

# 间接网络效应下的产品扩散<sup>①</sup>

——基于复杂网络和计算经济学的研究

鲜于波<sup>1</sup>, 梅琳<sup>2</sup>

(1 华南理工大学工商管理学院, 广州 510641; 2 中山大学岭南学院, 广州 510275)

**摘要:** 借鉴复杂性理论, 基于个体交往关系的复杂网络结构, 该文采用计算经济学建模方法和行为博弈学习算法对间接网络效应下的产品扩散现象进行建模. 在该文模型中, 间接网络效应下“软件”数量为厂商策略行动内生决定, 并根据用户数量而变化, 因此个体的决策和全局变量之间存在双向交互复杂作用. 研究结果揭示了个体邻域结构在产品扩散中的影响, 直接网络效应和间接网络效应在产品扩散中的区别和产品锁定发生的条件等. 结果也较好地解释了产品扩散中的很多现象如不同产品的共存, 产品扩散中的“涌现”, 产品扩散中的路径依赖, 产品兼容性的选择以及新旧产品的更新换代等.

**关键词:** 产品扩散; 间接网络效应; 计算经济学; 复杂网络; 行为博弈理论

**中图分类号:** TP27 TP39 N94 F27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2009)01-0070-12

## 0 引言

随着信息通信等新兴产业的发展, 网络效应也引起了经济学研究的注意. 在网络效应的影响下, 产品的扩散呈现出和以往产品完全不同的特点, 而何种产品得到采用对厂商的竞争策略、网络效应产业的健康发展、提高社会福利都有重要的影响.

在经济学文献中, 网络效应通常都被分为直接网络效应和间接网络效应, 两种网络效应的区分在过去的研究中得到了广泛的引用, 但实际上, 网络效应一般都按直接网络效应来处理的. 但是间接网络效应和直接网络效应存在很多的不同之处, 而且很多带有网络效应特征的产品都属于间接网络效应的范畴, 因此分析间接网络效应对产品扩散的影响是很有意义的工作.

基于复杂性的视角, 本文提出了一种新的分析间接网络效应的观点<sup>[1, 2]</sup>. 本文将网络效应下的产品扩散视为一个复杂过程: 一个涉及到大量

经济主体之间的局部交互作用并进而决定产品扩散结果的动态过程. 但是间接网络效应除了和个体邻域有关之外, 还和全局变量——“硬件”平台上可提供的软件数量有关, 而后者就和厂商的策略行动联系在一起. 同样, 反过来软件数量也会影响微观个体的决策. 因此从复杂性的角度来看, 有意思的是在产品扩散的复杂过程中存在一个宏观和微观变量之间双向的交互影响过程.

在研究方法上, 本文主要采用了基于主体的计算经济学建模方式, 其中还借鉴了复杂网络的研究成果主要是“小世界网络模型”. 在主体行为的学习算法上, 本文采用了来自行为博弈学习理论的 EWA 学习模型<sup>[3]</sup>, 由此通过计算机软件建模对间接网络效应下产品扩散的问题进行了研究.

## 1 文献回顾

网络效应指的是消费者消费某物品的效用会

① 收稿日期: 2007-05-17; 修订日期: 2008-07-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70573125); 中山大学“985工程”产业与区域发展研究哲学社会科学创新基地资助项目; 国家自然科学基金资助项目(70673118).

作者简介: 鲜于波(1970—), 男, 湖北武汉人, 博士. Email: xianyub@gnail.com

随着消费该物品的其他消费者数量的增加而增加, 即消费呈现出正反馈或规模报酬递增的现象。在经济学中, 对网络效应和新产品竞争现象的现代考察可以说是从 Katz 和 Shapiro<sup>[4,5]</sup> 开始的。Katz 和 Shapiro 根据网络效应的来源把网络效应分为两类。一类是直接网络效应, 其外部性是通过购买者数量的直接物理效应产生, 这和产品的水平兼容性有关。最常见的例子如电话网络, 又例如一个消费者购买传真机的效用直接依赖于购买传真机的其他用户数量的多少。和直接网络效应不同的另一类网络效应是间接网络效应。通常这类网络效应产生于当个人消费一个由“硬件”产品和相应的“软件”产品构成的“软件-硬件”系统的时候, 因此间接网络效应的效用更多来自“软件”的数量。这里“软件”指能够在该产品平台上运行的应用或提供的支持服务即互补性产品, 如在操作系统上运行的应用软件或在游戏机上运行的游戏软件等。在这种“软件-硬件”范式中, 兼容硬件数量的增加提高了对兼容软件的需求, 从而提高了软件供应的多样性, 反过来不同种类软件数量的增加也提高了兼容硬件消费的利益, 促使更多的人采用兼容的硬件, 这就形成了一个正反馈的过程。

在文献中, Katz 和 Shapiro 对两种外部性的划分已经普遍得到认可。不过很多文献中, 两种外部性的划分并没有起到很大的作用。长期以来, 在网络外部性文献中所关心的主要问题是产品扩散中的路径依赖<sup>[6]</sup>, 产品扩散中的厂商价格策略<sup>[7,8]</sup> 以及厂商关于产品扩散中的标准竞争策略<sup>[9]</sup> 等。但是对于直接外部性下所获得的结果能否直接适用于间接网络效应的情况, 理论界尚有争议。如 S. J. Liebowitz 和 Stephen E. Margolis<sup>[6]</sup> 认为只有直接的网络效应才能称为真正的网络效应, 而间接网络效应经过了市场中介, 基本不会有外部性的存在。因此, 根据 S. J. Liebowitz 和 Stephen E. Margolis 的观点, 在间接网络效应的情形中, 不会存在直接网络效应下出现的那么多问题, 诸如路径依赖、锁定等。但是 Church, Gandal 和 Krause<sup>[10]</sup> 却证明了在很一般的条件下, 间接网络效应的确会产生产品采用上的外部性。

在间接网络效应对产品采用影响的研究上, 近年来, Church, Gandal, Krause, Chou, Shy 以及 Clements 等人对不同的市场结构, 从不同角度进

行了相关的研究。Church 和 Gandal<sup>[11]</sup> 考察了由不同厂商提供互补性 (产生间接网络效应) 软件和硬件产品的寡占模型。在一些限制条件下, Church 和 Gandal 证明了: 一般情况下, 软件开发成本较低的硬件技术会得到采用。尽管从社会福利优化的角度来看, 采用其他的硬件技术更加有效率。这里存在着“系统偏向”, 因为在市场上对用户最有吸引力的技术和对社会福利最优的技术不一定是。Church 和 Gandal 的模型还没有明确分析直接网络效应和间接网络效应对产品竞争的不同影响。而 Clements<sup>[12]</sup> 的模型表明直接和间接网络效应对产品扩散的影响是完全不同的。Clements 认为在某种程度上, 可以通过直接网络效应为间接网络效应建模。而且一般来说, 网络效应越强, 产品扩散的趋势也越强。不过间接网络效应和直接网络效应仍有很大的不同, 某些在直接网络效应下无关的因素在间接网络效应下却占据了中心的位置。Clements 认为在直接网络效应下, 结果倾向于产品扩散程度不够, 而在间接网络效应下, 则可能过多的进行了产品扩散。

可以看到, 现有研究文献在网络效应下产品的扩散和竞争上已经取得了许多富有成效的成果。但是由于其研究模型往往比较严格, 使得经济学和管理科学对网络效应下产品扩散的研究还存在一些缺陷和空白, 对产品扩散与竞争中的很多现象还不能有较合理的说明。例如, 如何解释在网络效应非常强的情况下, 市场仍然有多个技术产品的长期共存而不是只有一个产品能够最终占据市场? 即使外部性很强的主导产品统治了市场, 但仍有某些产品为少数但稳定的用户持续采用。此外, 产品的扩散是一个社会过程, 不是单个个体的决策, 在产品扩散的过程中多个个体之间如何动态协调他们的决策?

## 2 间接网络效应下产品扩散的 ACE 建模

### 2.1 建模思路分析

过往经济学理论模型的一个特点是基于理性“经济人”的假设, 对个人交往的社会性和个体邻域无需考虑。现有的模型通常都使用代表性消费者模型进行分析, 但他们忽视了市场交易主体之间的局部交互作用以及主体与市场环境和制度的

交互作用,而正是这些交互作用构成了产品市场的竞争和扩散过程.在网络效应下,消费者的收益和采用同样产品的用户数量有关.不过事实上很明显的是任何一个消费者都不会也不可能和所有其他的消费者进行交往.每个消费者都拥有自己的社会交往关系网络或邻域,agent的交往和产品的网络效应都和该邻域有关.因此,个体的邻域交往对象应该是在产品的竞争和扩散中非常重要的方面.但是正如复杂网络的研究所表明的,经济主体的社会交往结构既不是规则的,也不可能是完全随机的网络结构,而在很多场合下都应该具有复杂网络的一些统计特征,比如“小世界效应”、高类聚系数或度的幂率分布等.这种交往网络的性质对网络外部性下产品的扩散过程及其结果将会有很重要的影响.

值得特别注意的是,间接网络效应和直接网络效应不同,有其自身的特点.间接网络效用的来源有两个方面: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,而这个软件的数量却并不只是和其个体邻域内采用该产品的用户数量有关.软件的数量和整个社会上所有采用该产品的人数有关.如果考虑厂商的策略作用,采用系统中该产品的人越多,那么厂商就越有动力来在该平台上开发和提供新的软件产品.因此,间接网络效应实际上是系统中“软件”的数量或间接的是所有采用该产品的人数的函数.因此间接网络效应一方面和个体邻域有关,另一方面也和系统整体的特性有关,中介就是厂商的策略行为:为拥有更多用户的产品开发相应的“软件”.

网络效应的外部性和社会性特点决定了消费者的效用不仅取决于采用的产品,也取决于其邻域中采用同样产品的用户数量.消费者的决策和其邻域个体的决策密切相关.因此可以看到,消费者在决定是否采用某个产品的时候,要和他周围邻域(具有复杂网络的性质)的个体以及环境(在间接网络效应下这主要指可供使用的软件数量)进行交互作用,并通过学习来调整自己的策略.系统中的每个个体都是这样行动.正是这样一个复杂交互作用过程构成了产品扩散的特点.这也体现在产品的扩散也是一个由点到面,从部分到整体的过程.因此经济系统中的产品竞争与扩散现象无疑可以被认为是一个典型的复杂演化系统,包括了个体自适应的学习行为和个体交往结构复

杂性这两个复杂系统的重要方面.这表明本文采用计算经济学的方法进行建模是合理的.在产品扩散的过程中,个体根据其周围邻域中其他个体的策略以及产品上可以使用的软件数量,通过主体间的交互作用和博弈,依据相应的收益来决定是否采用某个产品,以达到收益的最大化.这里微观个体的行动会决定全局变量——软件数量,而软件数量又会反过来影响个体的决策,因此在产品扩散过程中存在一个双向的微观到宏观变量的交互过程.系统通过这样的交互,推动整个系统状态的演化,并最终决定产品扩散的结果:产品的市场占有率或分布状态等.

在博弈主体行为的演化上,本文主要采用了行为博弈理论中对主体学习行为上所获得的结果<sup>[13]</sup>.在产品扩散的过程中,过去的经验即强化学习虽然有一定的作用,但非常重要的一项是信念学习在产品选择中所发挥的作用.由于Camerer等人提出的EWA算法综合了这两种主要的学习算法——强化学习和信念学习都可视为EWA算法的一种特殊状态<sup>[3]</sup>.因此本文采用EWA算法作为agent的学习算法的基础.

## 2.2 ACE模型设定

本文将主要从消费者或agent接受和使用产品的角度来对产品扩散和竞争进行分析.这里本文分析设定agent的邻域和网络结构是外生给定的,在很多情况下这是合理的假设,因为在很多情况下,个体的邻域结构在相当的时间内会保持不变和相对稳定.在模型中,agent分布在元胞自动机的网格上,agent之间的交往关系由复杂网络的构造决定.这里复杂网络模型本文采用NW的“小世界网络”模型<sup>[14,15]</sup>.

### 2.2.1 模型一般假设

1) 市场上有 $N$ 个产品可供agent选择且每次只能选择一个产品;如果假设模型中有 $N = 2$ 个产品在竞争.因此,agent的可供选择的策略分别为:

- 策略 1 两个产品都不选,
- 策略 2 选择产品 1
- 策略 3 选择产品 2

2) 模型初始状态设定:在初始状态,CA网络上按照一定比率有一部分个体采用产品 1 另外一部分个体采用产品 2 其他个体还没有采用任何产品.

2.2.2 间接网络效应效用函数设定

在间接网络效应中, 个体的效用函数除了和其邻域中采用同一产品的 Agent 数量有关, 还可以使用的软件数量有关. 因此, 间接网络效应下, 效用既来自直接邻域, 也来自产品可供使用的软件种类和消费数量.

参考 Katz 等人提出的网络外部性经典效用函数形式<sup>[4]</sup>, 在间接网络效应下, 在时刻  $t$  个体  $i$  采用产品  $j$  的总效用函数一般形式为

$$U(x_{ij}^t) = r + v(x_{ij}^t) + \sum_{j=1, j \neq k}^N v(\xi_{jk} x_{ik}^t) + v(\square_{ij}^t) + v(\square_{ij}^t) \quad (1)$$

公式 (1) 中等式右侧第 1 项  $r$  表示该产品带给用户的和网络效应无关的收益, 第 2 3 项表示直接网络效应带来的收益, 第 4 5 项表示间接网络效应带来的收益. 其中,  $\xi_{jk}$  为两种产品  $j$  和  $k$  之间的兼容指数,  $x_{ij}^t$  为时刻  $t$  在 agent  $i$  邻域中采用同一产品  $j$  的 agent 数量. 如果设市场上共有  $m_j^t + n_j^t$  个软件, 其中  $m_j^t$  时刻  $t$  可用的完全兼容产品  $j$  的软件产品数量;  $n_j^t$  其他部分兼容的软件数量.  $c_{jk}$  为产品  $j$  和软件  $k$  的兼容程度;  $x_{ij}^t$  为时刻  $t$  邻域中采用同一产品  $j$  的 agent 数量.  $z_{ij}^t$  是在时刻  $t$  个体  $i$  对软件  $j$  消费量. 这里设间接效用函数中的  $\square$  为

$$\square_{ij}^t = \left( \sum_{k=1}^{m_j^t} (z_{ik}^t)^{1/\sigma} \right)^\sigma, \sigma > 1 \quad (2)$$

$$\square_{ij}^t = \left( \sum_{k=m_j^t+1}^{m_j^t+n_j^t} (c_{jk} z_{ik}^t)^{1/\sigma} \right)^\sigma, \sigma > 1 \quad (3)$$

按照收益递增, 边际收益递减的原则, 设网络效用函数的一般形式为

$$v(x_{ij}^t) = \alpha (x_{ij}^t)^{\beta}, \beta > 1 \quad (4)$$

其中,  $\alpha$  为网络效用程度参数,  $\alpha$  越高则网络效应越大.  $\beta$  为网络效应指数.

类似, 兼容性带来的网络效用一般函数形式为

$$v(\xi_{jk} x_{ik}^t) = a (\xi_{jk} x_{ik}^t)^{\beta}, \beta > 1 \quad (5)$$

其中,  $\xi_{jk}$  为兼容性参数,  $\xi_{jk}$  越高, 兼容性收益越大;

假设个体  $i$  关于产品  $j$  直接网络效用的网络效用程度参数为  $\theta_{ij}$ , 间接网络效用的网络效用程度参数为  $\delta_{ij}$ , 个体在两种技术产品之间的转换成本是  $t-1$  期网络效用的一部分, 因此这里可设时刻  $t$  个体  $i$  从技术产品  $j$  到另外一个产品的转换成本  $s_{ij}^t$  为

$$s_{ij}^t = \lambda(r + v(x_{ij}^t) + \sum_{j=1, j \neq k}^N v(\xi_{jk} x_{ik}^t) + v(\square_{ij}^t) + v(\square_{ij}^t)) \quad (6)$$

其中,  $\lambda \in [0, 1]$ ,  $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ ,  $\lambda$  是表示转换成本的系数.

假设个体  $i$  购买产品  $j$  的价格为  $p_{ij}^t$ , 软件产品的价格标准化为 0 将公式 (2), (3), (4), (5) 带入公式 (1), 并根据时刻  $t$  个体当前状态的不同, 主体  $i$  采用产品  $j$  的收益函数  $\pi(x_{ij}^t)$  依次分别为

1) 当前未采用任何产品, 且将不采用任何产品

$$\pi(x_{ij}^t) = 0 \quad (7)$$

2) 当前未采用任何产品, 且将采用一个产品

$$\pi(x_{ij}^t) = r + \theta_{ij} (x_{ij}^t)^{1/\beta} + \delta_{ij} \left( \left( \sum_{k=1}^{m_j^t} (z_{ik}^t)^{1/\sigma} \right)^\sigma \right)^{1/\beta} + \theta_{ij} \sum_{j=1, j \neq k}^N (\xi_{jk} x_{ij}^t)^{1/\beta} + \delta_{ij} \left( \left( \sum_{k=m_j^t+1}^{m_j^t+n_j^t} (c_{jk} z_{ik}^t)^{1/\sigma} \right)^\sigma \right)^{1/\beta} - p_{ij}^t \quad (8)$$

3) 当前状态采用了一个产品, 但下一步不准备采用任何产品

$$\pi(x_{ij}^t) = -s_{ij}^t \quad (9)$$

4) 当前状态采用了一个产品, 该个体准备采用不同产品

$$\pi(x_{ij}^t) = r + \theta_{ij} (x_{ij}^t)^{1/\beta} + \delta_{ij} \left( \left( \sum_{k=1}^{m_j^t} (z_{ik}^t)^{1/\sigma} \right)^\sigma \right)^{1/\beta} + \theta_{ij} \sum_{j=1, j \neq k}^N (\xi_{jk} x_{ij}^t)^{1/\beta} + \delta_{ij} \left( \left( \sum_{k=m_j^t+1}^{m_j^t+n_j^t} (c_{jk} z_{ik}^t)^{1/\sigma} \right)^\sigma \right)^{1/\beta} - p_{ij}^t - s_{ij}^t \quad (10)$$

5) 当前状态采用了一个产品且该个体继续延用原来的产品

$$\pi(x_{ij}^t) = r + \theta_{ij} (x_{ij}^t)^{1/\beta} + \delta_{ij} \left( \left( \sum_{k=1}^{m_j^t} (z_{ik}^t)^{1/\sigma} \right)^\sigma \right)^{1/\beta} + \theta_{ij} \sum_{j=1, j \neq k}^N (\xi_{jk} x_{ij}^t)^{1/\beta} + \delta_{ij} \left( \left( \sum_{k=m_j^t+1}^{m_j^t+n_j^t} (c_{jk} z_{ik}^t)^{1/\sigma} \right)^\sigma \right)^{1/\beta} \quad (11)$$

2.2.3 间接网络效应下可用软件数量的动态

间接网络效应下, 产品能够使用的软件数量是内生和动态变化中的. 在初始状态, 每个产品都有一定数量的可以使用的软件. 本文分别设为  $S_i^0$ ,  $i = 1, 2$  以后各期可以使用的软件数量和前一期中

采用该产品的用户数量直接相关. 软件数量随着用户数量的增加而增加, 但是增加速度递减, 即该函数的二阶导数小于 0 因此可以设具体公式如下:

$$S_i^t = S_i^0 + \omega_i (total\ number_i - initial_i)^{1/\alpha}, \quad \alpha > 1 \quad (12)$$

假定厂商可以是异质性的, 即  $\omega_i$  对于不同的产品取值相同.  $total\ number_i$  是时刻  $t$  系统中所有采用该产品  $i$  的用户数,  $initial_i$  是初始状态下采用该产品  $i$  的用户数.

### 2.2.4 复杂网络结构设定

模型假定 agent 随机分布在一个 CA 的网络上, 并假定个体是同质的. agent 邻域采用复杂网络主要是 NW 提出的“小世界网络”构造方法<sup>[14-16]</sup>. 和一般的方法稍有区别, 本文采用了元胞自动机的摩尔邻域来建立规则网络. 具体步骤如下:

1 构建规则网络: 在方格上, 每个 agent 都和自己的摩尔邻域内的个体建立一条连接, 这样就可形成一个规则网络;

2 设定 *shortcut* (直连) 边数目;

3 在系统中任意选取两个 agent, 如果他们之间原来没有连接边存在, 则在他们之间新建立一条连接边;

4 如果重复次数小于 *shortcut* 则返回到步骤 3 否则结束.

### 2.2.5 学习算法设定

行为复杂系统中, agent 是具有适应能力和学习能力的主体, 能够根据自己过去的策略和对将来的预期对当前策略进行适当的调整. 本文主要采用 EWA 算法. EWA 假设每一个策略都有一个数值化的吸引力指数, 并通过一定的规则决定选择每个策略的概率. 应该说这是一个非常一般的规定, 使得对吸引力指数的解释和使用可以非常灵活如将预期的因素引入.

自然本文先假定: 如果对所有的  $j$  当期收益函数  $\pi(x_{ij}^t) \leq 0$  则该 agent  $i$  不采用任何一个产品.

EWA 的具体公式如下:

$$N(t) = \rho N(t-1) + 1 \quad (13)$$

$N(t)$  表示经验权重;  $\rho$  表示过去经验的折现因子;

$$A_i^j(t) = \rho N(t-1) \Phi_i^j(t-1) + [\partial + (1-\partial)I(s_i^j, s_i(t))] \pi_i(s_i^j, s_i(t)) / N(t) \quad (14)$$

$A_i^j(t)$  是产品  $J$  对个体  $I$  的吸引力指数;  $I(s_i^j, s_i(t))$

$s_i(t)$  是示性函数 (indicator function), 表示个体  $i$  是否采用产品  $j$ .  $\Phi$  是过去吸引力指数的折现因子;  $\pi(\cdot)$  是 agent 采用某种策略后的收益.  $\partial$  是模型中很关键的一个参数, 表示对“模拟效果”的重视程度, 或者是给未选策略支付或机会成本的折现因子.  $\partial$  的值越大, 表明该个体更加重视该策略或对该策略的预期越高.  $\partial$  取 1 的情况可以视为是 agent 信念学习的一种方式. 如果吸引力指数越大, 就越有可能采用该策略. 为了体现预期的影响, 这里可以在每个吸引力指数前面乘以一个相应的预期因子, 分别是  $\exp01, \exp02, \exp03$ .

如果  $I(s_i^j, s_i(t)) = 1$  即策略  $j$  在时间  $t$  被采用, 则有

$$A_i^j(t) = \frac{N(t-1) \Phi_i^j(t-1) + \pi_i(s_i^j, s_i(t))}{N(t)} \quad (15)$$

如果  $I(s_i^j, s_i(t)) = 0$  即策略  $j$  在时间  $t$  不被采用, 则有

$$A_i^j(t) = \frac{N(t-1) \Phi_i^j(t-1) + \partial \pi_i(s_i^j, s_i(t))}{N(t)} \quad (16)$$

EWA 算法中, 每个策略被选择是随机的, 由吸引力指数来决定每个策略相应被采用的概率. 因此吸引力指数越大的策略被选择的可能性就越高. 在本文的模型中, 个体的策略转移采用概率形式表述. 这里最常用的有 Logit 和 Power 决策模型, 实际中两者效果差不多. 本文用 Logit 决策模型.

Logit 决策的具体公式为

$$Prob_i^j(t+1) = \frac{\exp(\lambda A_i^j(t))}{\sum_{k=1}^N \exp(\lambda A_i^k(t))} \quad (17)$$

其中,  $\lambda$  可以衡量吸引力参数在策略决策中的敏感度, 它的倒数  $1/\lambda$  即可解释为噪音.

### 2.2.6 元胞自动机更新规则和系统动态

在每个时刻  $T$ , 每个个体根据给定参数和上述公式, 计算采用每种策略或产品的网络, 计算当前的转换成本, 再计算采用每种策略的预期总收益. 根据收益, 使用 EWA 算法, 计算每种策略的吸引力指数, 然后根据吸引力指数计算出采用某种策略的概率. 以此概率为基础, 随机选择采用某个策略. 吸引力指数算出的概率都是正的, 因此如果

每种收益都为负, 将不使用任何产品. 采用策略后, 厂商根据系统中采用该产品的用户总数决定提供软件的数量. 模型如此循环, 直到系统收敛或主动停止模型运行为止.

### 3 计算机模型设定

#### 3.1 计算机模型说明

本文的计算机建模采用的 agent 建模框架是芝加哥大学社会学开发的 RePast 3.1, 开发环境使用开源软件 Eclipse 3.2

在模型中, 使用 RePast 建立基于 agent 的计算模型需要创建四个 java 类文件. 一个文件是用于定义 space 的类文件, 用于安放每个 agent 在一个元胞自动机的方格上. AgentEdge 类用于建立个体之间的网络连接. 一个定义行为主体 agent 的类, 规定 agent 的有关属性和方法. 一个定义 mode 的类, 控制模型的初始化、设置 (包括复杂网络的设置、个体的分布情况等) 和系统运行, 相关状态图的显示等等.

假定消费者对每个软件产品的消费量最多是 1, 这样软件多样性带来的效益只是和软件的数量有关. 本文假设初始阶段, 各个产品可以使用的软件数量是外生给定的. 不同平台软件产品不兼容即  $c_{jk} = 0$  价格保持不变. 计算机模拟实验中元胞自动机采用  $50 \times 50$  的规则网格, 模型中参与实验的实际有 2 500 个消费者.

在上述模型的设定下, 通过调整有关的参数值, 进行了大量和重复的计算机模拟实验来检测各个因素或参数对产品扩散和竞争的影响. 从参数的设置上来考虑, 本文主要分析的是直接网络效用和间接网络效用合起来提供的收益能够使得用户采用该产品. 从经济学的角度来分析, 使用某种网络产品的目的是要和其他采用该产品的人进行交流, 这即是直接网络效用的来源. 当然在间接网络效用中, 网络效用的主要来源是可供使用的软件数量, 因此模型中间接网络效用的参数值一般较高.

#### 3.2 基准模型参数设定

在间接网络效应下, 基本模型参数设置如下 (可参见前面公式):

表 1 基本模型参数设置

Table 1 The parameter of basic model

变量名	取值	变量名	取值
numAgents (系统所有的 agent 数量)	2 500	number_1 (采用产品 1 的用户)	100
number_2 (采用产品 2 的用户)	100	shortcut (小世界网络随机加边数量)	10 000
$p_1$ (产品 1 的价格)	10	$p_2$ (产品 2 的价格)	10
$r$ (产品与网络效应无关的效用)	4	$\theta_{11}$ (产品 1 的直接网络效应系数)	0.8
$\theta_{22}$ (产品 2 的直接网络效应系数);	0.8	$\delta_{11}$ (产品 1 的间接网络效应系数)	1.4
$\delta_{22}$ (产品 2 的间接网络效应系数);	1.4	$\partial_1$ (策略 1 模拟效应系数)	0.5
$\partial_2$ (策略 2 模拟效应系数)	0.5	$\partial_0$ (策略 0 模拟效应系数)	0.5
exp01 (策略 1 预期因子)	1	exp02 (策略 2 预期因子)	1
exp03 (策略 3 预期因子)	1	$\lambda$ (转换成本系数)	0.01
$\beta$ (网络效应指数系数)	0.5	$\gamma$ (策略决策中的敏感度)	10
$\varphi$ (过去吸引力指数的贴现)	0.1	$N(0)$ (初始经验加权);	1
$\rho$ (过去经验值的贴现因子)	0.05	$\sigma$ (间接网络效应指数)	0.3
m01 (产品 1 上可用的软件数量)	3	rate01 (用户对产品 1 软件使用率)	0.8
m02 (产品 2 上可用的软件数)	3	$\xi_{jk}$ (两个产品的兼容性)	0.2
rate02 (该用户对产品 2 软件使用率)	0.8	$\omega_1$ (产品 1 软件增加系数);	0.15
$\omega_2$ (产品 2 软件增加系数);	0.15		

### 4 仿真结果及其分析

#### 4.1 交往网络结构与产品扩散中“涌现”

首先基于基准模型的设定进行实验. 这里两个产品具有相同的初始条件 (除个体邻域结构外). 从实验结果可以看到, 间接网络效应下的产品扩散中都呈现出一个显著的特点, 即如果采用该产品的用户数达到一定的阈值后, 扩散的速度会非常快, 呈现爆炸式增长. 扩散的这种性质是由个体交往邻域的局部性和“小世界”模型平均最短路径性质决定的. 作者还观察到, 扩散的结果和初始状态有直接的关系尤其是个体在元胞自动机网格上的分布情况. 在其他条件相等的情况下, 哪种产品占据主导地位是随机的. 由于网络外部性, 产品扩散有明显的非线性性质和正反馈性质, 初始状态的微小差异都可能在扩散过程中导致完全不同的结果. 而且最先达到阈值用户数的产品比如微软的操作系统, 肯定能够占据市场的较多份额. 这和人们在网络产业中所经常观察的产品竞争情况是吻合的. 因此模拟结果表明在其他条件相同的情况下, 个体邻域的邻域结构是影响产品扩散特性的一个重要因素. 一个典型的仿真结果如图 1 所示:

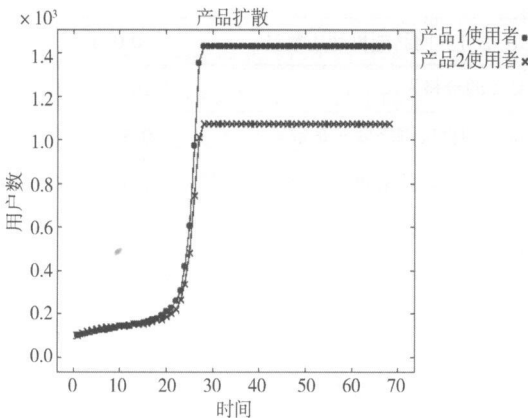


图 1 间接网络效应下的产品扩散

Fig 1 Production diffusion with indirect network effect

此外, 由于个体交往邻域的局部性, 在市场上, 通常会出现多种产品共存的情况, 而非只有一种产品统治全部市场. 由于 agent 的收益来自其邻域个体中采用同样产品个体的数量, 因此, 即使从全局的角度来看, 采用另外产品的用户数量占有

优势, 但是从 agent 局部作用来看, 采用原有的产品仍然是效用最大化的行为, 这就很容易导致多种产品准共存的现象. 多种产品的共存也是人们在产品竞争市场上经常观察到的现象. 如在操作系统市场上, 虽然微软占据主要的市场, 但微软的 Windows 和各种 Unix Linux 以及苹果机 MacOS 操作系统已经并存了很长时间, 而且从目前来看还会继续并存下去.

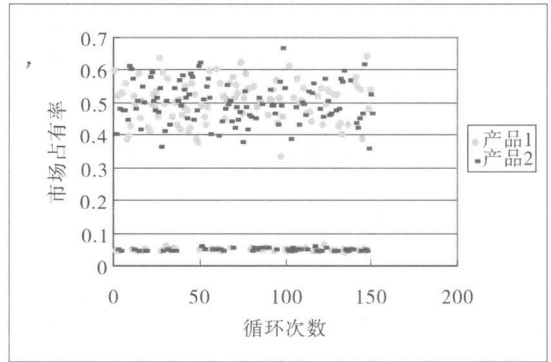


图 2 间接网络效应下的产品扩散 (稳健性检测)

Fig 2 Production diffusion (robust test)

为保证结论的稳健性, 在上述参数下重复 150 次实验, 实验结果见图 2 因此有:

**结论 1** 间接网络效应下, 在小世界模型中产品的扩散当用户达到一定的临界点后呈现爆炸式增长. 这证明个体邻域结构的随机性对产品扩散有很大的影响, 即带有一定的偶然性. 此外, 产品扩散的最终分布经常呈现两种产品共存但市场占有率差异很大的状况.

#### 4.2 产品扩散中的先发优势 —— 用户数和可用软件数量

产品扩散中先发优势及其导致的路径依赖乃至锁定在产品扩散和竞争文献中经常被提到. 在间接网络效应下, 有两种可能导致先发优势的因素: 初始阶段的用户数以及产品能够使用的软件数量. 本文这里通过计算机模拟实验对此进行检验.

在实验中, 如果某个产品初始阶段的用户数比较大, 则不仅能够克服邻域 agent 随机性的影响, 而且占有先发优势 (有较多的用户数) 的产品能够在市场占据大部分的市场份额. 这里要注意的是, 实验中发现如果产品 1 先发优势 (有较多的用户数 110 人) 不够大, 则个体邻域还是有较大的影响, 这时也会出现先发优势无法占据市场主导

地位的情况. 如将产品 1 初始用户设为 150, 则一个典型结果如下图 3 所示:

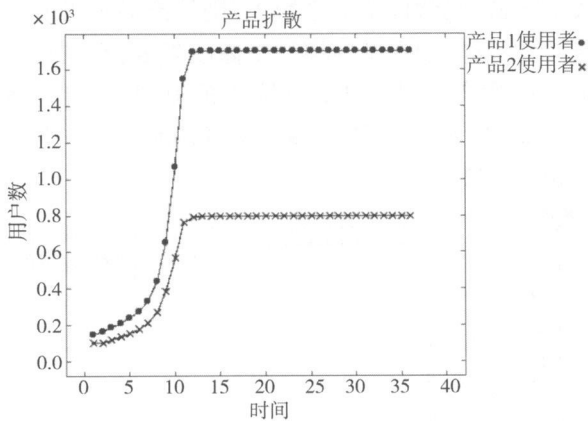


图 3 直接网络效应下的先发优势 (产品 1 用户数优势)

Fig. 3 Product 1 has first move advantage (direct network effect)

较多, 产品 2 仍占据了市场的大部分份额. 一个典型的计算机仿真结果如图 5 所示:

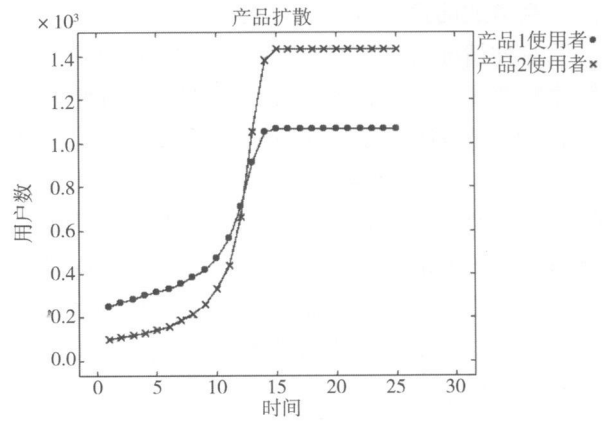


图 5 软件数量优势

Fig. 5 Software available advantage

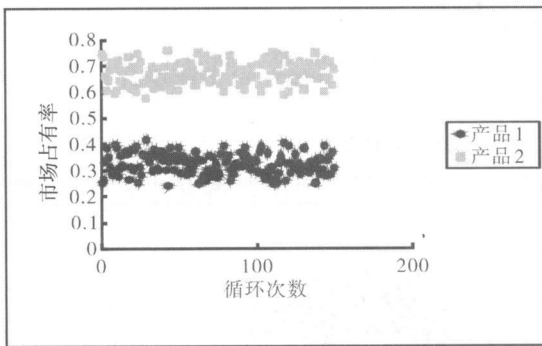


图 4 直接网络效应下的先发优势 (稳健性检测)

Fig. 4 First move advantage with direct network effect (robust test)

重复 150 次实验, 结果有先发优势的产品平均市场占有率为 67.4%, 其他为 32.6%. 有先发优势的产品占有明显的优势. 如图 4 所示.

和直接网络效应不同, 在间接网络下, 产品扩散的另一方面的优势是, 在其他条件相同的情况下, 该产品上能够提供的软件数量也能够形成先发优势. 即使在用户数上没有先发优势, 但如果有较多的软件可供使用, 则可供使用软件数量越多, 则该产品在扩散中的优势就越大. 如果考虑软件数量的影响, 实验中增加产品 2 可供使用的产品数量, 将上面的设置中产品 2 可使用的软件数量改为 4 用户数产品 1 为 250 产品 2 为 100 为了更好地体现产品 2 软件数量的优势, 设产品 1 的间接网络效应系数为 1.3 产品 2 的间接网络效应系数为 1.02 这样尽管产品 2 没有先发优势, 网络效应系数也低一点, 但由于他能够使用的软件产品数量

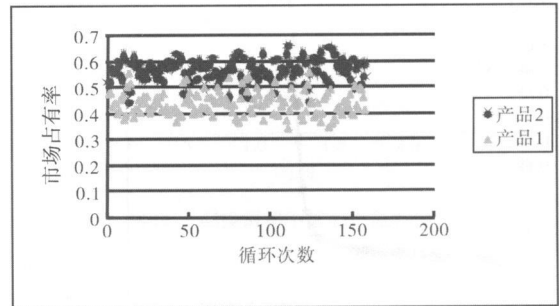


图 6 软件数量优势 (稳健性检测)

Fig. 6 Software available advantage (robust test)

重复实验 100 次, 有如下结果如图 6 这里产品 2 总是占据较大的市场份额. 可见, 在间接网络效应下, 先发优势和直接网络效应不同. 它的来源不仅是使用用户数量较多, 而且和产品上能够使用的软件数量有关. 结合上一节分析中扩散的涌现性质, 作者也发现, 先发优势只有到临界点之后才能够真正获得. 例如在微软和苹果的操作系统竞争中, 微软虽然在初始阶段落后, 但提供了较方便的开发工具使得第三方软件数量很多, 这也是微软能在竞争中占优一个原因. 因此有:

结论 2 直接网络效应和间接网络效应有本质的不同. 用户数和软件数量在间接网络效应下都能形成先发优势. 但是锁定现象只有在该产品达到扩散的“涌现”临界值之后才能获得, 而后者和个体邻域有关.

### 4.3 软件数量增加速度的影响

在模型中, 产品可用的软件数量是系统中使



用该产品的用户数的函数. 影响该产品可以使用的软件数量的不仅有初始软件的数量, 而且和软件数量增加的速度有很大的关系.

一种情况是, 其他条件保持和基准参数一样, 但改变软件数量增加的系数, 如将间接网络效应产品 2 软件增加系数  $\Omega_2$  改为 0.25 这时仿真结果显示, 在上述参数的设置下, 由于个体邻域的随机性以及随后的正反馈效应, 产品 2 在很多情况占据市场大部份份额, 但是也有例外发生: 即软件增加系数在初始状态用户不是很多的情况下不一定能够改变个体随机分布和邻域 agent 分布所带来的偶然性先发优势. 一个仿真结果如图 7 软件增加系数较高的产品 2 没有获得竞争优势.

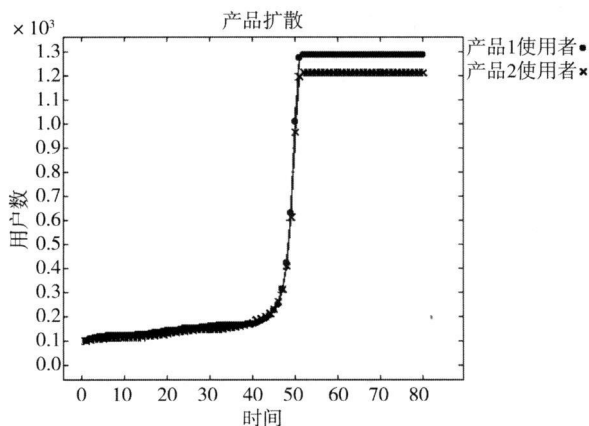


图 7 软件数量增加速度优势

Fig. 7 Software providing speed advantage

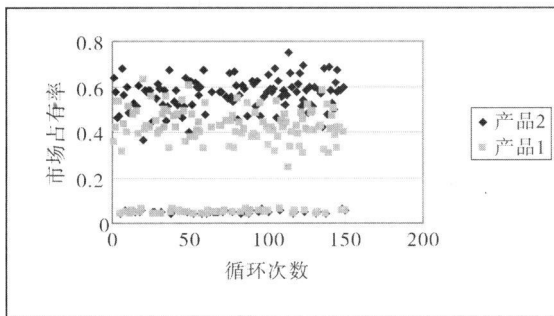


图 8 软件数量增加速度优势(稳健型检测)

Fig. 8 Software providing speed advantage (robust test)

在上述参数下, 运行 150 次, 每次运行步骤为 150 步, 则产品 2 的平均市场占有率为 47%, 产品 1 为 41%. 实验结果见图 8. 但是, 实验也表明如果加大模型中初始状态的用户数, 则仿真结果表明软件增加系数大的产品会有较多的优势. 这也说明个体邻域随机性的影响只在初始用户数量小

于一定值时有效.

另外一种情况下, 某产品在初始状态下用户数量较低, 但软件增加系数大, 则该产品也可能克服先发劣势. 如在基准模型中修改参数: 产品 1 初始可用用户数为 150 产品 2 的软件增加系数  $\Omega_2$  改为 0.3 其他参数不变. 则一个仿真结果如图 9 所示:

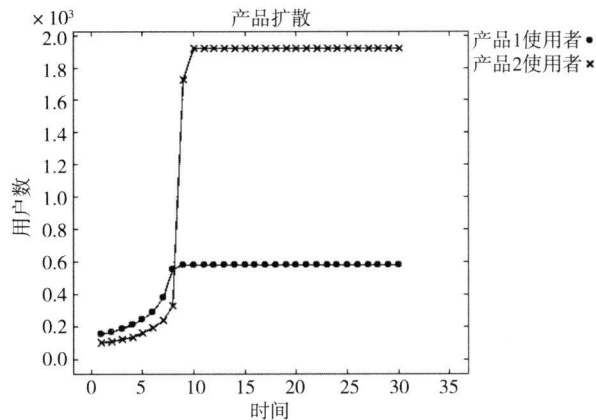


图 9 软件数量增加速度优势与先发优势

Fig. 9 Software providing speed advantage vs. first move advantage

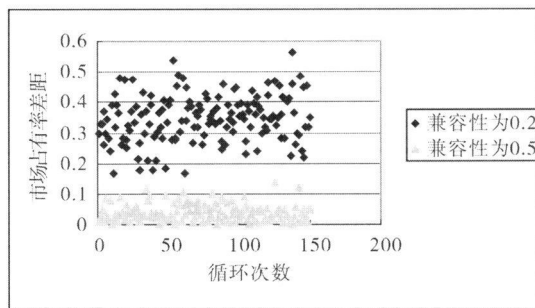


图 10 兼容性对产品扩散的影响

Fig. 10 The effect of compatibility on product diffusion

由图 9 可以看到, 即使产品 2 在初始用户数量上没有先发优势, 但由于可用软件增加速度较快, 仍然能够在产品扩散中取得很大的优势, 虽然这个优势还是受到其邻域的影响. 对于厂商而言, 这意味着可以通过快速提供较多软件来在竞争中获胜. 一个案例是 PDA 市场上微软的 WinCE 和 palm OS 之间的竞争. 微软在初始阶段市场占有率落后较多, 但由于 WinCE 上可用软件数量尤其是第三方软件数量增加很快, 这就增强了他的竞争优势并逐步超过 Palm 而占据市场主导地位.

在此参数下运行 150 次仿真, 都有同样的结果. 总结一下, 有如下命题:

**命题 1** 较快的软件增加速度能够在间接网络效应下构成竞争优势并可能克服在用户数量上的初始劣势. 但在初始用户数量较小的情况下, 该优势不一定能够克服个体邻域分布的随机性.

#### 4.4 兼容性对产品扩散的影响

一般认为兼容性对处于市场劣势的产品有利. 为了检测兼容性对扩散的影响, 将兼容性先设为 0.2 然后再将其调整为 0.5. 产品 1 在初始状态处于领先位置时有 150 个用户. 为保证结论的稳健性, 重复 150 次实验, 分别取两种产品市场占有率差距的绝对值. 最后取市场占有率差距的平均值, 并比较两种情况的差异. 在没有兼容性时, 市场占有率差距为 0.35. 在兼容性为 0.5 时, 市场占有率差距为 0.037. 仿真结果见图 10. 很明显, 在提高兼容性的情况下, 有先发优势的产品和其他产品市场占有率缩小很多. 可见, 产品兼容度的增加有助于没有市场优势的产品减少市场占有率的差距. 这也能够解释为何小的厂商更愿意和市场占有率高的产品兼容, 且产品的兼容度越高市场占有率越大. 反之却不然. 例如操作系统市场上, Linux 操作系统提供的和 Windows 操作系统兼容的软件和工具就比较多, 如和 MS Office 兼容的 Open Office 而微软则对兼容的兴趣相对较小. 总结一下, 有如下命题:

**命题 2** 高兼容度有助于处于市场劣势的厂商或小厂商的产品在市场上扩散.

#### 4.5 网络产品扩散中的更新换代

在某种程度上讲, 如何解释在很强的网络效应下新旧产品之间的转换是个有意思的问题. 既然网络效应非常强, 新产品的用户除非很快进行同时转化, 否则新产品带来的收益肯定没有原来的大, 他还是会回到原来的产品上去. 而实际上, 产品的切换并非一个很快的过程, 而是一个逐步演进、从局部到整体的过程.

在本文的计算机实验中, 通过在旧的产品占据全部统治地位的情况下, 通过调整新产品的收益系数, 提高新产品的预期因子, 并提供较好的兼容性与软件数量. 实验模拟结果表明, 即使在旧产品占据绝对优势的情况下, 新的产品仍然能够取代旧的产品, 实现新旧技术的转换.

本实验的设置如下: 所有的 2 500 用户中

2 000 个在初始阶段都采用旧产品, 然后生成几块采用新产品的用户区域. 产品 2 的预期因子设为 0.7, 产品 1 的预期因子为 0.3, 产品 2 的间接网络效用系数设为 3, 产品兼容性为 0.8. 在此参数下, 仿真表明能够实现新旧产品的转换. 重复 150 次实验, 都显示在上述设置下, 新产品能够取代旧产品. 一个典型仿真结果如图 11 所示:

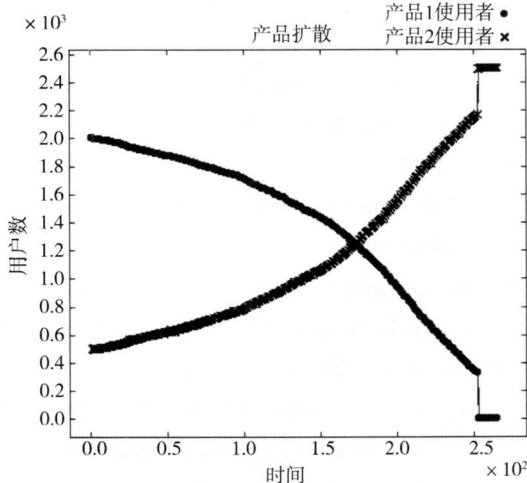


图 11 间接网络下新旧产品转换

Fig 11 Transition from the old standard to new one

总结:

**命题 3** 如果在系统中提供较高新产品的网络效应系数、对新技术产品的预期以及较高的兼容性, 新旧产品能够实现过渡.

## 5 结论和展望

本文在复杂性的视角下, 对间接网络效应下的产品扩散进行了研究. 和直接网络效应不同, 间接网络效应和系统的全局性质——可供使用的软件数量有很大的直接关系. 通过全局变量——系统可以使用的软件数量, 微观个体和宏观现象之间还形成了复杂的双向互动关系. 因此, 间接网络效应确实更多的体现了市场中介的影响. 在此基础上, 本文通过计算机仿真实验分析了复杂网络下产品扩散中的“涌现”现象, 软件数量优势、兼容性选择对产品扩散的影响、新旧两代产品的更新换代等问题, 并指出了预期在其中的作用. 因此本文的结论和方法对产品扩散的研究有一定的意义.

当然, 本文也存在一定的不足, 有些模型的假

设如产品价格不变,产品外部性系数不变等还可以放松,此外如何通过统计方法加强结论的稳健性,如何引入厂商的价格策略行为等都是今后有待继续深入的工作.但总的来看,在复杂性框架下

结合复杂网络研究网络效应和产品的扩散放宽了模型的假设,能够对微观个体的复杂交互以及微观个体和宏观变量的互动进行建模分析,这应该是很意义和发展潜力的研究方法.

### 参考文献:

- [1] Holland J.H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems* [M]. Ann Arbor MI: University of Michigan Press, 1975.
- [2] Tesfatsion L, Judd K.L. *Handbook of Computational Economics, Vol. 2: Agent-Based Computational Economics: Handbooks in Economics Series* [C]. Amsterdam, the Netherlands: North-Holland Imprint: Elsevier, 2006.
- [3] Camerer C.F. *Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction* [M]. Princeton: Princeton University Press, 2003.
- [4] Katz M.L., Shapiro C. Network externalities, competition, and compatibility [J]. *American Economic Review*, 1985, 75: 424—440.
- [5] Katz M.L., Shapiro C. Product introduction with network externalities [J]. *Journal of Industrial Economics*, 1992, 40: 55—83.
- [6] Liebowitz S.J., Margolis S.E. Path dependence, lock-in and history [J]. *Journal of Law, Economics and Organization*, 1995, 11: 205—206.
- [7] 胥莉, 陈宏民. 具有网络外部性特征的企业定价策略研究 [J]. *管理科学学报*, 2006, 9(6): 23—30.  
Xu Li, Chen Hongmin. Study on pricing strategy choice of firms with network externality [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2006, 9(6): 23—30. (in Chinese)
- [8] 徐兵, 朱道立. 具有网络外部性的扩展 Hotelling 模型 [J]. *管理科学学报*, 2007, 10(1): 9—17.  
Xu Bing, Zhu Dao li. Extended Hotelling model with network externality [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2007, 10(1): 9—17. (in Chinese)
- [9] 翁軫丛, 陈宏民, 孔新宇. 基于网络外部性的企业技术标准控制策略 [J]. *管理科学学报*, 2004, 7(2): 1—6.  
Weng Yirong, Chen Hongmin, Kong Xin yu. Control strategy to technology standard of firm based on network externality [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2004, 7(2): 1—6. (in Chinese)
- [10] Church J., Gandal N., Krause D.P. Indirect Network Effects and Adoption Externalities [EB/OD]. CEPR Discussion Paper No. 3738, Available at [http://papers.ssrn.com/so3/papers.cfm?abstract\\_id=383802](http://papers.ssrn.com/so3/papers.cfm?abstract_id=383802), 2003.
- [11] Church J., Gandal N. Complementary network externalities and technology adoption [J]. *International Journal of Industrial Organization*, 1993, (11): 239—260.
- [12] Clements M.T. Direct and indirect network effects: Are they equivalent? [J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2004, 22(5): 633—645.
- [13] 鲜于波, 梅琳. 经济复杂性系统主体学习算法理论综述 [J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2007, 4(2): 77—92.  
Xian Yuba, Mei Lin. Overview of agent learning algorithm in economic complex system [J]. *Complex Systems and Complexity Science*, 2007, 4(2): 77—92. (in Chinese)
- [14] Watts D.J., Strogatz S.H. Collective dynamics of “smallworld” networks [J]. *Nature*, 1998, 393: 440—442.
- [15] Newman J., Watts D.J. Scaling and percolation in the smallworld network model [J]. *Physical Review E*, 1999, 60: 7332—7342.
- [16] 汪小帆, 李翔, 陈关荣. *复杂网络理论及其应用* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.  
Wang Xiaofan, Li Xiang, Cheng Guanrong. *Complex Network Theory and Application* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006. (in Chinese)

## Diffusion of network product with indirect network effect — Research based upon complex network and computational economics

XIAN Yu-bo<sup>1</sup>, MEI Lin<sup>2</sup>

1. The School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China

2. Lingnan College, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

**Abstract** Based upon the theory of complexity, this paper studies product competition with indirect network effect. This paper models product diffusion using ACE method based upon complex network (“small world model” here) which is used as the agent social interaction network structure. The software number available to this product is a function of the number of users in the system which is dynamic and there is two-way feedback between the micro agent and the global variable. Based upon this, this paper analyses the feature of product diffusion in a market with indirect network effect. It also explains the effect of agent neighborhoods, the “emergent” phenomenon in diffusion, the coexistence of different standards and the sources of lock-in. It also studies the effect of compatibility in the diffusion process. Finally, this paper analyses the condition of transformation from old product to the new ones.

**Key words** product diffusion; indirect network effect; computational economics; complex network; behavior game theory