

# 基于网络效应的竞争性产品微观扩散研究<sup>①</sup>

赵保国, 余宙婷

(北京邮电大学经济管理学院, 北京 100876)

**摘要:** 竞争性产品扩散是成熟市场的重要表现, 网络效应的存在不仅改变了传统的扩散模式, 而且对个体采纳行为有重要影响。但是以往研究竞争性产品扩散侧重于宏观层面的扩散速度和扩散效果, 忽略了微观层面个体的个性以及社会交互等特点对产品扩散的影响, 因此需要基于网络效应从个体微观层面研究竞争性产品扩散的特点。首先构建了基于个体间交往关系的直接网络效应函数和基于多种互补产品协同作用下的间接网络效应函数, 然后, 个体将计算自己当前时刻的收益以及下一时刻的预期收益, 并根据预期社会化效益满意决策机制确定下一时刻的产品选择。通过仿真对扩散系统进行研究, 结果表明: 直接网络效应和间接网络效应对竞争性产品扩散具有阶段性影响; 在小世界网络的社会交往结构中竞争性产品扩散效果最好; 个体人数分布、偏好、对环境的判断都对竞争性产品扩散有重要影响。

**关键词:** 竞争性产品; 网络效应; 扩散; 个体

**中图分类号:** N945.13      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9807(2013)09-0033-11

## 0 引言

产品的扩散情况是企业成功与否的关键, 也是企业管理者非常重视的问题。产品扩散不仅取决于产品的特性, 而且与产品所处的竞争环境息息相关。特别是随着互联网技术的不断发展, 网络化也成为企业市场竞争中的重要因素。因此, 企业在发展过程中需要了解竞争环境下网络化特点中产品成长的规律, 有效促进新产品快速、有效地发展, 从而获得市场优势。传统的产品扩散研究主要关注单一市场中垄断性产品的发展过程。随着市场的不断成熟, 竞争力对产品扩散的影响越来越突出, 市场中的产品不再孤立存在, 而是与其他产品产生竞争关系。竞争性产品扩散不仅会影响产品扩散的效果, 而且会影响消费者之间的交互关系<sup>[1]</sup>。网络效应理论的研究发现, 由于存在网络化作用, 产品的扩散形式已经不仅是传统的 S 型曲线, 还出现了分叉型、双峰型、马鞍型等其他形

式<sup>[2]</sup>。虽然竞争效用和网络效应研究都取得了一定的进展, 但是对于网络效应下的竞争性产品扩散的研究还是很少。从研究方法上看, 目前有关竞争性产品扩散的研究侧重于宏观层面的扩散速度和扩散效果, 忽略了微观层面消费者个性与社会交互等特点对产品扩散的影响。因此, 本文从微观角度出发, 研究网络效应下竞争性产品的扩散机制。一方面, 丰富扩散领域的研究, 深化微观视角下的竞争性产品扩散理论; 另一方面, 帮助企业管理者从使用者的角度理解新环境下产品的扩散机制, 为新产品的市场成长提供坚实的基础, 使企业在激烈的市场竞争中脱颖而出。

本文将从网络效应入手, 将消费者的个性和社会交互性引入竞争性产品扩散模型, 在复杂网络的基础上构建微观层面的竞争性产品扩散模型。由于产品的竞争性不仅表现在产品质量的差异上, 还体现在相关互补产品市场的发展上。因此, 本文把基于邻居选择的直接网络效应与基于

<sup>①</sup> 收稿日期: 2012-01-03; 修订日期: 2012-05-20。

作者简介: 赵保国(1971-), 男, 河南舞钢人, 博士, 副教授。Email: zhaobaoguo@sina.com

多种互补产品协同作用的间接网络效应区分开来,在预期社会化效益满意决策机制的作用下,个体将在两类竞争性产品之中做出选择,采用复杂网络的分析方法,在小世界网络模型下构建个体之间社会交互关系。

## 1 文献回顾

目前,竞争性产品扩散的研究集中在同类多代产品、多类别关联产品<sup>[3]</sup>以及同类多品牌产品<sup>[4]</sup>3方面。1) 同类多代产品扩散方面: Norton 和 Bass<sup>[5]</sup>基于新老产品之间的替代关系,建立了产品更新换代的 Norton-Bass 模型。Speece 和 Maclachlan<sup>[6]</sup>将价格和市场的增长量引入 Norton-Bass 模型,预测了牛奶包装市场中的 3 种技术在市场中扩散的规律。Mahajan 和 Muller<sup>[7]</sup>再次扩展了 Norton-Bass 模型,研究了持续技术创新的跨代产品扩散,并用其理论对 IBM 大型机扩散进行实证研究。Sohn 和 Ahn<sup>[8]</sup>利用 Norton-Bass 模型分析了引进新信息技术的成本收益情况以及对扩散的影响。2) 多类别关联产品方面<sup>[9]</sup>: Sharif 和 Kabir 将 logistic 模型引入技术替代模型,研究了造船业钢材对木材的替代; Snellman 等通过 Gompertz 模型预测了欧洲 10 国电子支付对现金支付的替代作用。此外,还有很多学者也对手机以及在线银行等竞争性产品的扩散程度进行了实证研究<sup>[11]</sup>。3) 同类多品牌产品扩散方面: Mahajan 等<sup>[10]</sup>率先讨论了的品牌扩散的 MSB 模型。艾兴政和唐小我<sup>[11]</sup>根据人际传播的假设建立了两种品牌竞争的扩散模型。Krishnan 等<sup>[12]</sup>认为消费者是否购买某类产品与是否购买某个品牌产品决策不同,从而构建品牌扩散的 KBK 模型。Libai 等<sup>[13]</sup>将客户流失引入多品牌扩散模型,将客户资产作为衡量扩散效果的标准,并对网上书店、移动通信以及卫星通信等 3 大服务行业的品牌间竞争进行了实证研究。扩散是产品在市场中的表现,但是产品的扩散过程与个体自我分析决策行为以及个体人际互动行为密切相关。只有深入分析个体特性差异,才能理解竞争性产品的扩散过程。然而,目前有关竞争性产品扩散的研究主要关注扩散的宏观特点,很少涉及到个体行为特点以及社会交互关

系的微观影响。

网络效应指的是用户消费某物品的效用会随着消费该物品的其他用户的数量增加而增加,即消费呈现出正反馈或规模报酬递增的现象<sup>[14]</sup>。从微观层面看,产品的竞争性不仅表现在产品质量的差异上,还表现在现有产品的使用人数和相关互补产品的可用性上。因此将网络效应引入竞争性产品扩散是微观扩散模型的重要趋势。Buxmann<sup>[15]</sup>用直接网络效应分析了扩散集中化问题,研究得出,由于直接网络效应的存在,企业可以通过渗透价格进入现存的软件市场。Weitzel 等<sup>[16]</sup>研究了直接网络效应下信息不确定以及个体对邻居预期行为对扩散的影响。Farrell 和 Klemperer<sup>[17]</sup>研究了消费者的相互作用对网络产品扩散的影响。Goldenberg 等<sup>[18]</sup>通过社会阈值模型对传真机、手机等电子产品的扩散进行了实证分析,研究了直接网络效应在产品生命周期不同阶段的作用。Chou 和 Shy<sup>[19]</sup>认为消费者会依据自己的偏好以及与硬件配套的软件产品选择最终消费的硬件,间接网络效应能够在硬件/软件市场引起真正的外部性,应该单独加以研究。Gupta 等<sup>[20]</sup>将消费需求的概率模型和共生性产品响应模型综合起来建模,研究了数字电视的消费需求中硬件和软件的共同作用。Jean-Pierre 等<sup>[21]</sup>研究了在动态竞争市场中间接网络效应与市场冒尖现象的关系。万兴等人通过分析数字电视产业中的接入服务/内容提供范式的间接网络外部性条件下,分析了网络运营商的价格策略<sup>[22]</sup>。

目前,对直接网络效应和间接网络效应的研究已经分别取得较大进展,也有文献开始构建直接网络效应和间接网络效应的协同作用模型。Roman 等<sup>[23-24]</sup>通过比较直接网络效应和间接网络效应两类效应的分布差异,研究了这两种效用对通信服务扩散的不同影响,结果显示扩散的效果取决于直接网络效应和间接网络效应的规模,在扩散的不同阶段他们的影响也不相同。但是文章没有具体提出直接网络效应和间接网络效应的模型,而是仅停留在研究两者分布差异的基础上。鲜于波和梅琳<sup>[25-26]</sup>以局域邻域的交往对象和来自该产品上可以使用的软件数量为基础建立了产品扩散模型,并基于复杂网络和博弈学习模型对间接网络效应下产品扩散问题进行了研究。但是文

中没有对产品的竞争性要素进行深入分析. 目前, 在竞争性产品扩散的网络效应研究方面, 虽然已经提出了直接网络效应和间接网络效应影响的差异, 但是还没有出现有效的模型, 网络效应在扩散中的作用也有待验证.

基于此, 本文将基于网络效应从个体微观层面对竞争性产品扩散进行建模分析. 首先, 从个体消费者之间的影响以及多种互补产品协同效用两方面建立直接网络效应和间接网络效应函数; 其次, 根据预期社会化效益满意决策机制, 在个体社会交互、个体数量分布以及个体异质性的影响下, 构建个体决策演化模型. 最后, 通过计算机仿真, 在小世界网络模型中模拟了竞争性产品的扩散过程, 并讨论网络效应和个体特点对竞争性产品扩散的影响.

## 2 模型建立

### 2.1 基于网络效应的个体效用函数

竞争性产品的竞争性体现在用户数量和市场上互补产品数量两方面, 例如, 电信产品的竞争, 既体现在用户基础上, 又体现在相应的内容和终端设备上. 这类产品有明显的直接网络效应和间接网络效应.

假设市场上有  $i (i = 1, 2, \dots, N)$  个消费者, 其中, 每个消费者与其他  $k (k = 1, 2, \dots, N - 1)$  个消费者有联系,  $k_i$  称为消费者  $i$  的度; 联系者称为消费者的邻居, 记为  $j (j = 1, 2, \dots, k - 1)$ ; 且邻居也有邻居, 所以邻居的度记为  $k_{ij}$ . 假设市场上只存在两类竞争性产品,  $A$  为原有产品,  $B$  为新产品. 消费者会基于当前时刻的收益情况以及对下一时刻的预期收益, 对产品进行选择.

#### 2.1.1 直接网络效应的效用函数

直接网络效应与市场中现有消费者规模相关联, 其效用随着采用同样产品的总人数的增加而增加, 即邻居  $j$  的效用直接影响消费者  $i$ . 但是邻居自身度分布也不一致, 所以邻居对主体采用产品的网络效用的影响存在不等价性. 因此, 本文的直接网络效应不仅考虑消费者  $i$  的度分布  $k_i$ , 也考虑邻居  $j$  的度分布  $k_{ij}$ .  $t$  时刻主体  $i$  受邻居  $j$  的影响权重为

$$w_{ij,t} = \frac{k_{ij,t}}{\sum_{j=1}^{k_i} k_{ij,t}}$$

那么, 消费者  $i$  在  $t$  时刻选择产品 A 或 B 的直接网络效应的效用函数分别为

$$\begin{cases} DU_{Ai,t} = \sum_{j=1}^{k_i} w_{ij,t} u_A \\ DU_{Bi,t} = \sum_{j=1}^{k_i} w_{ij,t} u_B \end{cases} \quad (1)$$

其中  $u_A$  和  $u_B$  分别是消费者对产品质量感知的单位效用, 是服从正态分布  $N \sim (0, 1)$  的随机变量, 且  $u_A < u_B$ .

#### 2.1.2 间接网络效应的效用函数

间接网络效应体现的是市场上可使用的互补产品对消费者使用产品效用的影响. 这种效应不是两类互补产品各自对产品的影响, 而是两类产品协同作用后对产品的影响. CES 函数(不变替代弹性效用函数)具有广泛的函数特性, 不仅可以表示产品之间的替代关系也可以表示产品之间的互补关系<sup>[27]</sup>, 但是一般的 CES 效用函数只能表示两类产品之间的效用, 而无法表示多类产品的协同效应. 所以, 基于文献[28]和[29]引入两层 CES 效用函数来表示多类产品协同作用下的间接网络效应.

假设市场上产品 A 和 B 各自存在两类互补产品, 记为产品 1 和 2. 在间接网络效应下, 产品 1 和 2 对消费者的影响是由市场上这两类产品的数量所决定的. 对于产品 1 来说, 市场上存在着不同子类的产品 1 (记为  $a_\theta$ ) 且不同子类的产品之间是可以相互替代的. 根据单层 CES 效用函数可知, 在  $t$  时刻消费者  $i$  使用产品 A 和产品 B 的互补产品 1 和互补产品 2 的间接效应函数分别为

$$\begin{cases} u_{A,ia,t} = \left( \sum_{a=1}^{a_\theta} x_{A,ia,t}^{\alpha_A} \right)^{1/\alpha_A} \\ u_{A,ib,t} = \left( \sum_{b=1}^{b_\theta} x_{A,ib,t}^{\beta_A} \right)^{1/\beta_A} \\ u_{B,ia,t} = \left( \sum_{a=1}^{a_\theta} x_{B,ia,t}^{\alpha_B} \right)^{1/\alpha_B} \\ u_{B,ib,t} = \left( \sum_{b=1}^{b_\theta} x_{B,ib,t}^{\beta_B} \right)^{1/\beta_B} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $x_{A,ia,t}$  表示  $t$  时刻消费者  $i$  在使用产品 A 时可

以选择的产品 1 的数量;  $x_{A\ j\ t}$  表示  $t$  时刻消费者  $i$  在使用产品 A 时可以选择的产品 2 的数量;  $\alpha_A$  为产品 1 子类之间替代参数;  $\beta_A$  为产品 2 子类之间替代参数. 由于子类之间是可以相互替代的, 所以  $0 < \alpha_A < 1$   $0 < \beta_A < 1$ . 同理, 可知产品 B 的相关参数.

同时, 产品 1 和 2 之间存在着互补性, 所以根据两层 CES 效用函数, 在产品 1 和 2 的协同作用下,  $t$  时刻消费者  $i$  使用产品 A 和 B 整体间接效应的效用函数分别为

$$\begin{cases} \ln U_{A\ i\ t} = [u_{A\ i\ a\ t}^{\gamma_A} + u_{A\ i\ b\ t}^{\gamma_A}]^{1/\gamma_A} \quad (\gamma_A < 0) \\ \ln U_{B\ i\ t} = [u_{B\ i\ a\ t}^{\gamma_B} + u_{B\ i\ b\ t}^{\gamma_B}]^{1/\gamma_B} \quad (\gamma_B < 0) \end{cases} \quad (3)$$

其中  $\gamma$  为产品 1 和 2 之间的替代参数, 由于他们之间是互补关系,  $\gamma_A < 0$ ,  $\gamma_B < 0$ .

市场上互补产品 1 和 2 的数量也是动态变化的, 同类产品的消费者增加会导致市场上可获得产品数量的增加, 所以互补产品的数量与消费者数量正相关. 互补产品 1 的数量与上一时刻同类消费者的数量直接相关, 则  $t$  时刻消费者  $i$  在市场上可获得与产品 A 和 B 配套的产品 1 的数量分别为

$$\begin{cases} x_{A\ i\ a\ t} = x_{A\ i\ a\ t-1} + N_{A\ i\ t-1}^{\tau_A} \\ x_{B\ i\ a\ t} = x_{B\ i\ a\ t-1} + N_{B\ i\ t-1}^{\tau_B} \end{cases} \quad (4)$$

其中  $x_{A\ i\ a\ 0} \neq 0$ ,  $x_{B\ i\ a\ 0} \neq 0$ ;  $\tau$  为产品 1 的增长系数, 且  $\tau_B > \tau_A > 0$ .

互补产品 2 的数量与互补产品 1 的数量相关, 则  $t$  时刻消费者  $i$  在市场上可获得与产品 A 和 B 配套的产品 2 的数量为

$$\begin{cases} x_{A\ i\ b\ t} = x_{A\ i\ b\ t-1} + x_{A\ i\ a\ t-1}^{\zeta_A} \\ x_{B\ i\ b\ t} = x_{B\ i\ b\ t-1} + x_{B\ i\ a\ t-1}^{\zeta_B} \end{cases} \quad (5)$$

其中  $x_{A\ i\ b\ 0} \neq 0$ ,  $x_{B\ i\ b\ 0} \neq 0$ ;  $\zeta$  为产品 2 的增长系数, 且  $\zeta_B > \zeta_A > 0$ .

### 2.1.3 网络效应下个体的效用函数

消费者  $i$  的效用是直接网络效应和间接网络效应相互作用的产物. 根据式 (1) 和 (3) 可知, 在  $t$  时刻消费者  $i$  选用产品 A 或产品 B 时的效用函数分别为

$$\begin{cases} U_{A\ i\ t} = \sum_{j=1}^{k_i} w_{ij\ t} u_A + [u_{A\ i\ a\ t}^{\gamma_A} + u_{A\ i\ b\ t}^{\gamma_A}]^{1/\gamma_A} \\ U_{B\ i\ t} = \sum_{j=1}^{k_i} w_{ij\ t} u_B + [u_{B\ i\ a\ t}^{\gamma_B} + u_{B\ i\ b\ t}^{\gamma_B}]^{1/\gamma_B} \end{cases} \quad (6)$$

### 2.2 个体决策模型

在产品扩散研究中, 采纳者的决策机制一直是研究的重点. 在理性人的假设下, 传统模型中采纳者一般都是基于满意决策准则和最优化决策准则. 但是, 随着社会网络研究的发展, 越来越多的学者开始关注社会互动对个体采纳决策的影响. 社会网络结构与周围其他人的决策对个体采纳有重要作用, 个体的决策不仅依赖于自我收益情况, 还与周围其他人的收益有关, 因此, 个体会基于当前时刻的收益对未来的情况进行判断. 结合文献 [30] 和 [31], 提出预期社会化效益满意决策机制, 即消费者在自己当期收益的条件下, 将结合自己和周围邻居的预期收益来判断下一时刻自己的选择.

在社会化收益当中, 个体的收益不仅是来自自身还来自于周围其他人. 且消费者  $i$  的预期收益与当期收益相关, 即  $\pi_{i\ t+1} = f(u_{i\ t}, \mu_{i\ t}, c_{i\ t})$ , 其中  $\mu_{i\ t}$  是消费者  $i$  在  $t$  时刻的效用感知,  $\mu_{j\ t}$  是邻居  $j$  在  $t$  时刻的效用感知,  $c_{i\ t}$  为消费者  $i$  在  $t$  时刻的成本感知.

#### 2.2.1 感知成本

感知成本包括两部分: 1) 采纳产品的直接成本. 由于某类产品被消费者采用后, 企业将扩大该产品的生产, 规模化生产将直接导致产品成本的下降, 此时, 消费者采纳产品的直接成本感知也会降低. 本文假设  $t$  时刻产品的群体采纳成本随着使用人数的增加而降低, 那么  $c_t = c_{t-1} N_{t-1}^{\varepsilon}$ , 其中,  $N_{t-1}$  是  $t-1$  时刻采纳某种产品的总人数,  $\varepsilon$  是个小于零的参数, 表示的是群体行为下的社会溢出程度. 2) 采纳产品的间接成本. 消费者在采纳新产品后, 不仅将失去原有产品本身的使用效用, 还会失去与继续使用原产品的邻居的关系效用. 本文将采纳的间接成本定义为消费者的转换成本系数  $\lambda$ , 此成本当且仅当消费者转换产品时才会产生. 由于消费者之间存在着异质性, 他们对转换成本的认知存在差异, 可以认为  $\lambda$  是符合 Beta 分布的随机变量<sup>[32]</sup>, 即

$$f(x) = \frac{x^{p-1} (1-x)^{q-1}}{(p-1)! (q-1)! (p+q+1)!} \quad (7)$$

其中

$$\mu = \frac{p}{p+q} \sigma^2 = \frac{pq}{(p+q)^2(p+q+1)}$$

### 2.2.2 个体的当期收益

消费者的当期收益是自身效用和直接成本感知的函数,即  $\pi_{i,t} = f(u_{i,t}, c_{i,t})$ ,但是对于当期未采纳任何产品的消费者来说,他们没有任何收益.所以对 3 类消费者来说,他们在  $t$  时刻的收益分别为

$$\begin{cases} \pi_{A,i,t} = U_{A,i,t} - c_{A,t} \\ \pi_{B,i,t} = U_{B,i,t} - c_{B,t} \\ \pi_{C,i,t} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

### 2.2.3 个体的预期收益

在社会网络中消费者对下一时刻收益的判断不仅会考虑个体自身的效用,还会考虑网络中其他邻居的效用,所以  $\pi_{i,t+1} = f(u_{i,t}, u_{j,t}, c_{i,t})$ . 然而,由于不同产品所在的市场结构不同,消费者对邻居效用和个体效用的偏好,所以本文假设存在个体偏好参数  $\omega$ . 那么,个体的预期收益如下:

1) 产品 A 的使用者 在  $t+1$  时刻面临着继续使用产品 A 还是转用产品 B 的选择. 那么  $t+1$  时刻消费者  $i$  的预期收益分别为

$$\begin{cases} \pi_{A \rightarrow A,i,t+1} = \omega U_{A,i,t} + (1-\omega) \times \\ \left( \sum_{j=k}^{k=1} U_{A,j,t} - \sum_{j'=k, j' \neq j}^{k=1} U_{B,j',t} \right) - c_{A,t+1} \\ \pi_{A \rightarrow B,i,t+1} = \omega U_{B,i,t} + (1-\omega) \times \\ \left( \sum_{j=k}^{k=1} U_{B,j,t} - \sum_{j'=k, j' \neq j}^{k=1} U_{A,j',t} \right) - c_{B,t+1} - \lambda_i \pi_{A,i,t} \end{cases} \quad (9)$$

2) 产品 B 的使用者 在  $t+1$  时刻面临着继续使用产品 B 还是转用产品 A 的选择. 那么  $t+1$  时刻消费者  $i$  的预期收益分别为

$$\begin{cases} \pi_{B \rightarrow B,i,t+1} = \omega U_{B,i,t} + (1-\omega) \times \\ \left( \sum_{j=k}^{k=1} U_{B,j,t} - \sum_{j'=k, j' \neq j}^{k=1} U_{A,j',t} \right) - c_{B,t+1} \\ \pi_{B \rightarrow A,i,t+1} = \omega U_{A,i,t} + (1-\omega) \times \\ \left( \sum_{j=k}^{k=1} U_{A,j,t} - \sum_{j'=k, j' \neq j}^{k=1} U_{B,j',t} \right) - c_{A,t+1} - \lambda_i \pi_{B,i,t} \end{cases} \quad (10)$$

3) 未采纳产品的消费者 在  $t+1$  时刻面临着使用产品 A 还是产品 B 的选择. 那么  $t+1$  时刻消费者  $i$  的预期收益分别为

$$\begin{cases} \pi_{C \rightarrow A,i,t+1} = \omega U_{A,i,t} + (1-\omega) \times \\ \left( \sum_{j=k}^{k=1} U_{A,j,t} - \sum_{j'=k, j' \neq j}^{k=1} U_{B,j',t} \right) - c_{A,t+1} \\ \pi_{C \rightarrow B,i,t+1} = \omega U_{B,i,t} + (1-\omega) \times \\ \left( \sum_{j=k}^{k=1} U_{B,j,t} - \sum_{j'=k, j' \neq j}^{k=1} U_{A,j',t} \right) - c_{B,t+1} \end{cases} \quad (11)$$

### 2.2.4 决策机制

根据预期社会化效益满意决策机制,消费者会选择预期收益较大的产品. Young<sup>[30]</sup> 认为个体在进行策略选择时可能以某种动态的概率偏离最佳选择. 因此,个体  $i$  在  $t+1$  时刻的选择概率可以表达为对数线性反应模型

$$P = \frac{\exp[d\pi_{i,t+1}]}{\exp[d\pi_{i,t+1}] + \exp[d\pi_{i,t}]} \quad (12)$$

其中  $d$  描述了个体偏离最佳决定的程度,  $d$  越大偏离概率越小. 由于个体对决策的偏离程度是由市场的稳定性决定的,所以当市场秩序稳定时,个体偏离的概率较小,即  $d$  较大;当市场秩序混乱时,个体偏离的概率较大,即  $d$  较小.

#### 1) 产品 A 的使用者

当  $\pi_{A \rightarrow A,i,t+1} \geq \pi_{A \rightarrow B,i,t+1}$  时,由于消费惯性,消费者会继续使用产品 A; 当  $\pi_{A \rightarrow A,i,t+1} < \pi_{A \rightarrow B,i,t+1}$  时,消费者将以概率

$$P_{(A \rightarrow B)} = \frac{\exp[d\pi_{B,i,t+1}]}{\exp[d\pi_{B,i,t+1}] + \exp[d\pi_{A,i,t+1}]}$$

选择产品 B.

#### 2) 产品 B 的使用者

当  $\pi_{B \rightarrow B,i,t+1} \geq \pi_{B \rightarrow A,i,t+1}$  时,由于消费惯性,消费者会继续使用产品 A; 当  $\pi_{B \rightarrow B,i,t+1} < \pi_{B \rightarrow A,i,t+1}$  时,消费者将以概率

$$P_{(B \rightarrow A)} = \frac{\exp[d\pi_{A,i,t+1}]}{\exp[d\pi_{A,i,t+1}] + \exp[d\pi_{B,i,t+1}]}$$

选择产品 A.

#### 3) 未采纳产品的消费者

未采纳产品的消费者将以概率

$$p^* = \varphi \frac{\sum_{j=k}^{k=1} n_{j,A} + \sum_{j'=k, j' \neq j}^{k=1} n_{j',B}}{k}$$

采纳某种产品,其中  $\rho$  为个体的接受系数. 然后通过判断两类产品的收益情况,确定产品种类的选择,即:当  $\pi_{A_{j,t+1}} > \pi_{B_{j,t+1}}$  时,消费者会使用产品 A; 当  $\pi_{A_{j,t+1}} \leq \pi_{B_{j,t+1}}$  时,消费者会使用产品 B.

由于产品 B 作为新产品有性能的优越性,所以即使两种产品的收益相等,消费者还是倾向于选择产品 B.

### 3 仿真设计

本文将所有的个体置于 NW 小世界网络当中,每个个体将基于网络效用和成本感知获得当前时刻的收益,在邻居收益的作用下,主体将预期下一时刻选择同类产品或其他产品的收益,最后,在预期社会化效益满意决策机制下个体将确定下一时刻的产品选择.

具体的规则为:

1) 个体根据周围邻居的选择以及邻居的邻居的选择确定直接网络效应  $DU_{i,t}$ , 并且根据市场上互补产品的数量确定间接网络效应  $InU_{i,t}$ , 获得个体当前时刻的网络效用函数  $U_{i,t}$ ;

2) 根据上一时刻整体用户数的情况,感知产品 A 和产品 B 的直接成本  $c_i$ ;

3) 基于网络效应效用函数和直接成本感知函数,个体获得自身当前时刻的收益  $\pi_{i,t}$ ;

4) 根据自身的效用  $U_{i,t}$ 、邻居的效用  $\sum_{j=k}^{k=1} U_{j,t}$ 、直接成本  $c_i$  以及转化成本  $\lambda\pi_{i,t}$ , 确定下一时刻两类产品的预期收益;

5) 在预期社会化效益满意决策机制下,个体或继续使用原产品或以概率  $p$  选择另一种产品;

6) 每一个主体均在以上规则下选择下一时刻的产品,直到市场均衡.

采用 matlab7. 11. 0 进行计算机建模,为保证结论的可靠性,将在基础参数条件下进行 50 次仿真,最终结果是对这 50 次仿真结果的平均值.

在基础模型的参数设置中,为了体现原有产品 A 和新产品 B 的竞争性,分别对产品 A 和产品

B 设定了不同的初始值. 具体的基础模型参数设置如表 1 所示.

表 1 基础模型参数设置

Table 1 The parameter of basic model

变量	意义	取值	
		产品 A	产品 B
$r$	网络重连概率	0.5	
$M$	网络规模	1 000	
$N_0$	初始用户数	400	100
$\alpha$	配套产品 a 间的替代参数	0.9	0.8
$\beta$	配套产品 b 间的替代参数	0.9	0.8
$\tau$	配套产品 a 的增长系数	0.5	0.8
$\zeta$	配套产品 b 的增长系数	0.5	0.8
$\gamma$	配套产品 a 和 b 之间的替代参数	-2	-3
$x_{ia,0}$	初始条件下配套产品 a 的数量	900	100
$x_{ib,0}$	初始条件下配套产品 b 的数量	1 000	100
$a_0$	配套产品 a 的种类	5	8
$b_0$	配套产品 b 的种类	10	20
$C$	采用产品基本感知成本	2	1.5
$\varepsilon$	社会溢出程度	-0.01	
$\omega$	市场结构参数	0.8	
$\varphi$	决策偏离系数	0.8	
$p$	Beta 分布的参数	3	
$q$	Beta 分布的参数	7	

### 4 仿真结果讨论

#### 4.1 网络效应对竞争性产品扩散的影响

在竞争性产品市场中,原有产品已经占据一定的市场份额,但新产品以质量的优势以及互补产品的优势进入市场后,那么消费者需要在原有产品和新产品之间做出选择. 可以看出,在  $w$  和  $d$  不同取值下,直接网络效应和间接网络效应对产品扩散的影响具有差异. 由图 1 - 图 4 可知,只有当直接网络效应实现了绝对增长以后,产品才能实现起飞. 在起飞前,间接网络效应的增长对扩散几乎没有影响,但是在起飞出现之后,直接网络效应的增长缓慢,间接网络效应成为扩散继续发展的主导,间接网络效应的增长有助于产品扩散尽早进入市场稳定状态. 由此可见,直接网络效应和

间接网络效应对产品扩散的影响具有阶段性. 扩散早期, 直接网络效应决定了前期产品扩散的起飞时间和扩散基础. 扩散后期, 间接网络效应决定了产品扩散的程度和最终的市场占有率. 所以对于新产品的推广者来说, 前期要关注初始使用者的情况, 在产品经历了起飞之后, 关注点就需要转移到互补产品的发展上, 从而提升用户的间接网络效应. 关于  $w$  和  $d$  对扩散的影响将在下节中具体讨论.

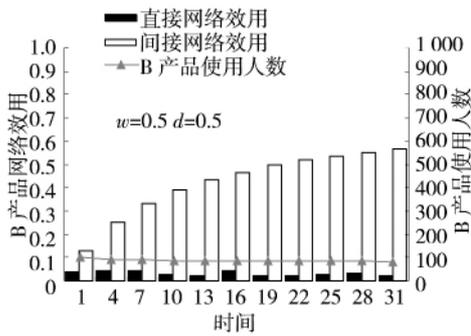


图 1 网络效应与产品扩散 ( $w = 0.5, d = 0.5$ )

Fig. 1 Network effect and product diffusion ( $w = 0.5, d = 0.5$ )

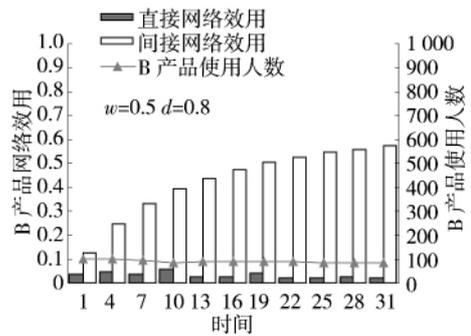


图 2 网络效应与产品扩散 ( $w = 0.5, d = 0.8$ )

Fig. 2 Network effect and product diffusion ( $w = 0.5, d = 0.8$ )

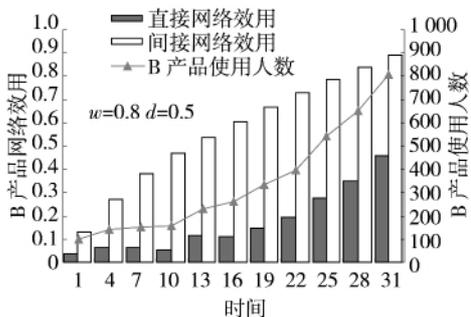


图 3 网络效应与产品扩散 ( $w = 0.8, d = 0.5$ )

Fig. 3 Network effect and product diffusion ( $w = 0.8, d = 0.5$ )

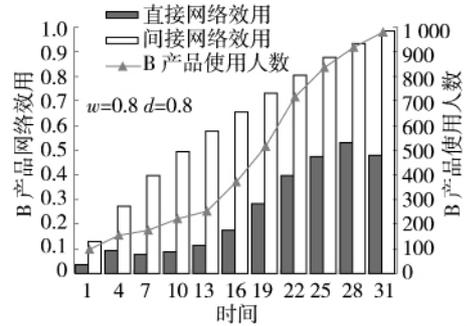


图 4 网络效应与产品扩散 ( $w = 0.8, d = 0.8$ )

Fig. 4 Network effect and product diffusion ( $w = 0.8, d = 0.8$ )

## 4.2 个体特征对竞争性产品扩散的影响

### 4.2.1 个体社会交往结构对扩散的影响

在 NW 小世界网络中, 改变  $r$  值可以实现从最近邻耦合网络 ( $r = 0$ ) 向全局耦合网络 ( $r = 1$ ) 转变. 所以, 在其他初始值不变的情况下, 调整小世界网络的重连概率可以描述不同网络结构下竞争性产品扩散的特点. 本文分别对  $r$  取 0.000 1, 0.001, 0.01, 0.1 以及 1 表示不同的个体社会关系. 对比不同  $r$  取值, 由图 5 可知, 当网络存在小世界特性时 ( $r = 0.1$ ), 产品 B 的扩散效果最好, 不仅起飞时间早于其他取值, 而且最早达到均衡状态. 当网络中的个体只受局部邻居的影响时 ( $r = 0.000 1$ ) 产品 B 的扩散效果也比较好, 但是扩散时间相对缓慢; 当  $r = 1$  时, 产品 B 扩散失败. 由此可见, 在竞争性环境下, 个体的社会交往结构对产品扩散有重要影响. 在近似的规则网络当中, 个体只受局部邻居选择的影响, 这种影响强烈, 但是在整个网络中扩散的效果较慢, 所以在这种网络结构中扩散能够成功但是起飞时间和达到均衡状态的时间较长. 在小世界网络中, 较高聚集系数和较短平均路径长度有助于新产品的采纳者将他们的决定在短时间内传递给更多的人, 所以在小世界网络中竞争性产品的起飞时间和到达均衡状态的时间最短, 扩散效果最好. 在近似的随机网络中, 个体间的相互影响较弱, 初始采纳者不能有效地将自己的决定传递给其他人, 因此不能形成采纳新产品的整体社会动力, 由此可见, 竞争性产品的扩散不仅取决于初始使用人数还取决于采用者之间的相互关系, 只有当人际关系强且人群聚类效

果明显时,产品扩散才能获得较好的效果.

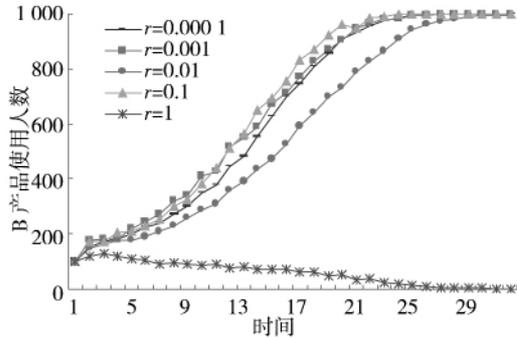


图5 网络结构与产品扩散

Fig. 5 Network structure and product diffusion

#### 4.2.2 个体数量分布对扩散的影响

在竞争性产品市场中,产品之间存在4种关系,分别为:在空白市场较大时,竞争性产品的初始使用人数差距较大(如  $N_A = 300, N_B = 100$ ,  $N_A = 400, N_B = 100$ )或是差距较小(如  $N_A = 300, N_B = 200$ );在空白市场较小时,竞争性产品的初始使用人数差距较大(如  $N_A = 600, N_B = 100$ )或是差距较小(如  $N_A = 400, N_B = 300$ ).由图6可知,总体来说,空白市场较大时的扩散效果优于空白市场较小时的效果;在空白市场规模一定时,竞争性产品初始使用人数差异小的扩散效果优于差异大的效果.这是因为在竞争性产品扩散中,原有产品的优势主要体现在市场人数和可使用的互补产品的数量上,无论是在空白市场较小还是初始使用人数差异较大的情况,原有产品的直接网络效应和间接网络效应优势都非常明显,所以在直接和间接网络效应的影响下,原有产品不仅能够扩散成功,而且有可能获得垄断性优势.相反,当空白市场较大或初始使用人数差异较小时,新产品在产品本身和互补产品上的优势能够逐步获得直接网络效应,起飞之后间接网络效应的优势能够帮助其在市场上取胜,最后可能垄断市场.所以竞争性产品在进入市场前后都需要对潜在用户和已有用户的分布进行判断,才能制定出有效的发展策略.

#### 4.2.3 个体偏好对扩散的影响

在竞争性产品市场中,个体收益是由自身效用和邻居效用两部分构成的.由于个体偏好的不同,个体对两部分效用在整体收益中占比的感知存在差异.如图7所示,当  $w$  值较小( $w = 0.1$ )时,个体偏重于关注邻居效用的作用,邻居对个体的

影响较大,个体的选择易于受到周围人的影响,市场上容易形成从众效应,但是这种从众性有利于市场上形成产品的认同感,有利于产品的迅速扩散.当  $w$  值较大( $w = 1$ )时,个体偏重于自身效用最大化,自身的效用是其进行产品选择的重要依据,由于存在个体异质性,他们对新产品的判断也存在较大差异,个体性将使市场中很难形成统一的选择趋势,扩散很难成功.由此可见,在竞争性产品扩散中个体偏好是产品扩散是否成功的重要因素.但是偏好是个体的特性,企业无法控制,所以企业只能通过营销的方式,强化具有网络性产品的社会化特性,进而改变产品对个体的效用方式的感知.

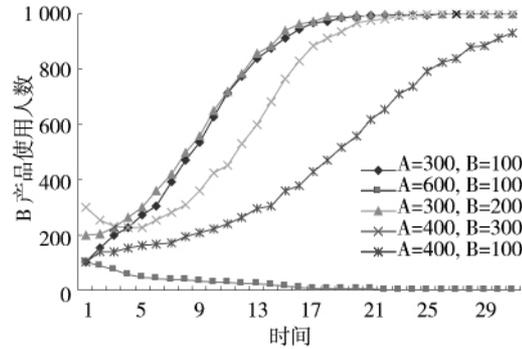


图6 初始用户数量与产品扩散

Fig. 6 Initial bases and product diffusion

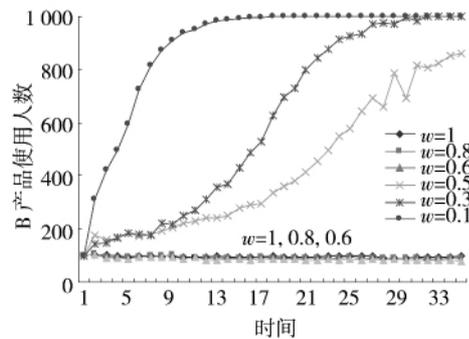


图7 个体偏好与产品扩散

Fig. 7 Individual preferences and product diffusion

#### 4.2.4 个体对市场环境的反应对扩散的影响

在竞争性产品市场中,个体对市场环境的判断也是影响产品是否能扩散成功的重要条件.如图8所示,当  $d$  较大( $d = 1, d = 0.8$ )时, B 产品扩散所需的时间短,扩散效果好;当  $d$  较小( $d = 0.1, d = 0.3$ )时, B 产品扩散所需的时间长,扩散效果差.这是因为  $d$  值反应的是个体对最优决策的偏离概率.当市场稳定时,  $d$  值小,个体能够对

产品进行准确的判断,从而做出最优的选择;但是当 $d$ 值变大后,市场秩序将由稳定变为混乱,那么个体无法对产品做出判断,容易使得优质的产品从市场中淘汰。可以说,竞争性产品的市场稳定性对产品扩散有重要的影响。一般来说,短时间内竞争性产品本身的差异性不是很大,但是产品的互补产品的发展却会出现较大的差异。所以对于企业管理者来说,不仅要向消费者传递新产品的优势,更要通过互补产品市场的发展向消费者传递新产品市场稳定性的信号,这样有助于消费者做出最优的选择;同时,互补产品的发展也有利于提高产品的间接网络效应,进而提升消费者的效用感知。

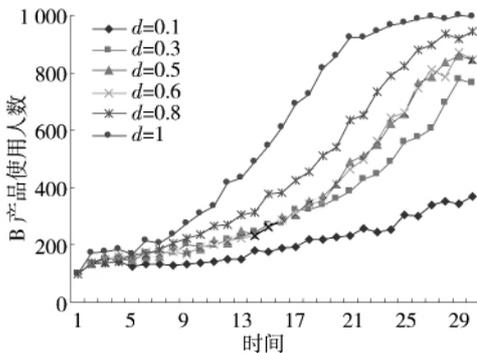


图8 市场发展程度与产品扩散

Fig. 8 Market development and product diffusion

## 5 结束语

基于个体使用特征的微观视角,构建了直接网络效应和间接网络效应下,竞争性产品的个体选择扩散模型。个体特征是产品扩散的关键要素,它不仅体现在产品的直接网络效应当中,而且直接影响个体的选择行为。本文基于NW小世界网络,对个体的选择行为进行了计算机仿真,讨论了

网络效应对竞争性产品扩散的阶段性影响以及个体特征对扩散效果影响的差异。具体的结论如下。

1) 在竞争性产品扩散过程中,直接网络效应和间接网络效应对扩散的影响具有阶段性。直接网络效应决定了扩散的起飞时间,间接网络效应决定了扩散的最终程度。

2) 个体的社会交往结构对产品扩散有重要的影响。规则网络中扩散速度较慢,随机网络中扩散难以成功,小世界网络中扩散效果最好。

3) 产品初始使用人数分布会影响竞争性产品扩散的效果。只有当竞争性产品的现有使用人数差距较小或潜在市场广阔时,新产品才能充分发挥优势,实现成功扩散。

4) 个体对自我效用和邻居效用重要性的偏好能够主导扩散结果。个体之间的从众效应能够在短时间内实现产品的起飞,但自我为中心的偏好将阻碍产品的扩散。

5) 市场的稳定性程度会影响个体对最优产品判断的偏离情况。新产品需要通过完善互补产品市场从而实现自身市场的相对稳定,才能在竞争性扩散中取得成功。

对于企业来说,要将新产品的扩散看作是一个系统过程,要深刻理解不同网络效用在产品扩散不同阶段的作用。在新产品推出的初期,要重视直接网络效应的作用,企业要了解目标客户的偏好特点,并尽可能地提高初始用户的数量,通过各种营销策略的结合调整使用者之间的网络关系,从而缩短新产品的起飞时间。在顺利起飞后,除了要注重直接网络效应的作用,企业还要关注互补产品市场的发展,不断丰富和扩大配套产品的开发,尽可能提升间接网络效应的作用,实现新产品市场的可持续发展。

## 参考文献:

- [1] Peres R, Muller E, Mahajan V. Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions [J]. International Journal of Research in Marketing, 2010, 27(2): 91-106.
- [2] 段文奇, 陈忠, 惠淑敏. 基于复杂网络的网络效应新产品扩散模式 [J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(7): 1069-1073.  
Duan Wenqi, Chen Zhong, Hui Shumin. Diffusion of new products in network markets based on complex networks [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2007, 41(7): 1069-1073. (in Chinese)
- [3] 张磊, 李一军, 闫相斌. 基于竞争的多代产品扩散模型及其实证研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(12):

- 84 - 106.
- Zhang Lei , Li Yijun , Yan Xiangbin. Diffusion model and empirical study of the multi-generations products based on competition [J]. *Systems Engineering: Theory & Practice* , 2008 , 28( 12) : 84 - 106. ( in Chinese)
- [4]王 朋,王 晔,孙 骅. 惯性购买市场中的品牌竞争扩散模型[J]. *系统工程* , 2008 , ( 8) : 88 - 92.
- Wang Peng , Wang Xian , Sun Hua. Diffusion model of brand competition in the market of habitual purchase [J]. *Systems Engineering* , 2008 , ( 8) : 88 - 92. ( in Chinese)
- [5]Norton J A , Bass F M. A diffusion theory model of adoption and substitution for successive generations of high-technology products [J]. *Management Science* , 1987 , 33( 9) : 1069 - 1086.
- [6]Speece M W , Maclachlan D L. Application of a multi-generation diffusion model to milk container technology [J]. *Technological Forecasting and Social Change* , 1995 , 49( 3) : 281 - 295.
- [7]Mahajan V , Muller E. Timing , diffusion and substitution of successive generations of technological innovations: The IBM mainframe case [J]. *Technological Forecasting and Social Change* , 1996 , 51( 2) : 109 - 132.
- [8]Sohn S Y , Ahn B J. Multi-generation diffusion model for economic assessment of new technology [J]. *Technological Forecasting and Social Change* , 2003 , 70( 3) : 251 - 264.
- [9]Meade N , Islam T. Modeling and forecasting the diffusion of innovation—A 25-year review [J]. *International Journal of Forecasting* , 2006 , 22( 3) : 519 - 545.
- [10]Mahajan V , Sharma S , Buzzell R D. Assessing the impact of competitive entry on market expansion and incumbent sales [J]. *Journal of Marketing* , 1993 , 57( 7) : 39 - 52.
- [11]艾兴政,唐小我. 广告媒介下两种产品竞争与扩散模型研究 [J]. *管理工程学报* , 2000 , 14( 3) : 19 - 22.
- Ai Xingzheng , Tang Xiaowo. Study of competition and diffusion models about two products in advertisement [J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management* , 2000 , 14( 3) : 19 - 22. ( in Chinese)
- [12]Krishnan T V , Bass F M , Kumar V. Impact of a late entrant on the diffusion of a new product/service [J]. *Journal of Marketing Research* , 2000 , 37( 2) : 269 - 278.
- [13]Libai B , Muller E , Peres R. The diffusion of services [J]. *Journal of Marketing Research* , 2009 , 46( 2) : 163 - 175.
- [14]Katz M C , Shapiro C. Network externalities , competition and compatibility [J]. *The American Economic Review* , 1985 , 75( 3) : 424 - 440.
- [15]Buxmann P. Network effects on standard software markets: A simulation model to examine pricing strategies [C]// 2nd IEEE Conference on Standardization and Innovation in Information Technology , SIIT 2001 , Boulder , CO , USA , 2001.
- [16]Weitzel T , Wendt O , Westarp F V , et al. Network effects and diffusion theory: Extending economic network analysis [J]. *Journal of IT Standards & Standardization Research* , 2003 , 1( 2) : 1 - 21.
- [17]Farrell J , Klemperer P. Coordination and lock-in: Competition with switching costs and network effects [R]. CEPR Discussion Paper No. 5798 , 2006.
- [18]Goldenberg J , Libai B , Muller E. The chilling effects of network externalities [J]. *International Journal of Research in Marketing* , 2010 , 27( 1) : 4 - 15.
- [19]Chou Chienfu , Shy Oz. Network effects without network externalities [J]. *International Journal of Industrial Organization* , 1990 , 8( 2) : 259 - 270.
- [20]Gupta S , Jain D C , Sawhney M S. Modeling the evolution of markets with indirect network externalities: An application to digital television [J]. *Marketing Science* , 1999 , 18( 3) : 396 - 416.
- [21]Dube J-P H , Hitsch G J , Chintagunta P K. Tipping and concentration in markets with indirect network effects [J]. *Marketing Science* , 2010 , 29( 2) : 216 - 249.
- [22]万 兴,胡汉辉,徐 敏. 一种间接网络效应下网络运营商价格竞争研究 [J]. *管理科学学报* , 2010 , 13( 6) : 23 - 32.
- Wan Xing , Hu Hanhui , Xu Min. Research on price competition among network operators under one type of indirect network effect [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2010 , 13( 6) : 23 - 32. ( in Chinese)
- [23]Roman B , Daniel B , Tim W , et al. Network effects as drivers of individual technology adoption: Analyzing adoption and diffusion of mobile communication services [J]. *Information Systems Frontiers* , 2008 , 10( 4) : 415 - 429.
- [24]Roman B , Daniel B. The impact of direct and indirect network effects on the diffusion of communication standards [C]//

- Proceedings of the 41st Hawaii International Conference on System Sciences ,2008: 1530 – 1605.
- [25] 鲜于波, 梅琳. 间接网络效应下的产品扩散——基于复杂网络和计算经济学的研究[J]. 管理科学学报, 2009, 12(1): 70 – 80.
- Xian Yubo, Mei Lin. Diffusion of network product with indirect network effect——Research based upon complex network and computational economics [J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(1): 70 – 80. (in Chinese)
- [26] 鲜于波, 梅琳. 主体异质性、复杂网络与网络效用下的标准竞争[J]. 系统管理学报, 2008, 4(2): 225 – 234.
- Xian Yubo, Mei Lin. Agent heterogenous, complex network and standard competition with network effect [J]. Journal of System and Management, 2008, 4(2): 225 – 234. (in Chinese)
- [27] Nair H, Chintagunta P, Dubé J-P. Empirical analysis of indirect network effects in the market for personal digital assistants [J]. Quantitative Marketing and Economics, 2004, 2(1): 23 – 58.
- [28] 翁瑾, 陈林生. 一个基于两层 CES 效用函数的垄断竞争模型[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2006, (3): 447 – 451.
- Weng Jin, Chen Linsheng. A monopolistic competition model based on a two-level CES utility function [J]. Journal of Huazhong Normal University (Natural Sciences), 2006, (3): 447 – 451. (in Chinese)
- [29] Rutherford T F. Calibrated CES Utility Functions: A Worked Example [R]. The World Bank, 2008.
- [30] Young P H. The Diffusion of Innovations in Social Networks [R]. Working Papers of the Johns Hopkins University Department of Economics, 2002.
- [31] Stoneman P. Innovation diffusion—bayesian learning and probability [J]. Economic Journal, 1981, (91): 357 – 388.
- [32] Delre S A, Jager W, Janssen M A. Diffusion dynamics in small-world networks with heterogeneous consumers [J]. Comput Math Organiz Theor, 2007, 13: 185 – 202.

## Competitive product diffusion at the level of individuals based on network effect

ZHAO Bao-guo, YU Zhou-ting

School of Economic & Management, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

**Abstract:** An important feature of mature markets is the diffusion between the competitive products. Network effect changes the traditional diffusion pattern, and has an important impact on individual choice behaviors. Previous studies focus on the rate and degree of diffusion at the level of aggregation, ignoring the social interactions and characteristics at the level of individuals. Based on the network effect, this paper discusses competitive product diffusion from the individual perspective. Firstly, a direct network effect function based on the social interactions is constructed, and an indirect network effect function is developed which reflects the cooperative effect of multiple complementary products. Secondly, individuals calculate their own profit at the current time and their expected profit at the next time. At last, they choose the right product for the next time according to decision-making mechanism of expected socialized benefit satisfaction. Simulations are used to study the diffusion system, and the result demonstrates that: the direct network effect and indirect network effect have distinct roles at different stages; the small world network is the optimum condition for competitive product diffusions; individual number distribution, personal preferences and individuals' judgment to the market have significant effects on diffusion.

**Key words:** competitive product diffusion; network effect; diffusion; individual