	发起人收益	0.400 0	0.400 0	0.400 0	0.400 0	0.400 0	0.400 0	0.400 0	2.800 0
引入推荐网络	申购价格	2.881 4	2.994 1	2.999 7	3.000 0	3.000 0	3.000 0	3.000 0	—
	申购量	0.226 1	0.237 4	0.237 9	0.237 9	0.237 9	0.237 9	0.237 9	—
	发起人收益	0.425 4	0.473 4	0.475 7	0.475 8	0.475 8	0.475 8	0.475 8	3.277 7
	价格折扣	0.960 5	0.998 0	0.999 9	1	1	1	1	—

通过表1和表2中的结果及两个网络图的对比分析, 例证了本文以上的推论和相关结果. 首先, 引入了推荐网络使得众筹发起人具有实施价格折扣的空间, 可以对推荐网络上部分的上游个体实施价格折扣; 通过理论证明和实例验证, 推荐网络的引入和价格折扣的策略有助于众筹发起人收益水平的提高. 与此同时, 就图1和图2的差异而言, 虽然两个网络具有同样的节点数, 但在不同的推荐网络结构上, 众筹发起人获得的总体收益不同; 而且, 即便对于推荐网

络最上游的节点A而言, 其实施的价格折扣也有显著差异. 由此, 在推荐网络形成的过程中, 众筹参与者如何推荐其他人参与也是一个策略问题, 因为这将直接影响自己面对的折扣价格和最大效用值.

为了更好地展示参数 α 和 γ 对于发起人收益的影响规律, 揭示结果对于两个参数取值的敏感性, 本文进一步选取收益增长率作为度量引入网络与不引入网络收益的对比变量, 其记为 BIR , 定义为

$$BIR = \frac{\text{引入推荐网络的发起人收益} - \text{未引入推荐网络的发起人收益}}{\text{未引入推荐网络的发起人收益}}$$

并将 α 从 1 到 10, 每间隔 0.5 取一个值, 共计取 19 个值, 将 γ 从 0 到 0.2, 每间隔 0.01 取一个值, 共计取 21 个值. 在图 1 和图 2 两种网络情形下, 关于不同参数取值的 BIR 三维图分别如图 3 和图 4 所示. 注意到 α 反映的是消费者对于众筹产品的喜好程度, 而 γ 反映的是众筹平台上宏观网络外部性的相对影响强度. 进一步, 从图 3 和图 4 可以发现如下的影响规律: 1) 收益增长率 (BIR) 对于消费者偏好 α 这一参数不敏感, 而随着 γ 的增长而不断增加; 2) 在同样的参数条件下, 图 1 所示的树形网络比图 2 所示的线性网络更有利于众筹发起者收益率的提高. 由此, 在现实市场上, 进一步提升宏观网络外部性并引入如图 1 所示的树形推荐网络, 更有利于众筹收益的提升.

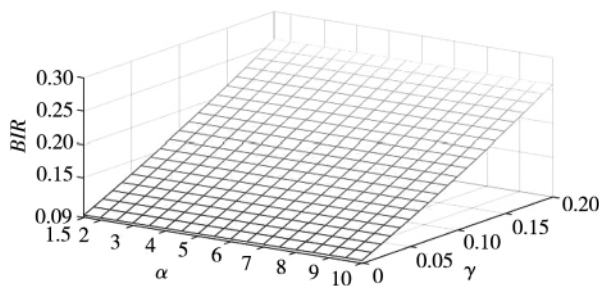


图 3 针对图 1 网络的参数敏感性分析结果
Fig. 3 Results of parameter sensitivity analysis for the network displayed in Fig. 1

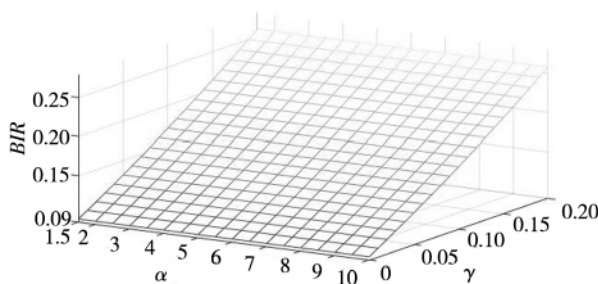


图 4 针对图 2 网络的参数敏感性分析结果
Fig. 4 Results of parameter sensitivity analysis for the network displayed in Fig. 2

5 结束语

本文结合电子商务中众筹模式的发展趋势, 将众筹模式视为一种新的在线商品的售卖模式. 并在其传统流程的基础上, 以网络外部性特征、完全垄断和信息可获取性的市场特点为切入点, 提出众筹平台网络外部性的价值度量模型, 并探索影响网络外部性价值的因素, 以期合理高效利用众筹平台上的网络外部性, 发展众筹营销模式提供模型支持.

基于建立的模型, 本文将众筹平台网络外部性的价值分为策略价值和内在价值, 并对这两种价值的影响规律进行了分析, 得到如下结论: 网络外部性的策略价值可以通过众筹发起人实施差异化的定价策略而得到实现, 其不小于零, 这意味着在众筹平台上实施差异化定价的策略有助于提升众筹发起人的收益; 网络外部性的内在价值取决于消费者之间交互影响的网络本身, 其结果可正可负, 但当交互网络为非负网络时, 如本文所研究的推荐网络, 其内在价值为正, 这意味着在目前的众筹平台上, 引入推荐网络的机制有助于众筹收益的提高. 基于以上两点结论及管理启示, 本文设计了具有推荐功能的众筹平台, 并明确给出了众筹发起人实施差异化定价策略的方式, 数学推导及算例分析表明: 本文所设计的引入推荐功能的众筹平台和众筹流程对提高发起人收益、促进现代众筹营销模式的发展具有指导意义.

虽然本文提出的模型解决了众筹平台网络外部性的价值度量问题并讨论了具体的应用, 但本文仅考虑价格折扣这一种推荐奖励机制, 未来可研究现金奖励、返点奖励等不同奖励方式的激励效果. 此外, 在现实市场中, 消费者的偏好往往是有差异的, 本文为了深入和专一地研究网络外部性的价值度量问题, 而理想化地控制了差异化的偏好, 进一步的工作可以在本文模型框架的基础上放松这一假设, 以期扩展和深化本文的结论和管理洞见.

参考文献:

- [1] Grüner H P, Siemroth C. Crowdfunding, efficiency, and inequality [J]. *Journal of the European Economic Association*, 2019, 17(5): 1393–1427.
- [2] Shichijo T, Fukuda E. A dynamic game analysis of internet services with network externalities [J]. *Theory and Decision*, 2019, 86(3–4): 361–388.
- [3] Fowler J H, Christakis N A. Cooperative behavior cascades in human social networks [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107(12): 5334–5338.
- [4] Wang R, Wang Z. Consumer choice models with endogenous network effects [J]. *Management Science*, 2017, 63(11): 3944–3960.
- [5] 易余胤, 杨海深, 张显玲. 网络外部性下双零售商竞争的演化博弈分析 [J]. *管理科学学报*, 2016, 19(9): 34–48.
Yi Yuyin, Yang Haishen, Zhang Xianling. Evolutionary game analysis of duopoly retailers' competition under network externality [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(9): 34–48. (in Chinese)
- [6] Du C, Cooper W L, Wang Z. Optimal pricing for a multinomial logit choice model with network effects [J]. *Operations Research*, 2016, 64(2): 441–455.
- [7] 周雄伟, 蔡丹, 李世刚, 等. 基于网络外部性和质量差异化的产品定价策略 [J]. *管理科学学报*, 2019, 22(8): 1–16.
Zhou Xiongwei, Cai Dan, Li Shigang, et al. Monopoly pricing strategy of quality-differentiated products with network externality [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2019, 22(8): 1–16. (in Chinese)
- [8] Hildebrand T, Puri M, Rocholl J. Adverse incentives in crowdfunding [J]. *Management Science*, 2017, 63(3): 587–608.
- [9] 曾燕, 梁思莹, 田凤平, 等. 股权众筹投融资方的最优策略分析 [J]. *管理科学学报*, 2017, 20(9): 113–126.
Zeng Yan, Liang Siying, Tian Fengping, et al. The optimal strategy for entrepreneur and investors in equity crowdfunding [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(9): 113–126. (in Chinese)
- [10] Hu M, Li X, Shi M. Product and pricing decisions in crowdfunding [J]. *Marketing Science*, 2014, 34(3): 331–345.
- [11] Candogan O, Bimpikis K, Ozdaglar A. Optimal pricing in networks with externalities [J]. *Operations Research*, 2012, 60(4): 883–905.
- [12] Bloch F, Quérou N. Pricing in social networks [J]. *Games and Economic Behavior*, 2013, 80(5): 243–261.
- [13] Ballester C, Calvó-Armengol A, Zenou Y. Who's who in networks, wanted: The key player [J]. *Econometrica*, 2006, 74(5): 1403–1417.
- [14] Chu J, Manchanda P. Quantifying cross and direct network effects in online consumer-to-consumer platforms [J]. *Marketing Science*, 2016, 35(6): 870–893.
- [15] 李永立, 罗鹏, 张书瑞. 基于决策分析的社交网络链路预测方法 [J]. *管理科学学报*, 2017, 20(1): 64–74.
Li Yongli, Luo Peng, Zhang Shurui. Link prediction in social networks based on decision analysis [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(1): 64–74. (in Chinese)
- [16] 李永立, 陈杨, 樊宁远, 等. 考虑个体效用因素的社会网络演化分析模型 [J]. *管理科学学报*, 2018, 21(3): 41–53.
Li Yongli, Chen Yang, Fan Ningyuan, et al. Utility-based model for interpreting evolution patterns of social networks [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(3): 41–53. (in Chinese)
- [17] Liu J, Liao X, Huang W, et al. Market segmentation: A multiple criteria approach combining preference analysis and segmentation decision [J]. *Omega*, 2019, 83(3): 1–13.
- [18] Bimpikis K, Ehsani S, İlkılıç R. Cournot competition in networked markets [J]. *Management Science*, 2019, 65(6):

2467 – 2481.

[19] Jadbabaie A, Kakhbod A. Optimal contracting in networks [J]. *Journal of Economic Theory*, 2019, 183: 1094 – 1153.

Value measurement model of network externality in a crowdfunding platform

LI Yong-ti^{1, 2}, *LIU Chao*¹, *FAN Ning-yuan*², *FAN Zhi-ping*²

1. School of Economics and Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China

Abstract: In the era of “Internet +”, crowdfunding has gradually become a new mode of e-commerce. After analyzing the features of the crowdfunding pattern, this paper proposed a value measurement model of network externality in a crowdfunding platform by choosing the characteristics of network externality and the structure of perfect monopoly market as the breakthrough points. The established model contains two functions: the crowdfunding initiator’s revenue function and the consumer utility function, with the latter considering both the macro and the micro network externality. By solving a two-stage game model, the optimal price vector of the crowdfunding initiator, the optimal subscribing amounts of investors and the optimal income level of the crowdfunding initiator are derived in the three cases of differential pricing strategy, single uniform price strategy and the benchmark without network externality, respectively. Besides, the strategic value and intrinsic value of network externality are obtained by comparing the optimal revenues of the crowdfunding initiator under different strategies, which is the foundation of designing profitable referral networks in a crowdfunding platform with the function of recommendation. These results show that the proposed crowdfunding platform with the recommendation function enables to encourage the market participants to recommend more people to join in the crowdfunding project so as to greatly raise the crowdfunding initiator’s income level. To sum up, the proposed model is meaningful for the crowdfunding initiators to raise their income levels and further for the market participants to improving the marketing modes in a crowdfunding platform.

Key words: crowdfunding platform; network externality; pricing theory; value measurement model; complex network analysis