

doi:10.11835/j.issn.1008-5831.2017.06.002

欢迎按以下格式引用:李军,朱先奇,史彦虎.加权网络视角下产业集群创新扩散机制仿真研究[J].重庆大学学报(社会科学版),2017(6):13-20.

Citation Format: LI Jun, ZHU Xianqi, SHI Yanhu. Simulation analysis of innovation diffusion mechanism in industry cluster under the weighted networks communication[J]. Journal of Chongqing University(Social Science Edition), 2017(6):13-20.

# 加权网络视角下产业集群 创新扩散机制仿真研究

李军<sup>a</sup>,朱先奇<sup>a</sup>,史彦虎<sup>b</sup>

(太原理工大学 a. 经济管理学院; b. 马克思主义学院, 山西 太原 030024)

**摘要:**创新扩散是产业集群技术升级和保持竞争优势的重要动力。基于复杂网络理论和创新扩散研究成果,在构建产业集群加权网络模型的基础上,应用基于邻居感染权重的扩散机制,提出了基于三阶段感染状态的 SIR 病毒传播改进模型,通过计算机仿真模拟了创新在产业集群网络中的扩散过程。仿真结果显示,节点强度对创新扩散具有重要影响,可调节参数  $k$  与创新扩散呈现正相关关系,产业集群创新扩散的爆发存在一个临界值。最后提出了政策启示,对相关研究具有一定学术参考价值。

**关键词:**产业集群;创新扩散;复杂网络;传播模型

中图分类号:F263

文献标志码:A

文章编号:1008-5831(2017)06-0013-08

## 一、研究基础

产业集群对优化创新要素配置、降低创新创业成本、提升区域创新能力都具有积极影响,产业集群作为重要的区域创新系统的地位日趋显著。而在实际生产生活中,一个创新成果若想最大程度地发挥其经济和社会价值,需要依赖创新扩散来实现<sup>[1]</sup>。同时,产业集群网络内许多中小企业并不具备很强的技术研发和管理创新能力,它们也需要依赖创新扩散来获取必要的知识和技术创新成果<sup>[2]</sup>。然而,产业集群内创新扩散的机理到底是什么,需要借助科学的理论和方法加以研究。

目前学术界关于创新扩散的研究从类型角度可以分为两类:一类是基于宏观模型。宏观模型主要是 BASS 模型及其改进模型。Turk 等运用 BASS 模型分析了宽带服务在欧洲经济合作与发展组织成员国的扩散情况,估计了潜在的采用者的总数、创新系数和模仿系数,该文结果显示欧洲宽带服务未来将不会达到 100% 的普及率并分析了原因<sup>[3]</sup>。Jiang 等提出了 GNB(广义 Norton - Bass)模型,该模型可以区别并计算出接受新一代产品来替代上一代产品的采用者以及接受上一代产品的新采用者的数量,实证结果表明该模型相对于 NB(Norton - Bass)模型在模型拟合和预测方面拥有更好的整体性能<sup>[4]</sup>。谢建中等针对短生命周期产品需求预测问题,提出一种改进的 BASS 模型,应用模糊聚类法实现了产品特征的权重分配,并通过一个

修回日期:2017-06-01

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(41401655);山西省软科学研究项目(2016042007-1)/(2016041016-2)

作者简介:李军(1982-),男,山西太原人,太原理工大学经济管理学院博士研究生,主要从事产业集群创新及政策的研究,Email: sxlg108@sina.com。

预测手机需求的案例验证了方法的有效性<sup>[5]</sup>。龙子泉等引入政策因素修正 BASS 模型,并将其用于政府政策对新能源汽车推广问题的研究与分析<sup>[6]</sup>。另一类是基于微观模型。微观模型种类繁多,目前研究和应用较多的是 CA(元胞自动机)模型、Agent 模型、病毒传播模型及它们的改进模型。周岩提出基于 CA 模型的产业集群创新扩散模型,通过仿真分析发现创新扩散受到集群内企业自身因素不同程度的影响<sup>[7]</sup>。Kiesling 等分析了创新扩散背景下 Agent 模型的优势和局限性,进行了综述型的研究<sup>[8]</sup>。Ma 等基于 CA 模型,运用普通最小二乘法(OLS)和非线性回归方法估算扩散参数,具体研究了中国通讯技术扩散问题<sup>[9]</sup>。胡绪华等构建了基于病毒传播模型的产业集群知识传播模型,仿真分析了集群内异质企业间知识传播的机理<sup>[10]</sup>。邵鹏等提出了将社会网络中心性与 PageRank 方法相结合的消费者网络节点价值评价指标构建方法,运用 SIS 模型研究了不同节点的产品知识扩散效果<sup>[11]</sup>。

然而,BASS 等宏观模型主要是用于研究新产品扩散问题,且没有考虑企业个体在扩散过程中的实际差异。CA 元胞自动机等微观模型虽然描述了企业个体差异及互动关系,但无法较好地模拟网络关系。应用病毒传播模型的许多研究成果虽然较好地克服了以上问题,但是较少考虑产业集群网络的复杂性,忽略了产业集群创新扩散的空间特性。因此,在研究产业集群中创新扩散问题时,需要同时考虑产业集群的网络空间结构和微观个体的差异性。随着复杂网络理论日益成熟和其在经济管理研究领域的渗透和延伸<sup>[12]</sup>,目前已经可以应用该理论对产业集群的结构与演化进行较为直观的描述。Tian 等在复杂网络理论的基础上,利用仿真手段对产业集群创新网络的演化过程进行了模拟研究<sup>[13]</sup>。Cai 等从复杂网络视角对循环产业集群的形成和演化过程进行了分析和研究,得出了循环产业集群的形成和发展大致经历了企业集团、产业集群和循环创新网络几个阶段的结论<sup>[14]</sup>。高长远等应用复杂网络理论,建立了 HTVIC 产业集群网络演化模型,运用计算机仿真证明该网络满足无标度等特性<sup>[15]</sup>。李晓青利用 BA 无标度网络构造集群演化模型,重点研究了退出和补偿机制对演化进程的影响<sup>[16]</sup>。范如国等从公平偏好、社会差异性和公共品博弈理论出发,构建了产业集群复杂网络低碳演化博弈模型并进行了计算机仿真,揭示了产业集群低碳技术合作开发的内在机制<sup>[17]</sup>。齐林等把产业项目看作网络节点,把能源及资源再循环关系看作节点间的连边,建立了集群循环经济系统复杂网络演化模型<sup>[18]</sup>。然而,这些产业集群网络大部分是基于小世界网络或 BA 无标度网络模型及其改进模型,由于产业集群内不同节点追求目的和资源需求不同,节点间联系的频度不同,导致节点间边权存在差异,节点强度也存在差异,因此加权网络更适合用来描述产业集群的结构与演化特征。

综上所述,本文在学术界已有大量研究成果的基础上,应用复杂网络理论构建了产业集群加权网络模型,充分考虑集群网络结构对创新传播的影响,并改进了 SIR 病毒传播模型用以更好地描述企业个体的微观变化,重点研究了创新在产业集群加权网络上的扩散机制,最后针对集群所属地方政府提出了政策启示。

## 二、模型构建

集群网络中包含着各种各样的复杂关系,企业节点间广泛存在着如供应链、技术合作、社会关系等多种不同的联系,此外集群网络中还普遍存在着物流、信息流和资金流的动态活动,正是这些复杂的交互关系及动态活动促进了创新资源的集聚和创新成果的扩散。同时,在真实世界中,创新并不是在集群网络中均匀扩散的,不同的网络结构对创新扩散具有不同影响。如前所述,使用加权网络建模相较于小世界网络或 BA 网络,可以更好地模拟产业集群的网络结构及时空演化特性。因此,本文首先构建了产业集群加权网络模型,在此基础上应用改进的 SIR 病毒传播模型,来描述创新在产业集群网络扩散过程中企业个体的微观变化,并应用 MATLAB 软件进行了仿真模拟。

### (一)产业集群加权网络建模及仿真分析

产业集群作为一个复杂非线性系统,本身具有丰富的网络属性:网络结构复杂、层次多,节点数量多,网络具有动态时空演化等特点。产业集群在演化过程中遵循着网络形成、成长、成熟、衰退或更新几个阶段,存在着大量的非线性正负反馈作用。借鉴学术界已有研究成果,通过向网络中增加节点的方式来建模,演化模型以时间为基本单位计算增长,每单位时间步引入一个新增节点(含权),通过计算不同概率使强度(即

节点相连边权和)在每步长内发生改变。为了精炼陈述,度及度分布、强度及分布和边权计算公式略。同时为简化问题,假设集群中节点全部是企业。现将网络演化规则设定如下。

(1) 初始网络设定:演化网络在初始状态采取随机连接机制,且初始状态存在  $m_0$  个初始企业节点,初始节点间的边权值皆为  $\omega_0$ 。

(2) 网络增长设定:每一个时间步长,生成一个新的企业节点  $i$ 。该节点有  $m$  个连接,并连接到旧的节点,新形成  $m$  条边,同时给新边赋  $\omega_0$  的权值。

(3) 节点择优设定:节  $i$  与节点  $j$  之间的连接是基于节点的强度择优机制,如下:

$$\Gamma_{i \rightarrow j} = \frac{S_j}{\sum_n S_n} \quad (1)$$

上式中,  $\Gamma_{i \rightarrow j}$  表示节  $i$  与节点  $j$  连接的概率,  $S_j$  表示节点  $j$  的强度,是与节点  $j$  关联的边权的和,  $\sum_n S_n$  表示节点强度总和。

(4) 权值演化设定:对于每个新的节点连接到旧的节点,因为一个新的节点加入将产生一个增量  $\delta$ ,依据边权值择优原则,将  $\delta$  分配到旧节点的每条边上。公式如下:

$$\Delta_{jl} = \delta \frac{\omega_{jl}}{\sum_j S_j} \quad (2)$$

上式中,  $l$  为连接节点  $j$  的边,其权值变化如下:

$$\omega_{jl} \rightarrow \omega_{jl} + \Delta_{jl} \quad (3)$$

该节点的强度变化规则如下:

$$S_j \rightarrow S_j + \omega_0 + \delta \quad (4)$$

(5) 仿真环境设定:令  $m_0 = 3, m = 3, \omega_0, \delta$  都取 2,网络规模  $N$  分别取 50、500、1 000。实验得到如下仿真图 1 - 图 3。

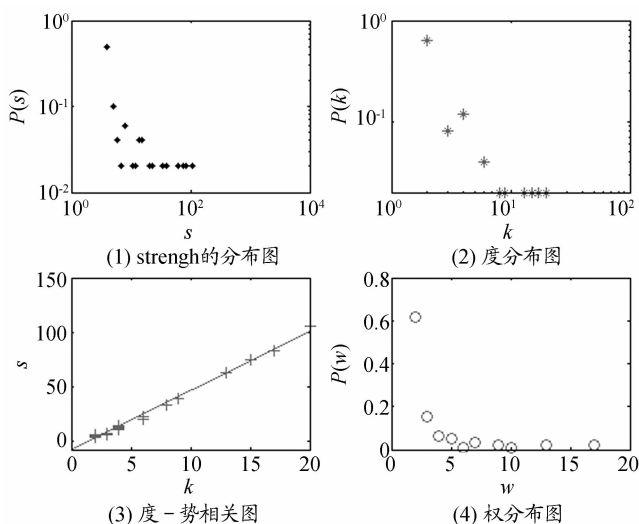


图 1 当  $N=50$  时,产业集群演化网络的拓扑特性

$N$  分别取 50、500、1 000,分别代表产业集群演化网络初始阶段、成长阶段和成熟阶段。度是节点连边数量,反映其重要性程度;强度是节点关联的边权之和,反映节点连通性程度;边权反映节点间联系的频度。从图 1 - 图 3 中,可以看出网络平均强度和度分布逐渐呈现出无标度特性,网络规模达到 1 000 时,强度和度分布的幂律分布特性十分明显。由图中网络拓扑特性可知,产业集群中绝大部分企业节点的度和强度值都比较小,它们的连接非常有限,只有极少数企业节点拥有非常大的度和强度值,有非常密集的连接,这符合产业集群企业集聚的“马太效应”的原理。如图 1 - 图 3 中度-势相关图所示,网络初始阶段,网络节点平均

度和强度相对较小,度值大部分集中在10以下,强度值集中在50以下;在网络成长阶段,度值集中在20以下,强度值集中在100以下;在网络成熟阶段,度和强度值进一步增大,度值集中在37以下,强度值集中在230以下。即随着网络规模增长,网络节点度和强度值大的节点逐渐增加。同样,可以观测到网络平均边权值也有所增大。以上说明随着网络规模增加,关键节点的涌现机制出现,且集散作用逐渐增强,产业集群中个体合作程度不断加深,企业节点间连通性得到增强。

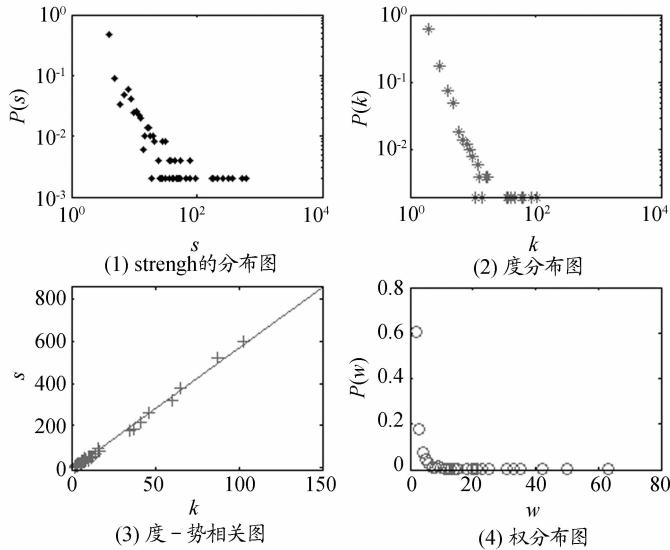


图2 当  $N=500$  时,产业集群演化网络的拓扑特性

以上关于产业集群加权网络的仿真结果,验证了应用加权网络来描述集群网络结构和时空演化特性的可行性和有效性,为下一步研究创新在网络中的扩散行为打下了基础。

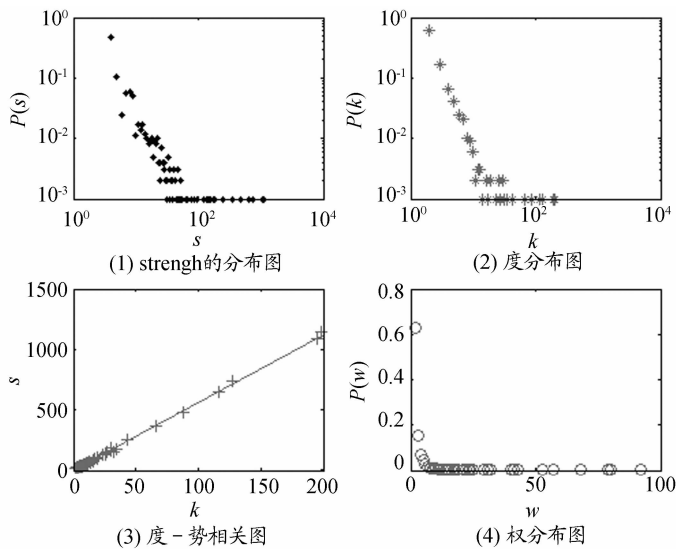


图3 当  $N=1000$  时,产业集群演化网络的拓扑特性

## (二) 基于邻居感染权重的网络扩散机制

复杂网络的传播动力学不仅与网络结构有着密切关系,而且与传播模型的微观感染机制密切相关,不同的感染机制将导致不同的动态特性。本文借鉴文献[19]中的传染机制方法,如该文所述,网络中的某个节点感染网络的概率是与相邻节点感染与否以及感染密度密切相关的。

基于这个原理,产业集群演化网络中企业节点  $i$  受到感染即接受创新的概率  $\beta_i$  是:

$$\beta_i = k \left( \frac{\omega'_i}{S} \right)^\alpha \quad (5)$$

上式中,  $S$  表示整个网络中节点强度的最大值,  $\omega'_i$  表示和节点  $i$  连接的已经受到感染的节点之间的边权和,  $\alpha$  和  $k$  代表可调整参数,  $\alpha > 0, 0 < k \leq 1$ 。  $S$  看作常量, 显然  $\frac{\omega'_i}{S} \leq 1$ , 且  $\omega'_i$  随着受到感染的节点数量增加而增大, 所以  $\beta_i$  随着时间的变化逐渐增大, 也就是企业节点受到感染即接受创新的概率逐渐增加, 这符合产业集群网络中创新传播的实际情况。另外, 每一节点  $\omega'_i$  值不同, 则感染率即接受创新的概率也不同。

### (三) 基于改进的 SIR 病毒传播模型的创新扩散模型构建

借鉴学术界关于 SIR 病毒传播模型的研究, 本文提出改进的 SIR 模型, 新模型具有多阶段感染特性。首先将节点分为三种状态: 尚未创新、潜在采纳创新的企业 ( $S$ ); 已经接受创新并可以将创新扩散给其他节点的企业 ( $I$ ); 自主创新, 即不再接受外来创新的企业 ( $R$ )。

本文把处于  $I$  状态的企业节点又分为三个阶段, 创新扩散阶段 ( $I_1$ )、创新消化阶段 ( $I_2$ )、创新潜伏阶段 ( $I_3$ )。创新扩散状态的企业节点可以感染其他节点; 创新消化阶段的企业节点处于准备扩散或潜伏状态; 处于创新潜伏阶段的企业节点处于静默状态, 暂时不表现创新特性。

已经接受并可以进行创新扩散的企业节点记为  $I(t)$ , 在  $t$  时刻, 上述企业节点中处在创新扩散阶段的比率设为  $\alpha_1(t)$ , 处在创新消化阶段的比率设为  $\alpha_2(t)$ , 处在创新潜伏阶段的比率设为  $\alpha_3(t)$ , 则:

$$\begin{cases} I_1(t) = \alpha_1(t)I(t) \\ I_2(t) = \alpha_2(t)I(t) \\ I_3(t) = \alpha_3(t)I(t) \\ \alpha_1(t) + \alpha_2(t) + \alpha_3(t) = 1 \end{cases} \quad (6)$$

对于接受创新企业节点转化为自主创新节点概率  $\gamma(t)$  而言, 处在创新扩散阶段的节点转化为自主创新节点的概率为  $\gamma_1(t)$ , 处在创新消化阶段的节点转化的概率为  $\gamma_2(t)$ , 处在创新潜伏阶段的节点转化的概率为  $\gamma_3(t)$ , 假设创新消化阶段的节点转化为自主创新节点的概率和创新潜伏阶段的节点转化为自主创新节点的概率相同。根据以上假设, 可以得出创新扩散传播动力学模型。

其微分方程如下:

$$\begin{cases} \frac{dI(t)}{dt} = \beta(t)I_1(t)S(t) - \frac{dR(t)}{dt} \\ \frac{dS(t)}{dt} = -\beta(t)I_1(t)S(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma_1(t)I_1(t) + \gamma_2(t)[I_2(t) + I_3(t)] \\ N = I(t) + R(t) + S(t) \end{cases} \quad (7)$$

### 三、仿真与分析

根据本文得到的创新扩散模型, 运用计算机仿真模拟创新在产业集群加权网络中的扩散行为。网络规模  $N$  设为 1 000, 随机选取 5 个企业节点作为已经接受创新并可以将创新扩散给其他节点的初始感染节点, 感染即接受创新的概率  $\beta$  由前述的基于邻居感染权重的扩散机制驱动。

设  $\gamma_1(t) = 0.02, \gamma_2(t) = \gamma_3(t) = 0.01, k = 0.5, \alpha = 0.2$ 。状态为 0 表示尚未创新、潜在采纳创新的企业 ( $S$ ),  $-1$  表示自主创新即不再接受创新的企业 ( $R$ ), 其他表示已经接受创新并可以将创新扩散给其他节点的企业 ( $I$ )。

初始传染向量设为  $V = (0.000, 0.000, 0.025, 0.075, 0.225, 0.250, 0.250)$ 。仿真试验结果如图 4。

由图 4 可以看出,  $S$  类企业节点 (尚未创新、潜在采纳创新的企业) 的数量由几乎全部都是逐渐减少到 180 个左右, 而  $R$  类企业 (自主创新, 即不再接受外来创新的企业) 的数量则由 0 逐渐增加到 820 个左右。  $I$  类企业节点 (已经接受创新并可以将创新扩散给其他节点的企业) 的数量变化是刚开始增长比较缓慢, 之后

迅速增加到峰值,然后再次缓慢下降,近似于服从泊松分布。I类企业数量曲线峰值的大小侧面代表了创新扩散影响力的大小。基于本文描述的扩散机制,在产业集群演化复杂网络中,强度较大的企业节点因为其 $\omega_i'$ 值也较大,会优先受到创新扩散的影响,且因为其度和边权值都较大容易感染周边节点,其对创新扩散的作用较大,侧面揭示了节点强度对复杂网络传播动力学的作用机制。仿真结果说明产业集群中影响创新扩散的不仅仅是网络的拓扑结构,还与其节点强度及权值直接相关,集群中企业节点异质性越明显,越有利于创新扩散行为。

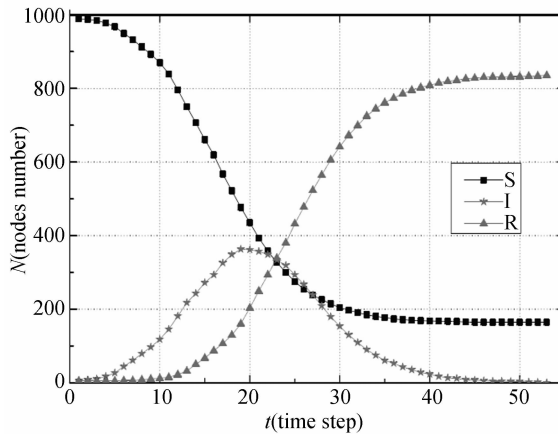


图4 三类企业节点数量随时间变化图

下面调节 $k$ 值,观察取不同 $k$ 值下I类企业数量占总体数量的比率随时间变化的情况;为使仿真结果更显著,不取中间值0.4、0.5、0.6,取较小的0.1、0.2、0.3和较大的0.7、0.8、0.9进行比对。

从图5中可以观察到,在不同 $k$ 值下的I类企业数量占总体数量比率的曲线呈现出不同变化。 $k$ 取0.1、0.2时,I类企业节点的比率非常小,接近于0。 $k$ 取0.3、0.7时虽然有所增大但是峰值相对较小,大概为0.09和0.17。而随着 $k$ 值的进一步增加,该比率突然增大。 $k$ 取0.8、0.9时,I类企业节点的比率曲线呈现出非常明显的正态分布趋势,且峰值显著增大,大概分别为0.54、0.57。且随着 $k$ 值的增加I类企业节点比率曲线达到峰值的时间步也较为明显地缩短。取0.1和0.2时几乎没有峰值,取0.3和0.7时达到峰值接近用了20多个时间步,取0.8和0.9时达到峰值只接近用了16、17个左右的时间步。

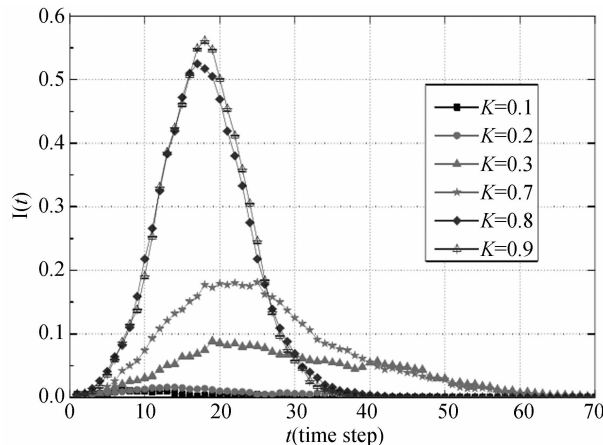


图5 不同 $k$ 值下I类企业占总体比率随时间变化图

实际上,在其他参数不变情况下,可调节参数 $k$ 可以看作与集群网络整体的创新环境正相关的一个系数,并且由图5观测结果,可以得知对于产业集群加权网络中的创新扩散问题存在着一个传播临界值 $k_c$ 。当集群拥有较好的创新政策支持,核心创新企业发育较好,企业间的联系稳定和通畅,集群聚集性较好,企业创新资源的获取较为便利,企业个体对创新成果吸收能力较强时,可以认为集群网络创新环境较好,那么 $k$

值会随着创新环境的改善而增大。同时,由于  $k$  值和  $\beta_i$  成正比例关系,则创新感染机率也会越大。可以观察到,当  $k > k_c$  时,即创新环境改善到突破传播临界值时,创新可以在产业集群网络内爆发式地大范围迅速扩散;而当  $k < k_c$  时,即创新环境还不够好时,创新只能局限在集群网络小范围内缓慢扩散直到消失。在本文仿真试验中,这个临界值可能在 0.7 至 0.8 之间。

#### 四、结论与政策启示

##### (一) 结论

大力推进产业集群创新已经日益成为提升区域竞争力的重要手段,而创新扩散是营造集群创新能力的必由之路。本文在构建产业集群加权网络模型的基础上,应用改进的 SIR 病毒传播模型来描述创新在产业集群网络扩散过程中企业个体的微观变化,并运用计算机仿真的方法来研究其机理,最后对仿真结果进行了数据分析,得到如下结论:(1)节点强度对创新扩散具有重要影响,产业集群内连接越多的企业越容易受到创新行为的影响,也越容易将创新成果扩散到周边企业,即核心企业对创新扩散发挥着关键作用。(2)在其他参数不变的情况下,可调节参数  $k$  值可以看作是与集群整体创新环境正相关的一个系数,创新环境越好, $k$  值越大,创新感染机率越大,而且产业集群网络的创新扩散行为存在一个临界值,只有当集群创新环境不断改善到突破临界值时,创新扩散才会突然爆发。(3)产业集群中企业节点异质性越明显,越有利于创新扩散。

##### (二) 政策启示

通过对产业集群加权网络创新扩散问题的研究,得到以下政策启示:(1)地方政府要高度重视和支持产业集群内关联度大的核心企业,积极引导和鼓励核心企业开展重大技术创新和管理创新活动,充分发挥其创新扩散的关键作用。(2)地方政府应不断改善集群整体的创新环境,应科学地制定有利于集群知识创造和技术扩散的法律法规,还应定期组织集群内企业开展学习研讨和技术交流活动,支持企业间开展多种形式的技术与管理创新合作,营造良好的创新创造氛围,促进创新扩散突破临界值。(3)地方政府应推动产业集群内企业向“专、新、特、精”发展,鼓励不同类型企业走多样化发展道路,保持集群内企业的异质性,以利于创新成果的扩散。

#### 参考文献:

- [1] ROGERS E M. Diffusion of innovations[M]. New York:Simon and Schuster,2010.
- [2] 黄玮强. 复杂社会网络视角下的创新合作与创新扩散[M]. 北京:中国经济出版社,2012.
- [3] TURK T, TRKMAN P. Bass model estimates for broadband diffusion in European countries[J]. Technological Forecasting and Social Change,2012,79(1): 85-96.
- [4] JIANG Z R, JAIN D C. A generalized Norton-Bass model for multigeneration diffusion[J]. Management Science,2012,58(10): 1887-1897.
- [5] 谢建中, 杨育, 陈倩, 等. 基于改进 BASS 模型的短生命周期产品需求预测模型[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(1): 48-56.
- [6] 龙子泉, 常静敏, 陈植元. 激励政策对新能源汽车推广的影响研究——基于修正 Bass 模型的实证分析[J]. 科技管理研究, 2016, 36(4): 138-144.
- [7] 周岩. 基于元胞自动机的产业集群创新扩散仿真研究[J]. 统计与决策,2010(17): 78-80.
- [8] KIESLING E, GÜNTHER M, STUMMER C, et al. Agent-based simulation of innovation diffusion: A review[J]. Central European Journal of Operations Research, 2012, 20(2): 183-230.
- [9] MA F, CHAO G L. Research on communication products diffusion in China using cellular automata[J]. International Business Research, 2014, 4(2): 147-152.
- [10] 胡绪华, 陈丽珍, 吕魁. 基于传染病模型的集群内异质企业间知识传播机理分析与仿真[J]. 运筹与管理, 2015, 24(3): 248-257.

- [11] 邵鹏, 胡平. 社会化网络环境下关键用户识别与产品知识扩散研究[J]. 科技进步与对策, 2016, 33(1): 126 - 131.
- [12] 何铮, 张晓军. 复杂网络在管理领域的应用研究[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2013.
- [13] TIAN G, ZHANG Y A. Simulating the evolution process of industrial clusters innovation networks[C]//Computer Science and Software Engineering, 2008 International Conference on. IEEE, 2008, 1: 532 - 535.
- [14] CAI S H, JIAO J J, XIANG Q L. Research on formation and development of circular industrial clusters and innovative networks [J]. Energy Procedia, 2011, 5: 1519 - 1524.
- [15] 高长元, 张树臣. 基于复杂网络的高技术虚拟产业集群网络演化模型与仿真研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2012, 33(3): 48 - 56.
- [16] 李晓青. 复杂网络视角下的产业集群网络演化模型研究[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2015, 21(5): 1 - 8.
- [17] 范如国, 张应青, 罗会军. 考虑公平偏好的产业集群复杂网络低碳演化博弈模型及其仿真分析[J]. 中国管理科学, 2015(S1): 763 - 770.
- [18] 齐林, 张健, 黎晓奇. 基于复杂网络的园区循环经济系统演化规律研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(10): 61 - 68.
- [19] 李天华, 邹艳丽, 覃儒展, 等. 新感染机制下加权网络的传播行为分析[J]. 广西物理, 2009, 30(2): 30 - 33.

## Simulation analysis of innovation diffusion mechanism in industry cluster under the weighted networks communication

LI Jun<sup>a</sup>, ZHU Xianqi<sup>a</sup>, SHI Yanhu<sup>b</sup>

(*a. School of Economics and Management;*

*b. School of Marxism, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, P. R. China)*

**Abstract:** Innovation diffusion is an important driving force to technology upgrade and maintaining the competitive advantage for industrial clusters. Based on complex network theory and innovation diffusion, this paper establishes an industrial cluster evolution network model, uses neighbor infection weight method, and puts forward an modified SIR epidemic model which has three infected stage. It simulates the innovation diffusion process in industry cluster network by computer simulation. Simulation results shows that the strength of the nodes has an important influence on innovation diffusion, the adjustable parameter K has a positive correlation with the innovation diffusion, and there is a threshold value for the innovation diffusion of industrial clusters. Finally, some policy implications are put forward. The article has a certain academic reference value for the related research.

**Key words:** industrial cluster; innovation diffusion; complex network; epidemic model

(责任编辑 傅旭东)